

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПРИВОЛЖСКОМ, ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОМ, СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ УГМС И УГМС РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 1-2 МЕСЯЦА**

Методы прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур нуждаются в усовершенствовании и обновлении. Необходимость обновления методов обусловлена изменением статистической отчетности Росстата (переход на учет урожайности в весе после доработки), сокращением объема агрометеорологических наблюдений, внедрением новых сортов и технологий возделывания культур.

В качестве теоретической основы при создании методов оценки условий вегетации и прогноза урожайности яровой пшеницы использовались методологические принципы моделирования воздействия условий внешней среды на продуктивность сельскохозяйственных культур, разработанные А.Н. Полевым [1–4]. Ключевым моментом при разработке новых методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур является создание базовой длиннопериодной модели продукционного процесса растений.

Продукционный процесс растений можно представить как взаимодействие совокупности физиологических процессов, конечным результатом которого является урожай. Формирование урожая рассматривается как развивающийся во времени процесс. В основу моделирования продукционного процесса положено описание «поведения основных физиологических процессов (фотосинтеза, дыхания, роста и распределения ассимилятов)» в зависимости от складывающихся метеорологических условий. Моделирование продукционного процесса сводится к определению прироста общей биомассы и биомассы отдельных органов растений за определенные интервалы времени.

Проведенный анализ чувствительности модели к входным параметрам и численные эксперименты по повышению чувствительности модели к условиям тепло- и влагообеспеченности позволили свести объем входной оперативной информации, закладываемой в модель, к двум элементам: средней декадной температуре воздуха и сумме осадков за декаду. Параметры модели определялись с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур и климатических особенностей субъектов Российской Федерации [5].

Структура модели модифицирована под задачу оценки средних областных условий формирования урожая сельскохозяйственных культур. Она удовлетворяет следующим условиям:

- описывает основные процессы жизнедеятельности растений (фотосинтез, дыхание, рост и распределение ассимилятов);
- учитывает влияние метеорологических факторов на формирование продуктивности посевов;
- предусматривает географическую изменчивость параметров модели;
- адаптирована к сокращенным объемам исходной информации практически без нарушения степени детализации математического описания основных процессов жизнедеятельности растений.

В ФГБУ «ВНИИСХМ» обновлены и внедрены в оперативную практику УГМС методы ежелектрадной оценки условий вегетации и прогноза урожайности озимой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя, картофеля, зерновых и зернобобовых культур в целом по всем субъектам Российской Федерации в установленные оперативные сроки.

Урожайность сельскохозяйственных культур определяется уровнем культуры земледелия, почвенно-климатическими и погодными условиями района возделывания. Временные ряды урожайности культур рассматриваются как сумма двух слагаемых – детерминированной составляющей и случайных отклонений от нее

$$Y_t = f(t) + \omega_t, \quad (1)$$

где  $f(t)$  – некоторая неслучайная функция времени (тренд);  $\omega_t$  – случайная составляющая временного ряда.

Тенденция урожайности является следствием постепенного улучшения культуры земледелия при среднем уровне почвенно-климатических условий. Ее уровень зависит от внедрения в практику достижений науки и техники. Изменение случайной компоненты временных рядов урожайности определяется в основном агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет.

Прогнозирование урожайности осуществляется с учетом обеих составляющих временного ряда: тренда (путем экстраполяции по одному временному ряду) и отклонений урожайности от сложившейся тенденции (с помощью оценки агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур). Сумма двух полученных таким способом прогнозов дает суммарный прогноз урожайности.

Прогностическое значение трендовой составляющей на прогнозируемый год рассчитывается с помощью метода гармонических весов, описанного в [2].

Основная идея метода заключается в том, что более поздним значениям временного ряда урожайности присваиваются большие веса. В результате влияние более поздних значений урожайности должно сильнее отражаться на прогнозируемой трендовой составляющей, чем влияние более ранних.

Расчёт количественной оценки агрометеорологических условий произрастания осуществляется с помощью динамической модели продукционного процесса. Модель описывает процессы фотосинтеза, дыхания и роста растений в зависимости от биологического времени, измеряемого суммами эффективных температур.

Начало периода расчёта по модели определяется самой ранней средней многолетней датой всходов сельскохозяйственных культур, а окончание – средней датой восковой спелости на территории области.

В используемой модели установлены функциональные зависимости параметров модели от текущих погодных условий, определяемых минимальным количеством оперативных данных наблюдений – температурой воздуха и суммой осадков.

Для прогнозирования урожайности  $Y_{прогр}$  используется выражение

$$Y_{прогр} = Y_{t+1} \cdot C, \quad (2)$$

где  $Y_{t+1}$  – тенденция урожайности сельскохозяйственной культуры на прогнозируемый год;  $C$  – оценка степени отличия складывающихся (на дату составления прогноза) агрометеорологических условий формирования урожая культуры от многолетних, на фоне которых формируется тенденция урожайности.

В 2005–2007 гг. Т.И. Русаковой разработана прикладная динамико-статистическая модель формирования урожая яровой пшеницы и на ее основе созданы методы оценки условий вегетации и прогноза урожайности яровой пшеницы по субъектам Европейской территории России.

Прогнозы составляются в весенне-летний период вегетации с различной заблаговременностью до созревания яровой пшеницы: за два месяца – 20 июня, за один месяц – 20 июля. Прогнозы рассчитываются на следующий день после получения оперативной информации за декаду, предшествующую прогнозу.

Разработан автоматизированный прогностический комплекс, позволяющий рассчитывать ожидаемую урожайность яровой пшеницы по одному или нескольким субъектам Российской Федерации, а также оценивать оправдываемость прогнозов после

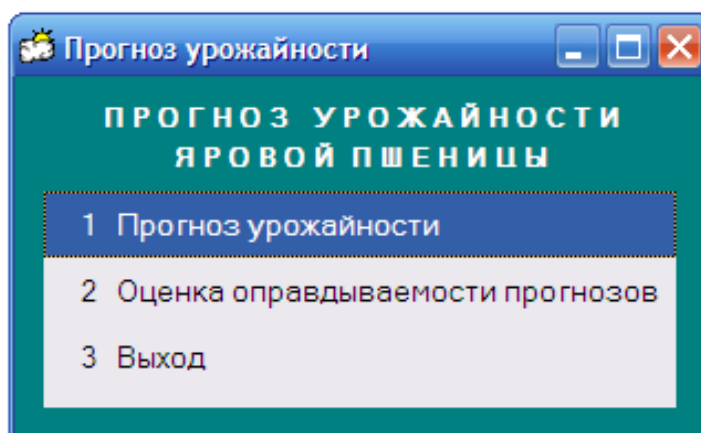
получения данных Росстата о фактической урожайности яровой пшеницы в прогнозируемом году.

Программное обеспечение методики прогноза реализовано в среде Windows. При разработке методики составления прогноза использовались следующие программные продукты:

Visual Fortran – на языке Фортран реализованы все прогностические программы;

Borland Builder C++ 5.0 – как среда разработки интерфейса программного комплекса.

Интерфейс пользователя обеспечивает успешную работу прогнозиста-агрометеоролога в среде ОС Windows. Основное меню программного комплекса показано на рисунке.



**Рис. Основное меню программного комплекса.**

Оценка качества испытываемого метода прогноза проводилась в соответствии с Методическими указаниями [6]. Заключение о целесообразности использования метода для оперативного обслуживания сформулировано на основании авторских и производственных испытаний путём сравнения результатов оценки прогнозов, составленных по новой методике, с инерционным и климатологическим прогнозами.

Оценка этих методов производится путем сравнения расчетных данных с фактическим значением урожайности яровой пшеницы. Заключение о качестве метода делается на материалах независимой выборки с помощью двух критериев: оправдываемости метода и ошибки метода.

Оправдываемость метода  $\gamma$  представляет собой выраженное в процентах отношение числа оправдавшихся прогнозов к числу всех прогнозов, составленных по данному методу:

$$\gamma = \frac{n_+}{N} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $n_+$  – число оправдавшихся прогнозов;  $N$  – общее число прогнозов.

Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка не превышает допустимую погрешность, рассчитанную на основании среднего квадратичного отклонения прогнозируемого элемента ( $\sigma$ ) с учетом заблаговременности составления прогноза.

Допустимой погрешностью для прогнозов урожайности яровой пшеницы с двухмесячной заблаговременностью является величина, равная  $0,8 \sigma$ , для прогнозов с заблаговременностью один месяц –  $0,67 \sigma$ .

Ошибка метода  $\bar{P}$  представляет собой выраженную в процентах среднюю относительную ошибку оправдавшихся прогнозов

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n_+}, \quad (4)$$

где  $P_i$  – относительная ошибка в процентах оправдавшегося прогноза, имеющая вид

$$P_i = \frac{|y_\phi - y_n|}{\bar{y}_\phi} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $y_n$  – прогнозируемое значение элемента;  $y_\phi$  – фактическое значение;  $\bar{y}_\phi$  – среднее арифметическое его значение за последние пять лет.

Для внедрения метода в оперативную практику необходимо, чтобы оправдываемость метода была выше оправдываемости инерционного и климатологического прогнозов при одной и той же допустимой ошибке, или ошибка метода должна быть наименьшей при одном и том же показателе оправдываемости.

Под инерционным прогнозом подразумевается прогноз, составленный на основании предположения, что прогнозируемое значение элемента будет таким же, как и в прошлом году. Под климатологическим подразумевается метод прогноза, при котором в качестве прогнозируемого значения принимается его значение по тренду. В качестве прогнозируемого значения элемента по тренду на год прогноза принимается среднее арифметическое из фактических наблюдений за последние пять лет.

Метод разрабатывался на средних многолетних значениях по данным агроклиматических справочников и на оперативной информации за период с 1995 по 2000 год. Авторские испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы проводились на независимом материале 2001–2007 гг. Результаты сравнительной оценки динамико-статистического метода прогноза, инерционного и климатологического представлены в табл. 1 и 2. Для всех представленных субъектов РФ оправдываемость испытываемого метода,

как с заблаговременностью два месяца (табл. 1), так и с заблаговременностью месяц (табл. 2), превышает оправдываемость инерционного и климатологического методов прогноза.

Таблица 1

**Оправдываемость динамико-статистического, инерционного и климатологического методов прогноза урожайности яровой пшеницы на независимом материале (2001–2007 гг.) с заблаговременностью два месяца (авторские испытания:  $\sigma_{\text{доп.}}=0,8\sigma$ )**

Субъект РФ	Метод прогноза					
	динамико-статистический		инерционный		климатологический	
	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
<b>Приволжское УГМС</b>						
Ульяновская область	100	5,0	85,7	11,7	85,7	15,2
Пензенская область	100	9,2	71,4	16,7	42,9	8,9
Самарская область	100	8,2	85,7	13,3	100	21,6
Саратовская область	100	10,7	100	19,0	85,7	19,1
Оренбургская область	100	7,1	100	14,3	100	16,9
<b>Верхне-Волжское УГМС</b>						
Кировская область	100	9,5	57,1	6,7	71,4	7,8
Нижегородская область	100	7,4	85,7	10,1	71,4	14,7
Республика Марий Эл	100	5,0	71,4	11,3	85,7	15,3
Республика Мордовия	100	5,2	71,4	15,9	71,4	11,9
Удмуртская Республика	100	7,3	71,4	1,9	42,9	14,1
Чувашская Республика	100	8,6	85,7	11,8	100	9,8
<b>УГМС Республики Татарстан</b>						
Республика Татарстан	100	3,0	85,7	5,9	57,1	5,0
<b>Северо-Кавказское УГМС</b>						
Волгоградская область	100	4,4	57,1	16,7	57,1	7,5

Производственные испытания данного метода проводилось в течение трех лет (2008–2010 гг.) в четырех УГМС: Приволжском, Верхне-Волжском, Северо-Кавказском и УГМС Республики Татарстан. Результаты оценки оправдываемости прогнозов урожайности яровой пшеницы за этот период, рассчитанных по испытываемому методу, представлены в табл. 3. В

этой же таблице для сравнения приведены результаты оценки инерционного и климатологического прогнозов.

Таблица 2

**Оправдываемость динамико-статистического, инерционного и климатологического методов прогноза урожайности яровой пшеницы на независимом материале (2001–2007 гг.)**

**с заблаговременностью месяц (авторские испытания:  $\sigma_{\text{доп.}}=0,67\sigma$ )**

Субъект РФ	Метод прогноза					
	динамико-статистический		инерционный		климатологический	
	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
<b>Приволжское УГМС</b>						
Ульяновская область	100	8,2	85,7	11,7	71,4	11,0
Пензенская область	100	6,3	57,1	13,8	42,9	8,9
Самарская область	100	9,4	85,7	13,3	71,4	15,3
Саратовская область	100	9,2	85,7	17,3	85,7	19,1
Оренбургская область	100	7,1	100	14,3	100	16,9
<b>Верхне-Волжское УГМС</b>						
Кировская область	100	5,5	57,1	6,7	71,4	7,8
Нижегородская область	100	8,1	71,4	6,8	71,4	14,7
Республика Марий Эл	100	7,0	71,4	11,3	85,7	15,3
Республика Мордовия	100	5,8	57,1	13,7	71,4	11,9
Удмуртская Республика	100	5,8	71,4	1,9	28,6	13,0
Чувашская Республика	100	7,6	85,7	11,8	85,7	6,3
<b>УГМС Республики Татарстан</b>						
Республика Татарстан	100	2,5	85,7	5,9	57,1	5,0
<b>Северо-Кавказское УГМС</b>						
Волгоградская область	100	5,1	57,1	16,7	57,1	7,5

В 2008–2009 гг. производственные испытания показали, что испытываемый метод прогноза имеет высокие показатели оправдываемости прогнозов во всех четырех УГМС (табл. 3).

В 2010 году урожайность яровой пшеницы практически на всей Европейской территории России была экстремально низкой в связи с установившейся в центральной части России аномальной жарой. В теплый период года температура воздуха на 6–7 °С превышала

норму. Другой особенностью периода вегетации 2010 года в средней полосе России являлась сильная засуха. В 2010 году прогноз по испытываемому методу оправдался лишь в одном субъекте Северо-Кавказского УГМС (Волгоградской области) и в трех субъектах территории ответственности Верхне-Волжского УГМС (Кировской области, Республике Мари Эл и Удмуртской Республике).

Коллегия Приволжского УГМС от 13.04.2011 г. приняла решение: «Учитывая высокую оправдываемость методики в 2007–2008 гг., внедрить динамико-статистический метод прогноза урожайности яровой пшеницы в практику оперативной работы на территории всех областей Приволжского УГМС».

Коллегия Верхне-Волжского УГМС от 12.05.2011 г. отметила «необходимость использования в ФГБУ «Нижегородский ЦГМС-Р» и во всех ЦГМС территории деятельности Верхне-Волжского УГМС методики прогнозирования яровой пшеницы».

Технический совет ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» от 11.04.2011 г. по результатам производственных испытаний принял решение: производственные испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы (автор – Т.И. Русакова), проводившиеся в ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» в период 2001–2010 гг., показали, что оправдываемость прогнозов по испытываемому методу в девяти из десяти лет составляет 90–99 %. Не оправдался прогноз в аномальном 2010 году, когда на территории республики отмечалась жесточайшая засуха, не имеющая аналогов за весь ряд регулярных метеорологических наблюдений. Вышеуказанный метод можно применять для прогнозирования урожайности яровой пшеницы в течение вегетационного периода в годы без природных аномалий.

Технический совет Северо-Кавказского УГМС от 24.03.2011 г. принял решение:

«Рекомендовать использовать в оперативной работе предлагаемый метод прогноза урожайности яровой пшеницы по Волгоградской области».

Таким образом, во всех четырех УГМС метод прогноза урожайности яровой пшеницы с заблаговременностью 1–2 месяца внедрен в оперативную практику.

#### Список литературы

1. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
2. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 320 с.



3. Полевой А.Н. Методическое пособие по разработке динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. – М.: Гидрометеоздат, 1981. – 36 с.

4. Полевой А.Н., Русакова Т.И. и др. Прикладная динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур // Сборник докладов: Гидрометеорологическое обеспечение агропромышленного комплекса страны. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – С. 15–31.

5. Русакова Т.И. Разработка и внедрение новых методов агрометеорологических прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур по территории Российской Федерации // Информационный сборник № 32. – 2006. – С. 65–78.

6. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.

Таблица 3

**Средняя для двух сроков прогноза (два месяца и месяц) оправдываемость прогнозов  
урожайности яровой пшеницы по динамико-статистическому, инерционному и климатологическому методам  
за 2008-2010 гг. (производственные испытания)**

Субъект РФ	Оправдываемость прогнозов, %								
	Динамико-статистический метод			Инерционный метод			Климатологический метод		
	2008 год	2009 год	2010 год	2008 год	2009 год	2010 год	2008 год	2009 год	2010 год
<b>Приволжское УГМС</b>									
Ульяновская область	98	77,5	37	77	62	0	79	87	0
Пензенская область	72	76,5	24	59	82	0	80	83	27
Самарская область	93	80	17	66	0	77	70	0	0
Саратовская область	96	63	16	77	0	0	91	10	0
Оренбургская область.	84,5	81,5	32	77	18	0	66	77	0
<b>Верхне-Волжское УГМС</b>									
Кировская область	86	97	89	79	80	75	86	71	94,5
Нижегородская область	95	94	37	79	89	25	90	84	44
Республика Марий Эл	98	93	94	70	82	38	87	89	76
Республика Мордовия	85	94	45	73	82	19	79	66	63,5
Удмуртская Республика	97	99	89	84	97	69	87	84	84,5
Чувашская Республика	96	96	22	80	94	5	81	79,5	32
<b>УГМС Республики Татарстан</b>									
Республика Татарстан	96,5	94	20	80	59	0	81	85	0
<b>Северо-Кавказское УГМС</b>									
Волгоградская область	98	92	96	33	0	19	87	0	73,5