# ЭКСТРАПОЛЯЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА СРЕДНЕСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

В рамках изучения вопроса прогнозирования урожайности зерновых культур на среднесрочную перспективу было проведено комплексное исследование данного показателя, включая изучение основной тенденции временных рядов урожайности, изучение циклической составляющей, а также изучение корреляционных связей урожайности зерновых культур с факторными признаками. Исследование проводилось по 60 временным рядам урожайности сельскохозяйственных культур в динамике за 20 – 50 лет по ряду сельскохозяйственных организаций Московской области, по районам Московской области, в целом по Московской области, а также по России/СССР/России в динамике за 200 лет [4]. Получены следующие результаты:

- временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур не содержат четко выраженной основной тенденции (ряды исследовались с использованием критерия Фостера-Стьюарта, элементов теории Хаоса: R/S анализа и V статистики [3]);
  - ряды отличаются большой колеблемостью;
- временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур, как правило, нельзя прогнозировать на основе аналитического выравнивания;
- в рядах динамики урожайности зерновых культур присутствуют циклы, причем различной продолжительности. С использованием R/S-анализа, V-статистики и коэффициентов автокорреляции нами установлено наличие 2 летних, 11 12 летних и 24 25 26 летних циклов [6];
- мы не можем четко идентифицировать характер взаимодействия циклов друг с другом, а, следовательно, определить в какой фазе каждого цикла находится процесс в тот или иной момент наблюдения;
- корреляционная связь урожайности зерновых культур с факторными признаками не является статической, она носит динамический характер.

В связи с полученными результатами использовать факторные модели для прогнозирования урожайности зерновых культур следует с осторожностью. Если регрессионная модель была построена на одном временном отрезке, ее параметры могут оказаться некорректными для другого временного диапазона (более длинного или короткого). Для определения факторов, наиболее значимых для изменения результативного признака, необходимо оценивать характер изменения во времени каждого фактора в отдельности по каждому объекту исследования. Наши исследования показали, что для построения условно-объективной факторной модели необходимо учитывать 2 группы факторов.

Первая группа — факторы, находящиеся в наибольшем дефиците (в случае изменения данного фактора существенно измениться и результативный признак; в случае сохранения дефицитного состояния данного фактора действие других факторов на результативный признак будет ослаблено).

Вторая группа – факторы с активной динамикой развития. Здесь имеется в виду изменение характера поведения фактора: например, доза внесения удобрения под культуру на протяжении ряда лет не менялась, и поведение данного фактора можно описать уравнениям у=b, затем появилась возможность увеличить дозу внесения удобрений, и характер поведения фактора изменился, теперь его можно описать уравнением у=bx+c. При таком изменении доз внесения удобрений степень влияния данного фактора на урожайность культуры увеличиться.

В обоих случаях речь идет о рассмотрении изменений факторных признаков в диапазоне технологических норм (либо диапазоне оптимальных условий), если они установлены. Переход факторного признака за такие границы, приведет либо к снижению степени влияния на результативный признак, либо к изменению характера связи.

Большое значение для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур имеют методы моделирования. Динамические и физикостатистические модели формирования урожая позволяют в полной мере учесть конкретные условия производства: природно-климатические особенности, уровень развития производительных сил, обеспеченность ресурсами, применяемые технологии возделывания сельскохозяйственных культур, сортовой материал. С их помощью можно определить эффективность применения новых технологий, сортов, техники и других усовершенствований агротехнических условий производства. Однако использование методов моделирования сопряжено с рядом трудностей: требуется наличие квалифицированных кадров, соответствующих аппаратных и программных средств, необходима мощная информационная база (число входных параметров может достигать двух десятков). Использование методов моделирования предпочтительно на уровне конкретного товаропроизводителя. На других уровнях хозяйствования, таких как район или область, возникает угроза потери точности прогноза. Как только в модель попадают несколько хозяйствующих субъектов, возникают различия и в уровне развития производительных сил, и в уровне квалификации персонала, и, как следствие, в применении различных систем ведения хозяйства. При дальнейшем укрупнении модели возникнут различия в природно-климатических условиях. Это негативно отразиться на достоверности прогноза. Еще одна особенность использования методов моделирования в прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур, ограничивающая их широкое применение, - короткий горизонт прогнозирования – он составляет один год.

Методы прогнозной экстраполяции с точки зрения возможности применения на различных уровнях хозяйствования обладают большей универ-

сальностью. Эта группа методов отличается меньшей трудоемкостью. Дополнительным преимуществом является отсутствие необходимости в расчете большого количества входных параметров для построения прогноза. Информационной базой для построения прогноза являются наблюдения значений изучаемого показателя в длительной динамике при условии обеспечения сопоставимости наблюдений. Кроме того, применение методов прогнозной экстраполяции позволяет строить прогноз на несколько лет вперед. Это является весьма существенным преимуществом при построении прогнозов на уровне регионов, так как позволяет рассмотреть различные варианты развития отрасли региона, по крайней мере, на среднесрочную перспективу.

Среди множества экстраполяционных приемов прогнозирования наиболее распространены аналитическое выравнивание временных рядов, методы экспоненциального сглаживания, использование циклически-волновых свойств объекта. Использование методов аналитического выравнивания затруднено в связи с неоднородностью и антиперсистентностью временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур. Проведенные нами исследования подтвердили наличие циклической компоненты в динамике урожайности. Однако длина циклической волны не является постоянной величиной, она колеблется около близких значений. Кроме того, использование циклических свойств рядов урожайности для прогнозирования затруднительно в связи с отсутствием алгоритма выделения нестационарной циклической волны.

Еще одним весьма распространенным приемом экстраполяции является экспоненциальное сглаживание временных рядов [2]. Экспоненциальное сглаживание — вид выравнивания особенно сильно колеблющихся рядов в целях последующего прогнозирования. Этот метод позволяет давать обоснованные прогнозы на основании рядов динамики, имеющих умеренную связь со временем, и обеспечивает больший учет показателей, достигнутых в последние годы. Сущность метода заключается в сглаживании временного ряда с помощью взвешенной скользящей средней, веса которой изменяются по экспоненте. Мы использовали данный прием для построения прогноза урожайности зерновых культур на среднесрочный период (3 года).

Нами также разработан и апробирован экстраполяционный прием построения прогноза урожайности зерновых культур на основе выборочной декомпозиции временного ряда. Общая схема предложенного алгоритма представлена на рис.1.

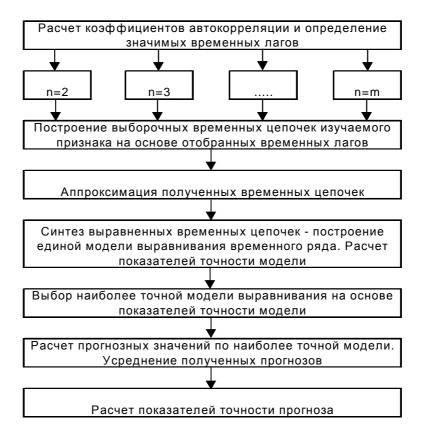


Рисунок 1. Алгоритм построения прогноза урожайности зерновых культур на основе выборочных временных цепочек

Рассмотри данный алгоритм подробнее.

- Шаг 1. Расчет коэффициентов автокорреляции и определение значимых временных лагов. Необходимо рассчитать коэффициенты автокорреляции для максимального количества временных лагов и выбрать те, для которых коэффициент автокорреляции имеет значимую величину, либо величину, очень близкую к критическому значению. С другой стороны, выбор длины временного лага должен обеспечивать достаточную длину временной цепочки для проведения содержательного анализа.
- Шаг 2. Построение выборочных временных цепочек изучаемого показателя на основе отобранных временных лагов. При этом в полученных временных цепочках изменение независимой переменной на единицу будет соответствовать длине выбранного временного лага.
  - Шаг 3. Аппроксимация полученных временных цепочек.
- Шаг 4. Синтез выборочных временных цепочек и построение единой модели выравнивания временного ряда, расчет показателей точности модели. Выбор наиболее точной модели, по которой в дальнейшем рассчитывается прогноз.
- Шаг 5. Построение прогноза урожайности зерновых культур на среднесрочный период. Декомпозиция ряда наблюдений на временные цепочки производилась с целью анализа взаимосвязанных уровней динамического ряда. Полученная совокупность цепочек является моделью, отражающей харак-

теристики имеющегося временного ряда. Однако строить прогноз по отдельным цепочкам на соответствующий период представляется некорректным, так как в этом случае могут быть потеряны важные составляющие динамики исходного временного ряда: изменение климата, погодных условий, экономической ситуации, агротехнических условий производства сельскохозяйственных культур, состояния засоренности и зараженности посевов и другие. С целью сохранения целостности исходного временного ряда урожайности следует усреднить прогнозные значения, полученные по каждой цепочке.

Шаг 6. Расчет показателей точности прогноза.

Рассмотрим практическую реализацию данного метода на примере временного ряда урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области за период 1955 – 1997 годы (диаграмма 1). Для построения модели ряда динамики использовался временной диапазон с 1955 по 1994 годы, включающий 40 уровней наблюдений. Оставшийся период 1995 – 1997 гг. является диапазоном тестирования полученных прогнозных значений. (Для оценки предпочтительности использования предложенного алгоритма прогноз одновременно рассчитывался методом экспоненциального сглаживания). В данном случае мы определили 5 – летний период как максимальный временной лаг, поскольку использование более крупного периода неоправданно усложняет расчеты, при этом полученные цепочки будут слишком короткими для аппроксимации. Для выбранного временного периода коэффициенты автокорреляции значимы при временных лагах 2, 4 и 5 лет. Рассмотрим пример с разложением временного ряда на пять выборочных цепочек. Из 40 уровней диапазона идентификации модели (1955 – 1994 годы) формируем 5 временных цепочек таким образом, чтобы в каждую входили уровни, отстоящие друг от друга на 5 лет (табл. 1 и 2).

Диаграмма 1



Таблица 1 Исходный ряд урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области

	110	тодп	biii pi	<u> </u>	Jilaii	10011	03111	1011 11	шеш	тцы т	io Jui	орек	<u> </u>	our or	<i>y</i> 1110	CROD	OICOII	00314	<b>U</b> 1 1 1			
Год	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Урожай																						
ность																						
ц/га	13,4	15	8,6	10,7	13,9	10,1	15,5	8,2	9,4	12,7	18,7	14,9	24,8	21,6	26,1	30,6	27,9	25,1	34,8	32,3	31,8	35,3
Год	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
Nº	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
Урожай																						
ность																						
ц/га	36,3	32	25,6	16,2	16	24,5	27,9	33,1	34,2	36,4	43,6	37,5	35,4	30,8	27,4	37,5	18,1	26	22,2	26,9	24,5	

Формирование выборочных временных цепочек

Таблица 2

			,	POPM	inpobuiin	с выобре	, 1111	in bpemer	ппыл цог	10 10	11			
		Урожайнос			Урожайнос			Урожайнос			Урожайнос			Урожайнос
Год	Nº	ть ц/га	Год	Nº	ть ц/га	Год	Nº	ть ц/га	Год	Nº	ть ц/га	Год	Nº	ть ц/га
1 цепочка			2 цепочка			3 цепочка			4 цепочка			5 цепочка		
1955	1	13,4	1956	2	15	1957	3	8,6	1958	4	10,7	1959	5	13,9
1960	6	10,1	1961	7	15,5	1962	8	8,2	1963	9	9,4	1964	10	12,7
1965	11	18,7	1966	12	14,9	1967	13	24,8	1968	14	21,6	1969	15	26,1
1970	16	30,6	1971	17	27,9	1972	18	25,1	1973	19	34,8	1974	20	32,3
1975	21	31,8	1976	22	35,3	1977	23	36,3	1978	24	32	1979	25	25,6
1980	26	16,2	1981	27	16,0	1982	28	24,5	1983	29	27,9	1984	30	33,1
1985	31	34,2	1986	32	36,4	1987	33	43,6	1988	34	37,5	1989	35	35,4
1990	36	30,8	1991	37	27,4	1992	38	37,5	1993	39	18,1	1994	40	26,0

Далее проводится аппроксимация построенных выборочных цепочек на основе метода наименьших квадратов. Аппроксимация выполнялась с использование Microsoft Ecxel. Уравнения выравнивания временных цепочек имеют следующий вид:

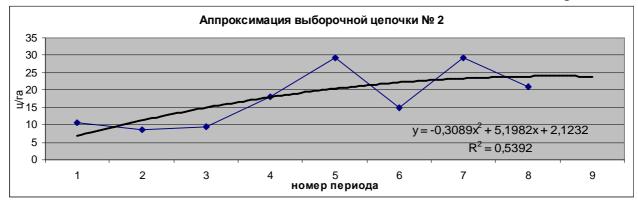
1 цепочка: y= 8,936х <sup>0,4788</sup>	$R^2=0,75;$
2 цепочка: $y = -0.3089x^2 + 5.1982x + 2.1232$	$R^2=0,54;$
3 цепочка: $y = -0.4137x^2 + 6.8387x - 1.9125$	$R^2=0.93;$
4 цепочка: $y = -1,0149x^2 + 10,973x - 3,8125$	$R^2=0,74;$
$5$ цепочка: $y = 0.0435x^2 + 2.9935x + 6.2839$	$R^2 = 0.94$ .

Графическая интерпретация расчетов приведена на диаграммах 2 - 6.

## Диаграмма 2



# Диаграмма 3



## Диаграмма 4

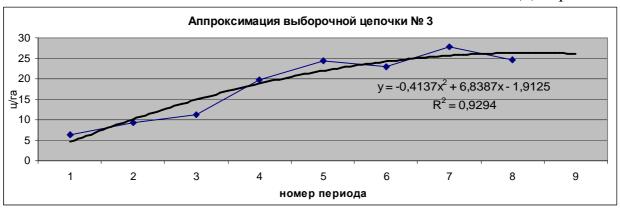


Диаграмма 5

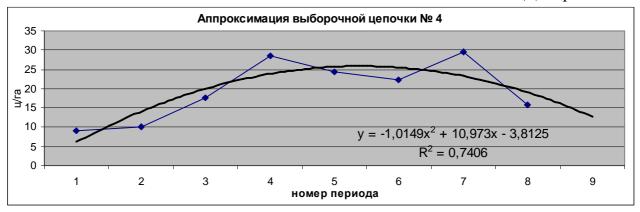
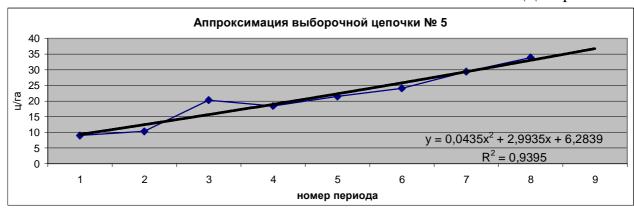


Диаграмма 6



В соответствии с полученными уравнениями аппроксимации выборочных временных цепочек производилось выравнивание временного ряда урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области на диапазоне идентификации (1955 – 1994 годы). Для расчета прогнозных значений производилась экстраполяция динамики отдельных цепочек. В нашем примере прогнозные значения рассчитывались следующим образом:

- на первый год горизонта прогнозирования (1995 г.) по цепочке № 1;
- на второй год горизонта прогнозирования (1996 г.) по цепочке № 2;
- на третий год горизонта прогнозирования (1997 г.) по цепочке № 3. Данный расчет представлен в таблице 3.

Таблица 3 Формирование модели выровненного ряда урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области

		№ B	ыборс 1	чной і іепочк		ной			начения ря и временн			Общая модель
Год	№	1	_	3	4	5	1					выровненного ряда, ц/га
	112	1	2	_	4	_	1	2	3	4	5	
1955	1	1	0	0	0	0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9
1956	2	0	1	0	0	0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	7,0
1957	3	0	0	1	0	0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	4,5
1958	4	0	0	0	1	0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	6,1
1959	5	0	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,3
1960	6	2	0	0	0	0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5
1961	7	0	2	0	0	0	0,0	11,3	0,0	0,0	0,0	11,3
1962	8	0	0	2	0	0	0,0	0,0	10,1	0,0	0,0	10,1
1963	9	0	0	0	2	0	0,0	0,0	0,0	14,1	0,0	14,1
1964	10	0	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	12,4
1965	11	3	0	0	0	0	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1

1966	12	0	3	0	0	0	0,0	14,9	0,0	0,0	0,0	14,9
1967	13	0	0	3	0	0	0,0	0,0	14,9	0,0	0,0	14,9
1968	14	0	0	0	3	0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	20,0
1969	15	0	0	0	0	3	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	15,7
1970	16	4	0	0	0	0	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4
1971	17	0	4	0	0	0	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	18,0
1972	18	0	0	4	0	0	0,0	0,0	18,8	0,0	0,0	18,8
1973	19	0	0	0	4	0	0,0	0,0	0,0	23,8	0,0	23,8
1974	20	0	0	0	0	4	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	19,0
1975	21	5	0	0	0	0	19,3	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3
1976	22	0	5	0	0	0	0,0	20,4	0,0	0,0	0,0	20,4
1977	23	0	0	5	0	0	0,0	0,0	21,9	0,0	0,0	21,9
1978	24	0	0	0	5	0	0,0	0,0	0,0	25,7	0,0	25,7
1979	25	0	0	0	0	5	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	22,3
1980	26	6	0	0	0	0	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0	21,1
1981	27	0	6	0	0	0	0,0	22,2	0,0	0,0	0,0	22,2
1982	28	0	0	6	0	0	0,0	0,0	24,2	0,0	0,0	24,2
1983	29	0	0	0	6	0	0,0	0,0	0,0	25,5	0,0	25,5
1984	30	0	0	0	0	6	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8	25,8
1985	31	7	0	0	0	0	22,7	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7
1986	32	0	7	0	0	0	0,0	23,4	0,0	0,0	0,0	23,4
1987	33	0	0	7	0	0	0,0	0,0	25,7	0,0	0,0	25,7
1988	34	0	0	0	7	0	0,0	0,0	0,0	23,3	0,0	23,3
1989	35	0	0	0	0	7	0,0	0,0	0,0	0,0	29,4	29,4
1990	36	8	0	0	0	0	24,2	0,0	0,0	0,0	0,0	24,2
1991	37	0	8	0	0	0	0,0	23,9	0,0	0,0	0,0	23,9
1992	38	0	0	8	0	0	0,0	0,0	26,3	0,0	0,0	26,3
1993	39	0	0	0	8	0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	19,0
1994	40	0	0	0	0	8	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0	33,0
1995	41	9	8,8	8,6	8,4	8,2	25,6					25,6
1996	42	9,2	9	8,8	8,6	8,4		23,9				23,9
1997	43	9,4	9,2	9	8,8	8,6			26,1			26,1

С целью синтезирования полученной совокупности уравнений в единую систему и построения объективного прогноза урожайности, который будет отражать целостный характер временного ряда, проводилась корректировка прогнозных значений. В соответствии с шагом 5 предложенной схемы построения прогноза урожайности зерновых культур по каждой временной цепочке был рассчитан прогноз на каждый год горизонта прогнозирования. Так как в выборочных временных цепочках изменение независимой переменной (номера периода) соответствует пяти годам реального времени, то для расчета ежегодных значений по каждой отдельной цепочке независимая переменная бралась с шагом 0,2. Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 Усреднение прогнозных значений временного ряда урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области

			ной по		имой п й выбо чке		_	ненные з ответству по		Среднее про-		
Год	№	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	чение, ц/га
1995	41	9,0	8,8	8,6	8,4	8,2	25,6	23,9	26,3	16,7	33,8	25,3
1996	42	9,2	9,0	8,8	8,6	8,4	25,9	23,9	26,2	15,5	34,5	25,2
1997	43	9,4	9,2	9,0	8,8	8,6	26,1	23,8	26,1	14,2	34,9	25,0

Графическая интерпретация результатов представлена на диаграмме 7.

### Диаграмма 7



Аналогичным образом проводилось выравнивание временного ряда урожайности и построение прогноза для временных лагов, продолжительностью 2 и 4 года.

Оценка точности полученных моделей представлена в таблице 5. Таблица 5

Оценка точности моделей выравнивания урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области

	•			Средняя абсо-	
	Среднеквад-	Среднее абсо-	Среднеквад-	лютная ошиб-	Средняя про-
Наименование мо-	ратическое	лютное от-	ратическая	ка в процен-	центная
дели	отклонение	клонение	ошибка	тах	ошибка
2-летние цепочки	4,2	3,1	16,1	17,7	-3,3
4-летние цепочки	3,7	2,8	12,8	17,2	-3,4
5-летние цепочки	3,6	2,8	11,9	17,1	-2,9
экспоненциальное					
сглаживание	14,5	10,4	200,2	48,3	-40,2

Из приведенных расчетов видно, что наиболее точной моделью выравнивания временного ряда урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области является модель выравнивания по 5 — летним выборочным цепочкам.

Рассмотрим точность полученных прогнозных значений путем сравнения прогнозов, полученных по модели выборочных 5 – летних цепочек и по модели экспоненциального сглаживания (таблица 6 и 7).

Таблица 6 Прогнозные значения урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области на 1995 – 1997 годы

Прогн	ноз по м	одели	Прогі	ноз по м	етоду	Факт	тические	е зна-	Оши	бка про	гноза	Ошибка прогноза по методу экспо-		
выбор	выборочных цепо- чек		экспоненциального сглаживания			чения диапазона тестирования			по алгоритму вы- борочных цепочек			ненциального сгла- живания		
1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997
25,3	25,2	25,0	26,6	26,9	27,2	22,1	23,9	25,3	-3,2	-1,3	0,3	-4,5	-3,0	-1,9

Таблица 7 Характеристики точности прогноза урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области

Наименование	Средняя	Коэффициент	Статистика	Дисперсия отклонения	Средняя процентная
модели	ошибка	несовпадения	Тейла	прогнозных значений	ошибка по диапазо-
	прогноза	Тейла		от данных множества	ну тестирования
				тестирования	
5-летние цепочки	1,9	0,06	0,31	3,9	-6,2
экспоненциальное	7,8	0,09	0,57	11,0	-13,5
сглаживание					

По всем рассмотренным критериям прогноз урожайности озимой пшеницы по Загорскому району Московской области, полученный на основе выборочных временных цепочек, более точный, чем прогноз, построенный на основе модели экспоненциального сглаживания.

Экспериментальная апробация предложенного алгоритма на 25 временных рядах урожайности зерновых культур подтвердила его адекватность для построения прогноза урожайности зерновых культур на среднесрочный период. Необходимо отметить, что точность моделей и прогнозов, полученных на основе предложенного алгоритма, существенно выше, чем в моделях экспоненциального сглаживания.

Таким образом, предложенный алгоритм построения прогноза урожайности зерновых культур на среднесрочную перспективу обеспечивает построение достоверного прогноза урожайности на основе учета внутренней неоднородности и циклических свойств временных рядов урожайности.

В свою очередь, получение достоверного прогноза урожая на среднесрочную перспективу позволит на всех уровнях управления корректно решать вопросы формирования резервных фондов продовольствия, наличия необходимых мощностей для хранения полученного урожая, а также строить адекватную и эффективную политику внешней торговли на государственном уровне.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М: Финансы и статистика, 2001.
- 2. Личко К.П., Абельдяев Н.Ф. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур (экстраполяционные приемы). М.: ТСХА, 1988.
- 3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике. М: Интернет-трейдинг, 2004.
- 4. Растянников В.Г., Дерюгина И.В. Об урожайности хлебов в России: 1795 2002 гг. // Вопросы статистики 2004. №5.
- 5. Ханк Д.Э., Уичерн Д.У., Райтс А.Дж. Бизнес-прогнозирование. М: Издательский дом «Вильямс», 2003.
- 6. Шумская Е.В. К вопросу о циклическом характере динамики урожайности сельскохозяйственных культур. // Проблемы экономики 2006. № 1.