

УДК 330.173.34

UDC 330.173.34

**МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ****ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR  
DECISION MAKING AND PREDICTING THE  
BEHAVIOR OF DYNAMICAL SYSTEMS**

Кумратова Альфира Менлигуловна  
к.э.н., доцент  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Kumratova Alfira Menligulovna  
Cand.Econ.Sci., assistant professor  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В работе предлагается модификация и обучение клеточно-автоматной прогнозной модели. Автор представляет модифицированную систему моделей и методов прогнозирования временных рядов с памятью на базе теории нечетких множеств и линейных клеточных автоматов

This article proposes a modification and training the Cellular Automaton predictive model. The author presents a modified system of models and methods for time series prediction with memory based on the theory of fuzzy sets and linear cellular automata

Ключевые слова: ЛИНЕЙНЫЙ КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ, НЕЧЕТКОЕ МНОЖЕСТВО, ПРОГНОЗ, ВАЛИДАЦИЯ, АДАПТАЦИЯ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ

Keywords: LINEAR CELLULAR AUTOMATA, FUZZY SETS, WEATHER, VALIDATION, ADAPTATION PREDICTIVE MODELS

Настоящая работа посвящена проблеме получения численных оценок глубины памяти временных рядов (ВР) [14] урожайности ведущих сельскохозяйственных культур, выращиваемых в зоне рискованного земледелия (на примере статистических данных по Карачаево-Черкесской Республике). Как отмечается в [4,22], такие ВР обладают долговременной памятью [14]. Последнее означает, что такие ряды аккумулируют информацию о колебаниях погодных условий и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Другими словами, в этих рядах заключена информация об определенных закономерностях, которые в научной литературе принято относить к так называемой долговременной памяти. Выявленные закономерности, в свою очередь, позволяют строить прогнозные модели урожайностей сельскохозяйственных культур [22].

Применительно к ВР урожайностей к настоящему времени известны два подхода для оценки глубины их долговременной памяти. Первый подход базируется на фрактальном анализе или, в более узком смысле, на  $R/S$ -анализе этих рядов [14,21]. Второй подход базируется на моделях клеточных автоматов [9], точнее линейных клеточных автоматов [4]. В

настоящей работе, базируясь на конкретных ВР урожайностей сельскохозяйственных культур, автор реализует идею клеточных автоматов к оценке глубины памяти рассматриваемых рядов.

Идея клеточных автоматов появилась в конце сороковых годов 20 века. Она была задумана и сформулирована Джоном фон Нейманом и Конрадом Цусе независимо друг от друга как универсальная вычислительная среда для построения, анализа и сравнения характеристик алгоритмов [10].

При разработке клеточных автоматов Дж. Фон Нейман за основу взял работу С. Улама и впервые соединил в клеточных автоматах понятия вычислительное устройство и данные, с которыми система оперирует. Данные и вычислительные устройства собираются из одних и тех же структурных элементов. Джон фон Нейман поставил перед собой задачу доказать возможность существования самовоспроизводящихся автоматов. Если такую машину снабдить надлежащими инструкциями, она построит точную копию самой себя. В свою очередь обе эти машины построят себе пары и так далее в прогрессии 2, 4, 8, 16 ... «Клеточные автоматы являются дискретными динамическими системами, поведение которых полностью определяется в терминах локальных зависимостей, в значительной степени так же обстоит дело для большого класса непрерывных динамических систем: определенных уравнениями в частных производных. В этом смысле клеточные автоматы в информатике являются аналогом физического понятия «поля» ... клеточный автомат может мыслиться как стилизованный мир. Пространство представлено равномерной сеткой, каждая ячейка которой, или клетка, содержит несколько битов данных; время идет вперед дискретными шагами, а законы мира выражаются единственным набором правил, скажем, небольшой справочной таблицей, по которой любая клетка на каждом шаге вычисляет свое новое состояние по состояниям ее близких соседей.

Таким образом, законы системы являются локальными и повсюду одинаковыми. «Локальный» означает, что для того, чтобы узнать, что произойдет здесь мгновение спустя, достаточно посмотреть на состояние ближайшего окружения: ни в каком-либо “дальнодействии” нет необходимости. «Одинаковость» означает, что законы везде одни и те же: я могу отличить одно место от другого по форме ландшафта, а не по какой-то разнице в законах» [19].

Клеточные автоматы – это не просто машина, работающая с полем, разбитым на клетки. Область применения клеточных автоматов почти безгранична: от «простейших» «Крестиков-ноликов» и до искусственного интеллекта.

По своему поведению клеточные автоматы делятся на четыре класса. К первому классу относятся автоматы, приходящие через определенное время к устойчивому однородному состоянию. Автоматы второго класса через некоторое время после пуска генерируют стационарные или периодические во времени структуры. В автоматах третьего класса по прошествии некоторого времени перестает наблюдаться корреляция процесса с начальными условиями. Наконец, поведение автоматов четвертого класса сильно определяется начальными условиями и с их помощью можно генерировать весьма различные шаблоны поведения.

Можно использовать клеточные автоматы и при решении оптимизационных задач. Часто в различных сферах деятельности возникают задачи нахождения оптимального варианта из неограниченного числа возможных.

Например: игра «Жизнь» была применена для анализа социально-экономических схем и применялась к вопросу о спиралевидности большинства галактик. Конвей говорит: «Ранее я писал о том, что наша Вселенная, быть может, представляет собой огромный клеточный автомат, управляемый движением элементарных частиц в соответствии с

некоторыми правилами. Теперь же я все более утверждаюсь в своей догадке».

В ряде работ российского ученого Перепелицы В.А., известного своими новаторскими идеями в области дискретной математики и экономико-математического моделирования [12,13] изложены концептуальные основы прогнозного линейного клеточного автомата, базирующегося на конструктивном подходе. В этом исследовании продемонстрирована работа предложенной прогнозной клеточно-автоматной модели (КАМ) на реальных данных, а именно, на данных временного ряда урожайностей озимой пшеницы по Ставропольскому краю с 1870 по 1996гг., причем, результат прогноза получается в терминах лингвистических переменных (Н – низкая, В – высокая и С – средняя урожайность). В работе [15], подробно излагается алгоритм раскраски исходного временного ряда, т.е. перевода числового ВР в лингвистические переменные, а алгоритм использования прогнозного линейного клеточного автомата строго излагается на основе идей нечеткой логики и предлагается переход от прогноза лингвистических переменных к прогнозу данных в числовом выражении. Адаптация используемой клеточно-автоматной модели осуществляется автором на этапе «обучения модели», т.е. осуществляется обучение линейного клеточного автомата на этапе выбора варианта и способа раскраски уровней исходного временного ряда.

К настоящему времени известны два подхода к исследованию системы методами клеточных автоматов: статистический и конструктивный [9]. Реализация первого из них начинается с составления перечня всех возможных конфигураций, которые могут встречаться при неограниченном продолжении рассматриваемого временного ряда. На базе той информации можно вводить определения известных понятий теории детерминированного хаоса, аналоги показателей Ляпунова, фрактальных размерностей и т.д. Реализация второго подхода начинается с

конструирования и анализа различных типов структур, возникающих в изучаемой системе или процессе, и выявления типа взаимодействия между структурами.

В работе предлагается математическая модель и метод для прогнозирования ожидаемой в наступающем году урожайности озимой пшеницы. Предлагаемая модель базируется на инструментарии линейных клеточных автоматов [9,11]. Исходными данными для этой модели служат элементы временного ряда значений урожайностей озимой пшеницы по Карачаево-Черкесской Республике (КЧР), представленной в виде нечеткого множества [1].

Целью моделирования на нижнем уровне является не только получение возможно более точного прогноза урожайности сельскохозяйственной культуры, но и обеспечение возможно более адекватного отражения хаотической природы моделируемого процесса. Достижение этих целей становится исключительно актуальным в случае практического обеспечения экономической безопасности региона.

Важно отметить, что существующие к настоящему времени подходы и методы прогнозирования базируются либо на корреляционно-регрессионных моделях, либо на трендах, для представления которых выбирается наиболее подходящие экстраполяционные зависимости. Глубокий анализ временных рядов значений урожайности озимой пшеницы показывает слабую адекватность этих моделей указанным рядам. Использование метода наименьших квадратов может отражать только лишь направление тренда и усредненное значение элементов временного ряда. Очевидно, что эти показатели, ни в какой мере не учитывают зависимость значений урожайностей от предыдущих конфигураций на заключительном отрезке ВР, длина которого равна глубине памяти. Причиной тому является скрытая квазипериодичность, наличие долговременной памяти и дробной фрактальной размерности [14],

присущей природным временным рядам [22]. Знание этих характеристик является весьма полезным при анализе развития региона, как социально-экономической системы. В силу этого обстоятельства в настоящей работе для построения прогнозной модели значений урожайностей сельскохозяйственных культур предлагается новый подход, который базируется на использовании клеточных автоматов и математического аппарата нечетких множеств. При этом оговоримся заранее, что предлагаемая математическая модель относится к пассивным прогнозам [20], которые опираются лишь на возможное продолжение развития внутренних, собственных тенденций рассматриваемой системы.

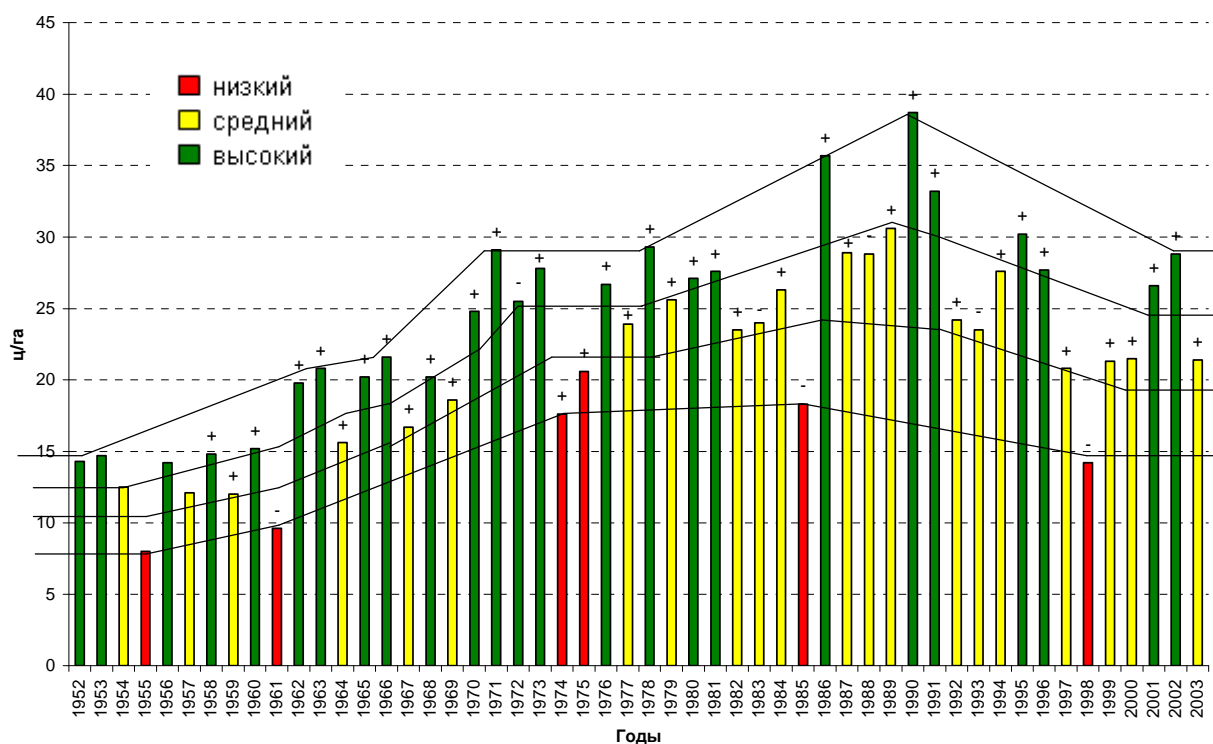


Рисунок 1 – Гистограмма ВР урожайности озимой пшеницы по КЧР за период с 1952-2003 гг. (I вариант)

Автором рассмотрен ВР урожайности озимой пшеницы по КЧР за период с 1952 года по 2003 год (в соответствии с рисунками 1,2,3). Предложены 3 варианта раскраски данного ВР: I вариант – 3 цвета (Н – низкий, С – выше среднего и В – высокий ожидаемый урожай озимой пшеницы); II вариант – 4 цвета (Н – низкий, П (промежуточный) – ниже среднего, С – выше среднего и В – высокий ожидаемый урожай озимой

пшеницы); III вариант – 2 цвета (Н – низкий и В – высокий ожидаемый урожай озимой пшеницы). Методика расчетов применения КАМ, основанная на элементах теории графов и нечетких множеств подробно описана в следующих публикациях авторов [4,15,17].

Результаты валидации (I вариант): количество угаданных уровней – 39 шт., количество неугаданных уровней – 7 шт. Прогноз на 2004 год составил 21,2 ц/га (в соответствии с рисунком 1).

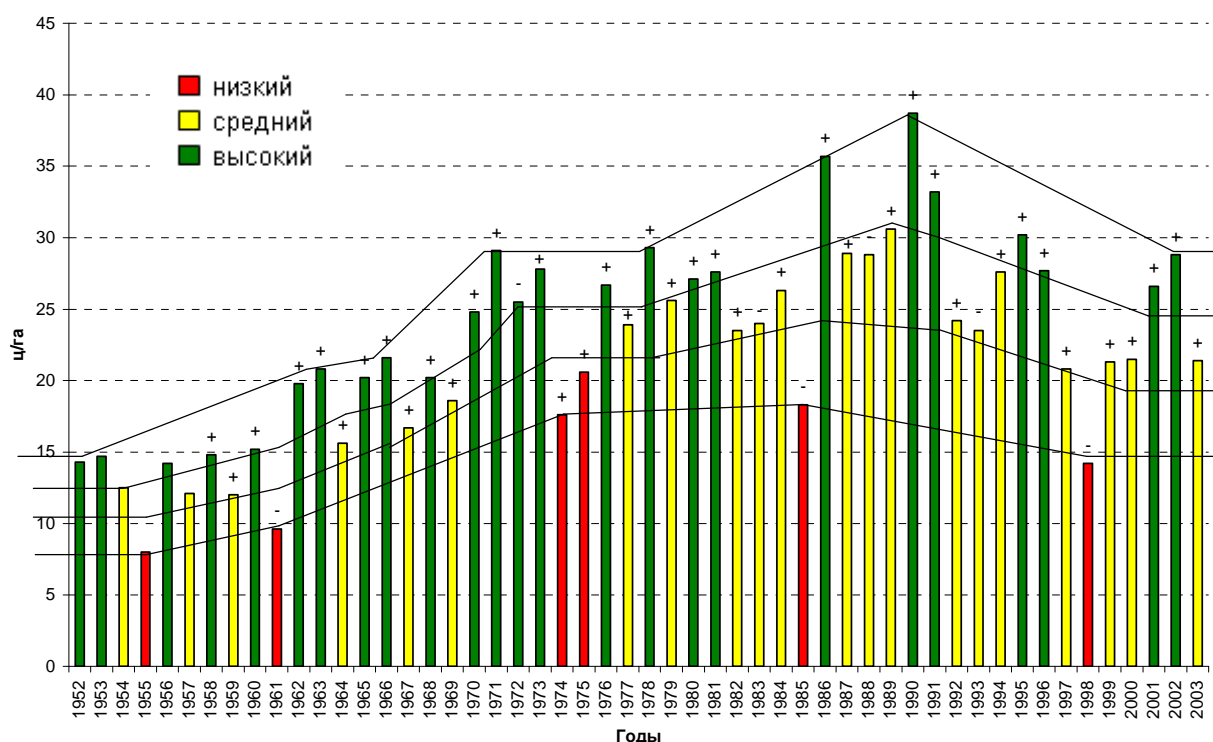


Рисунок 1 – Гистограмма ВР урожайности озимой пшеницы по КЧР за период с 1952-2003 гг. (I вариант)

Результаты валидации (II вариант): количество угаданных уровней – 40 шт., количество неугаданных уровней – 8 шт. Прогноз на 2004 год составил 26,49 ц/га (в соответствии с рисунком 2).

Результаты валидации (III вариант): количество угаданных уровней – 35 шт., количество неугаданных уровней – 10 шт. Прогноз на 2004 год составил 25,78 ц/га (в соответствии с рисунком 3).

В таблице 1 представлены результаты применения клеточно-автоматной модели трех вариантов раскраски значений урожайностей озимой пшеницы по Карачаево-Черкесской Республике.

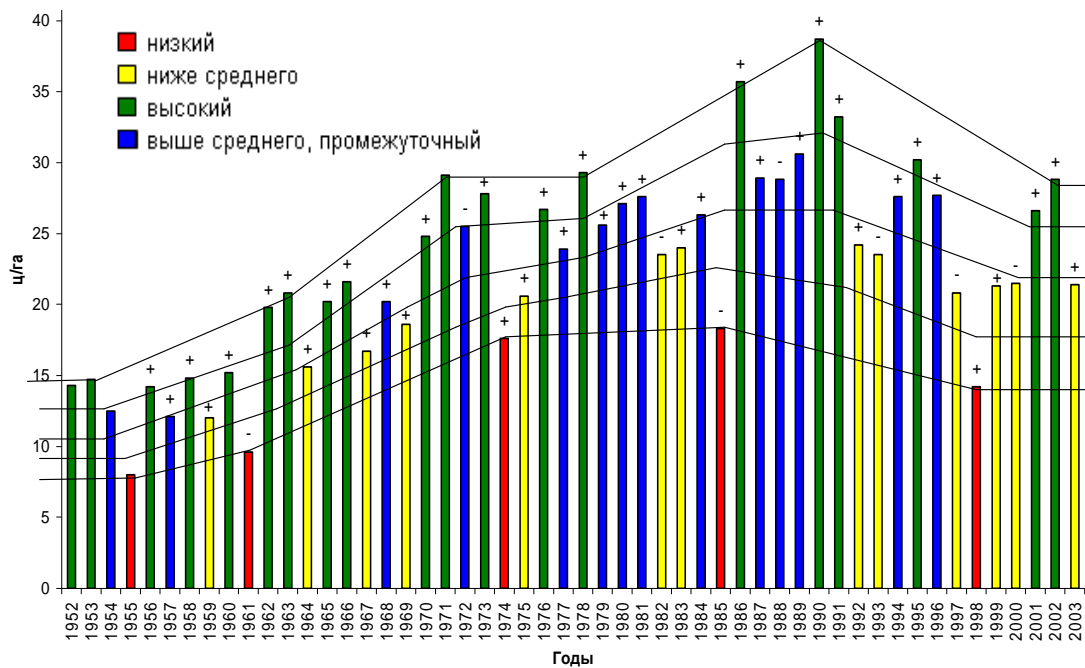


Рисунок 2 – Гистограмма ВР урожайности озимой пшеницы по КЧР за период с 1952-2003 гг. (II вариант)

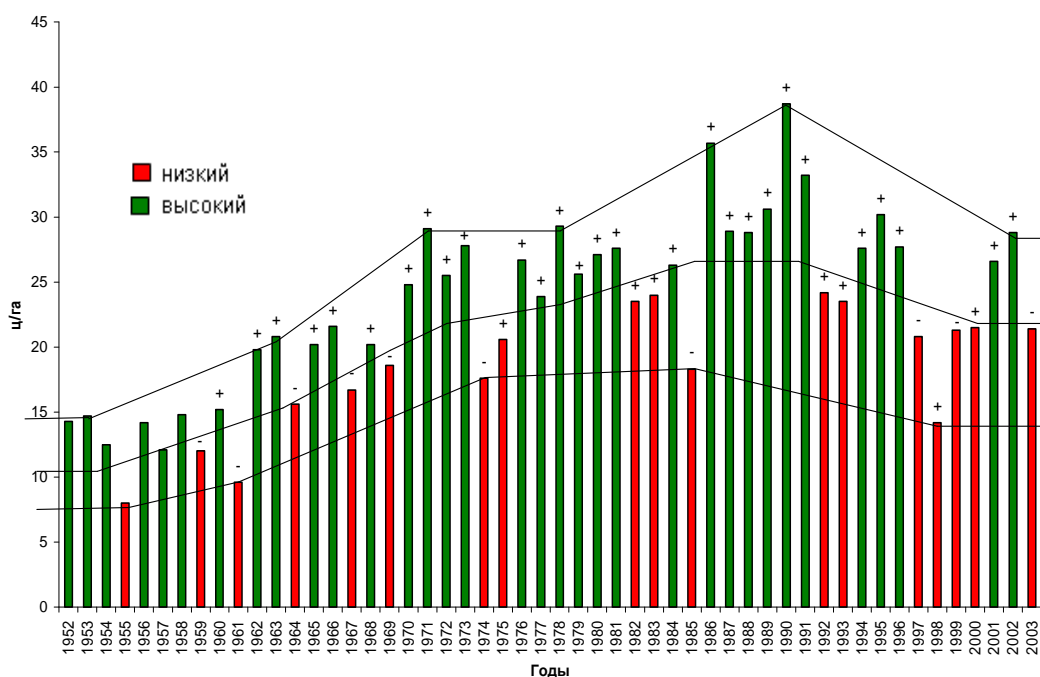


Рисунок 3 – Гистограмма ВР урожайности озимой пшеницы по КЧР за период с 1952-2003 гг. (III вариант)

Таблица 1 – Результаты применения клеточно-автоматной модели прогнозирования временных рядов

I вариант прогноза	II вариант прогноза	III вариант прогноза	Фактические данные
--------------------	---------------------	----------------------	--------------------



Урожайность озимой пшеницы	21,2 ц/га	26,49 ц/га	25,78 ц/га	23 ц/га
----------------------------	-----------	------------	------------	---------

Фактический урожай на 2004 год составил 23 ц/га. Говоря об адекватном подходе к варианту раскраски ВР, автор делает выбор в пользу I варианта (3 цвета), т.к. именно этот вариант дает наиболее точный прогноз.

На сегодняшний день стоит вопрос о проблеме прогноза межгодовых колебаний урожайностей сельскохозяйственных культур и их значений в решении задач повышения устойчивости и экономической эффективности сельскохозяйственного производства. В настоящей работе автором рассмотрен также ВР приращений, который также раскрашен в два цвета: В – положительные и Н – отрицательные значения.

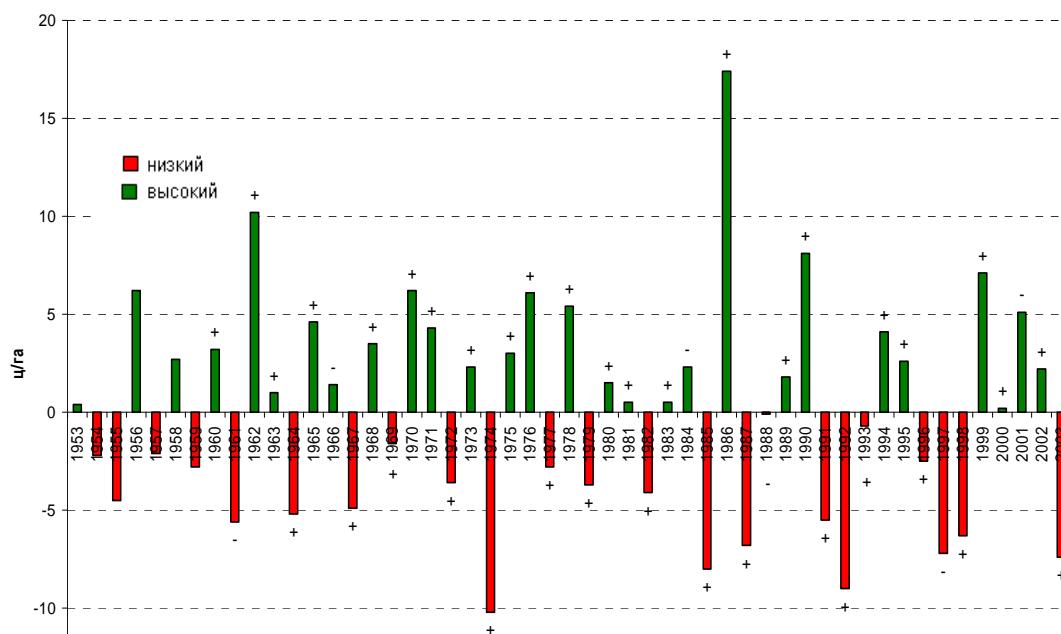


Рисунок 4 – Гистограмма приращений ВР урожайности озимой пшеницы по КЧР за период с 1952-2003 гг.

Результаты валидации: количество угаданных уровней – 37 шт., количество неугаданных уровней – 7 шт.

Такие же результаты получаем, применяя клеточно-автоматную модель к временным рядам урожайностей основных сельскохозяйственных культур, таких как: кукуруза на зерно, картофель, подсолнечник, сахарная свекла. Результаты расчетов этого анализа представлены ниже.

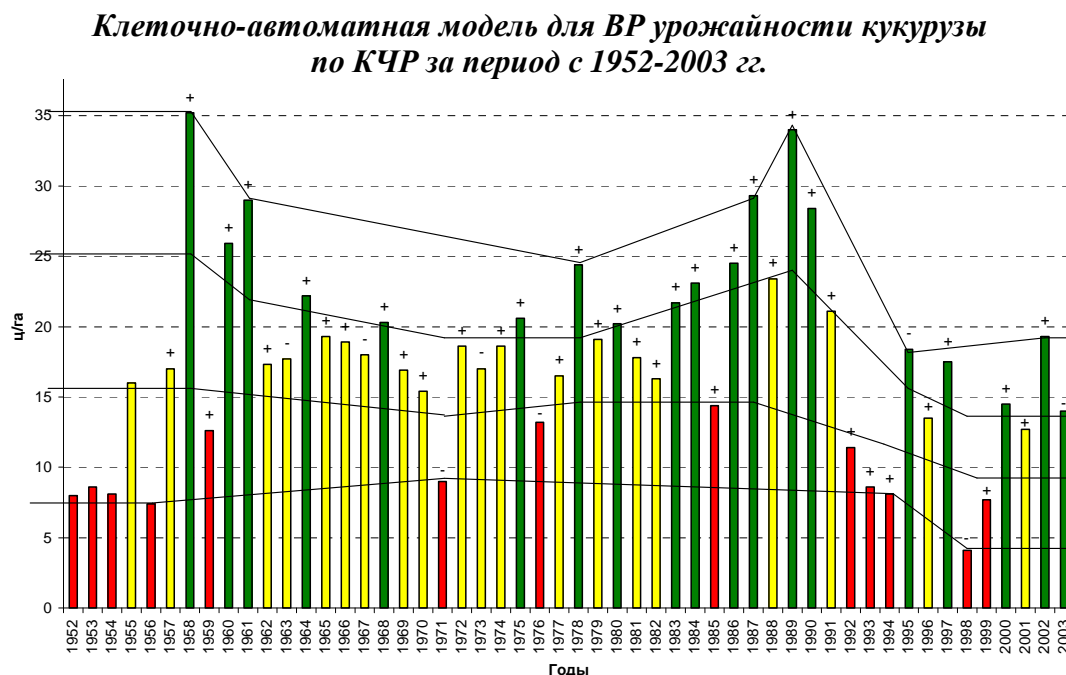


Рисунок 5 – Гистограмма ЛВР урожайности кукурузы по КЧР за период с 1952 по 2003 гг.

Результаты валидации: количество угаданных уровней – 39 шт., количество неугаданных уровней – 8 шт.

*Вычисление лингвистического прогноза урожайности кукурузы по КЧР на 2004 год:*

$$\mu'_H = \frac{4}{18} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = 0,972; \quad \mu'_C = \frac{9}{18} + \frac{3}{4} + \frac{1}{2} + 1 = 2,75; \quad \mu'_B = \frac{5}{18} = 0,27;$$

$$\sigma = 0,972 + 2,75 + 0,27 = 3,99;$$

$$\mu_H^0 = \frac{\mu'_H}{\sigma_l} = 0,24; \quad \mu_C^0 = \frac{\mu'_C}{\sigma_l} = 0,68; \quad \mu_B^0 = \frac{\mu'_B}{\sigma_l} = 0,06.$$

*Результат вычисления в виде лингвистического терм-множества:*

$$U_{n+1}^0 = \{(H; 0), (C; 0), (B; 0)\}$$

*Вычисление числового прогноза урожайности кукурузы по КЧР на 2004 год:*

$$y_H^0 = \frac{y_{47} + y_{48}}{2} = \frac{4,1 + 7,7}{2} = 5,9; \quad y_C^0 = \frac{y_{45} + y_{50}}{2} = \frac{13,5 + 12,7}{2} = 13,1;$$

$$y_B^0 = \frac{y_{49} + y_{51} + y_{52}}{3} = \frac{14,5 + 14 + 19}{3} = 15,83.$$

Результат вычисления в виде нечеткого множества:

$$Y_{n+1}^0 = \{(5,9; 0,24), (13,1; 0,68), (15,83; 0,06)\}$$

Общий числовой прогноз на 2004 год:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot y_i^0 = 0,24 \cdot 5,9 + 0,68 \cdot 13,1 + 0,06 \cdot 15,83 = 11,74 \text{ ц/га}$$

**Клеточно-автоматная модель для ВР урожайности картофеля по КЧР за период с 1952-2003гг.**

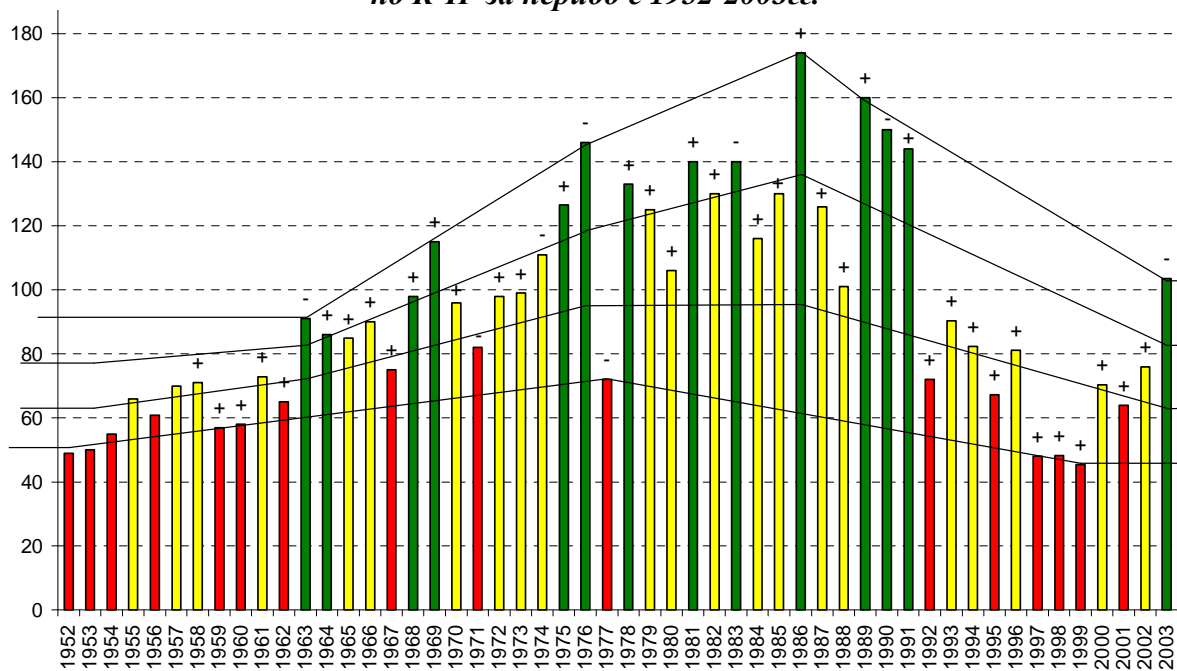


Рисунок 6 – Гистограмма ЛВР урожайности картофеля по КЧР за период с 1952 по 2003 гг.

Результаты валидации: количество угаданных уровней – 37 шт., количество неугаданных уровней – 9 шт.

Вычисление лингвистического прогноза урожайности картофеля по КЧР на 2004 год:

$$\mu'_H = \frac{2}{13} = 0,154; \mu'_C = \frac{6}{13} + \frac{3}{5} = 1,06; \mu'_B = \frac{5}{13} + \frac{2}{5} = 0,78; \sigma = 0,154 + 1,06 + 0,78 = 1,99;$$

$$\mu_H^0 = \frac{\mu'_H}{\sigma} = 0,08; \mu_C^0 = \frac{\mu'_C}{\sigma} = 0,53; \mu_B^0 = \frac{\mu'_B}{\sigma} = 0,39.$$

Результат вычисления в виде лингвистического терм-множества:

$$U_{n+1}^0 = \{(H; 0,08), (C; 0,53), (B; 0,39)\}$$

Вычисление числового прогноза урожайности картофеля по КЧР на 2004 год:

$$y_H^0 = \frac{y_{46} + y_{47} + y_{48} + y_{50}}{4} = \frac{48 + 48,2 + 45,4 + 64}{4} = 51,4;$$

$$y_C^0 = \frac{y_{45} + y_{49} + y_{51}}{3} = \frac{81,2 + 64,5 + 75,9}{3} = 73,86; \quad y_B^0 = y_{52} = 103,5.$$

Результат вычисления в виде нечеткого множества:

$$Y_{n+1}^0 = \{(51,4; 0,08), (73,86; 0,53), (103,5; 0,39)\}$$

Общий числовой прогноз на 2004 год:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot y_i^0 = 0,08 \cdot 51,4 + 0,53 \cdot 73,86 + 0,39 \cdot 103,5 = 83,62 \text{ ц/га}$$

**Клеточно-автоматная модель для ВР урожайности подсолнечника по КЧР за период с 1952-2003 гг.**

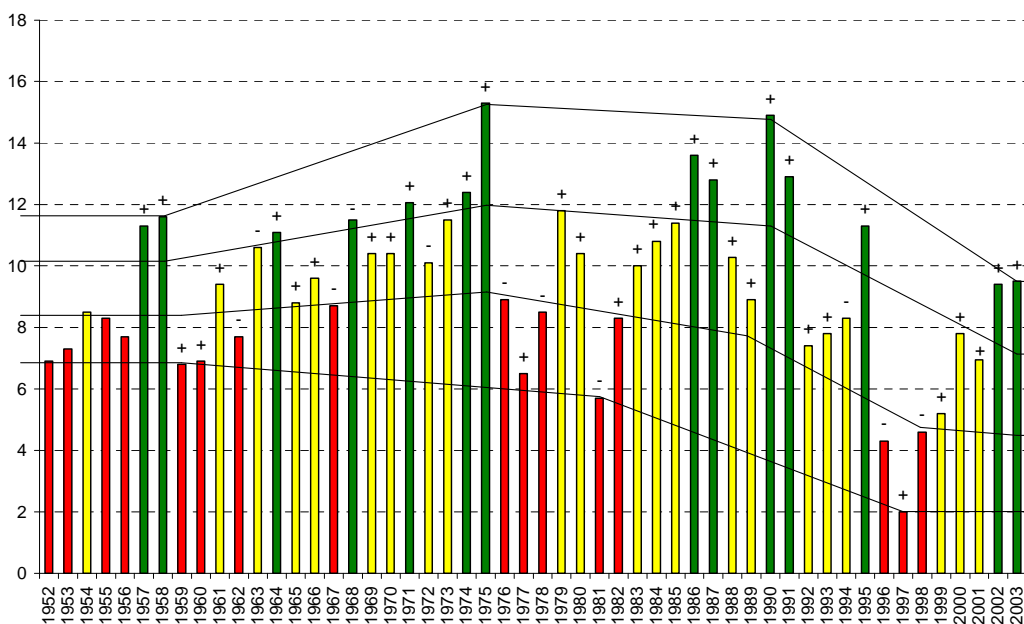


Рисунок 7 – Гистограмма ЛВР урожайности подсолнечника по КЧР за период с 1952 по 2003 гг.

Результаты валидации: количество угаданных уровней – 36 шт., количество неугаданных уровней – 11 шт.

Вычисление лингвистического прогноза урожайности подсолнечника по КЧР на 2004 год:

$$\mu'_H = \frac{3}{13} + \frac{2}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1,39; \quad \mu'_C = \frac{5}{13} + \frac{2}{4} + \frac{2}{3} + \frac{2}{3} = 2,217; \quad \mu'_B = \frac{5}{13} = 0,38;$$

$$\sigma = 1,39 + 2,217 + 0,38 = 3,99;$$

$$\mu_H^0 = \frac{\mu'_H}{\sigma} = 0,35; \quad \mu_C^0 = \frac{\mu'_C}{\sigma} = 0,55; \quad \mu_B^0 = \frac{\mu'_B}{\sigma} = 0,09.$$

Результат вычисления в виде лингвистического терм-множества:

$$U_{n+1}^0 = \{(H; 0,35), (C; 0,55), (B; 0,09)\}$$

Вычисление числового прогноза урожайности подсолнечника по КЧР на 2004 год:

$$y_H^0 = \frac{y_{45} + y_{46} + y_{47}}{3} = \frac{4,3 + 2 + 4,6}{3} = 3,63; \quad y_C^0 = \frac{y_{48} + y_{49} + y_{50}}{3} = \frac{5,2 + 7,8 + 7,1}{3} = 6,7;$$

$$y_B^0 = \frac{y_{51} + y_{52}}{2} = \frac{9,4 + 9,5}{2} = 9,45.$$

Результат вычисления в виде нечеткого множества:

$$Y_{n+1}^0 = \{(3,63; 0,35), (6,7; 0,55), (9,45; 0,09)\}$$

Общий числовой прогноз на 2004 год:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{t=1}^3 \mu_t \cdot y_t^0 = 0,35 \cdot 3,63 + 0,55 \cdot 6,7 + 0,09 \cdot 9,45 = 5,806 \text{ ц/га}$$

**Клеточно-автоматная модель для ВР урожайности сахарной свеклы по КЧР за период с 1957-2003 гг.**

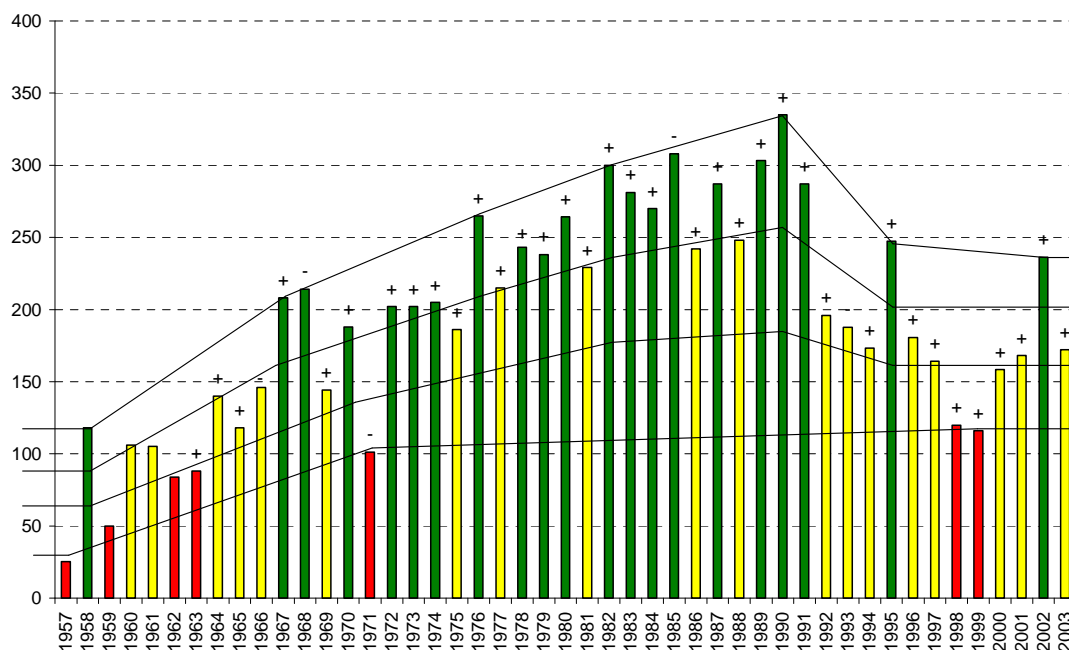


Рисунок 8 – Гистограмма ЛВР урожайности сахарной свеклы по КЧР за период с 1957 по 2003 гг.

Результаты валидации: количество угаданных уровней – 36 шт., количество неугаданных уровней – 5 шт.

Вычисление лингвистического прогноза урожайности сахарной свеклы по КЧР на 2004 год:

$$\mu'_H = \frac{2}{18} = 0,11; \mu'_C = \frac{7}{18} + \frac{2}{18} + \frac{1}{3} + 1 = 1,97; \mu'_B = \frac{9}{18} + \frac{6}{18} + \frac{2}{3} = 1,91;$$

$$\sigma = 0,11 + 1,97 + 1,91 = 3,99;$$

$$\mu_H^0 = \frac{\mu'_H}{\sigma} = 0,03; \mu_C^0 = \frac{\mu'_C}{\sigma} = 0,49; \mu_B^0 = \frac{\mu'_B}{\sigma} = 0,48.$$

Результат вычисления в виде лингвистического терм-множества:

$$U_{n+1}^0 = \{(H; 0,03), (C; 0,49), (B; 0,48)\}$$

Вычисление числового прогноза урожайности сахарной свеклы по КЧР на 2004 год:

$$y_H^0 = \frac{y_{42} + y_{43}}{2} = \frac{119,8 + 116}{2} = 117,9; y_C^0 = \frac{y_{44} + y_{45} + y_{47}}{3} = \frac{158,4 + 168,1 + 172,2}{3} = 166,2;$$

$$y_B^0 = y_{46} = 236,3.$$

Результат вычисления в виде нечеткого множества:

$$Y_{n+1}^0 = \{(117,9; 0,03), (166,2; 0,49), (236,3; 0,48)\}$$

Общий числовой прогноз на 2004 год:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot y_i^0 = 0,03 \cdot 117,9 + 0,49 \cdot 166,2 + 0,48 \cdot 236,3 = 198,4 \text{ ц/га.}$$

В таблице 2 представлены результаты применения методов искусственного интеллекта и фактические значения урожайностей основных сельскохозяйственных культур.

Таблица 2 – Результаты применения клеточно-автоматной модели прогнозирования временных рядов урожайностей

Сельскохозяйственная культура	Результат КАМ (ц/га)	Фактические данные (ц/га)	Отклонения (ц/га)
кукуруза на зерно	11,74	22	10,26
картофель	83,62	99,1	15,48
подсолнечник	5,806	5,4	0,406
сахарная свекла	198,4	214,5	16,1

Из визуализации данных таблицы 2 видно, что результат применения методов искусственного интеллекта очевиден. Для временного ряда значений урожайностей сельскохозяйственной культуры «Подсолнечник» результат прогнозирования отклоняется от фактического значения на 0,4 ц/га, что является показателем удачного выбора раскраски лингвистического ВР. Что касается остальных ВР урожайностей сельскохозяйственных культур, то для получения наименьшего отклонения в результате применения КАМ необходимо применить другие варианты раскраски лингвистического временного ряда.

Касаясь темы актуальности пользы прогнозирования значений ВР урожайностей сельскохозяйственных культур, можно отметить, что значение планирования, достижение и поддержание высоких темпов экономического роста в целях обеспечения более высокого уровня жизни

населения, постоянно и закономерно возрастает. При любой экономической системе, любой форме собственности планирование и прогнозирование деятельности предприятия является объективной необходимостью. Особенно это важно в условиях рыночной экономики, когда перед предприятиями стоит задача устоять в конкурентной борьбе. На сегодняшний день санкции – одна из острых тем для политики и экономики. Во всех сферах страна нацелена на импортозамещение. И в сложившейся ситуации производителям не обойтись без помощи государства. Содействие развитию агропромышленных комплексов, территорий и создание условий для успешного функционирования АПК было, есть и остается одной из основных задач, стоящей перед нашей страной.

#### **Литература**

1. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2000. - 352 с.
2. Кумратова А. М. Математические методы в задачах оценки зон земледелия с точки зрения безопасности финансовых вложений / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, В. И. Тинякова, Л. А. Чикатуева // Экономика устойчивого развития. 2014. – № 1 (17). – С. 83-92.
3. Кумратова А. М. Методы классической статистики в исследовании степени «рисковости» тренд-сезонных процессов / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Г. И. Попов, Д. К. Текеев, Н. С. Курносова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2014. Т. 100. – С. 1118-1137.
4. Кумратова А. М. Оценка и управление рисками: анализ временных рядов методами нелинейной динамики: монография / А. М. Кумратова, Е. В. Попова. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 212 с.
5. Кумратова А. М. Сезонные колебания временного ряда туристского потока / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Н. В. Третьякова, В. Ю. Чикатуева // Международный студенческий научный вестник. 2014. – № 1. – С. 19-26.
6. Кумратова А. М. Сравнительный анализ прогнозных оценок урожайности зон земледелия разной степени риска / А. М. Кумратова, В. И. Тинякова, Н. В. Третьякова // Современная экономика: проблемы и решения. 2013. – № 12. – С. 111-117.
7. Кумратова А. М. Экономико-математическое моделирование риска в задачах управления ресурсами здравоохранения: монография / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, А. З. Биджиев. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 168 с.
8. Кумратова А. М. Влияние сезонной и событийной составляющих на процессы планирования и управления туристскими потоками / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, М. И. Попова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2014. – №05(099). – С. 1154-1165.
9. Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Нестационарные структуры,

динамический хаос, клеточные автоматы. В сб. Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. - М.: Наука, 1996. - С. 95-164.

10. Наумов Л. Как увеличить скорость "Жизни", или Эффективная организация данных для повышения скорости поиска клеток и разрешения отношений соседства при реализации клеточного автомата Джона Хортон Конвея "Жизнь" / Информатика, 2001, № 33-34.

11. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. - М.: Мир, 1971. - 378 с.

12. Перепелица В. А. Предпрогнозный анализ объемов стока горных рек как элемент экономической безопасности региона / В. А. Перепелица, Е. В. Попова, Т. М. Леншова, А. М. Янгишиева // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. Экономика и управление. 2005. - №1. - С. 168-176.

13. Перепелица В. А. Использование методов нелинейной динамики для предпрогнозного анализа объема стока горных рек / В. А. Перепелица, Е. В. Попова, А. М. Янгишиева, А. Д. Салпагаров // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2005. – № 1. – С. 73-84.

14. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. - М.: Мир, 2000. - 333 с.

15. Попова Е. В. О прогнозировании дискретных эволюционных процессов на базе теории нечетких множеств и линейных клеточных автоматов / Е. В. Попова, А. М. Янгишиева, С. Н. Степанов, С. А. Чижиков // Труды КубГАУ. 2007. – № 5. – С. 32-36.

16. Попова Е. В. Теория нечетких множеств и клеточных автоматов как инструмент прогнозирования и адекватного отражения стохастической природы экономических процессов / Е. В. Попова, Н. О. Позднышева, Д. Н. Савинская, А. М. Кумратова и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2011. – № 67. - С. 173-194.

17. Попова Е. В. Туристско-рекреационная деятельность: методы, модели, прогноз: монография / Е. В. Попова, А. М. Кумратова и др. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 194 с.

18. Попова Е. В. Устойчивость развития аграрного сектора: комплекс математических методов и моделей / Е. В. Попова, А. М. Кумратова, Л. А. Чикатуева // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2013. – №06(090). - С. 794-809.

19. Тоффоли Т., Марголюс Н. Машина клеточных автоматов. – М.; Мир, 1991. – 280 с.

20. Экономико-математический энциклопедический словарь. – М.: Большая российская энциклопедия: Издательский дом «ИНФРА-М», 2003. – 688с.

21. Янгишиева А.М. Моделирование экономических рисков методами нелинейной динамики: Автореферат дисс. канд. экон. наук / Ставропольский государственный университет. Ставрополь, 2005.

22. Яновский Л. П. Принципы, методология и научное обоснование урожая по технологии «Зонт». - Воронеж: ВГАУ, 2000. - 379 с.

## Literatura

1. Altunin A. E. Modeli i algoritmy prinjatija reshenij v nechetkih uslovijah / A. E. Altunin, M. V. Semuhin. – Tjumen': Izd-vo TjumGU, 2000. - 352 s.

2. Kumratova A. M. Matematicheskie metody v zadachah ocenki zon zemledelija s točki zrenija bezopasnosti finansovyh vložhenij / A. M. Kumratova, E. V. Popova, V. I. Tinjakova, L. A. Chikatueva // Jekonomika ustojchivogo razvitija. 2014. – № 1 (17). – S. 83-92.

3. Kumratova A. M. Metody klassicheskoj statistiki v issledovanii stepeni «riskovosti» trend-sezonnyh processov / A. M. Kumratova, E. V. Popova, G. I. Popov, D. K. Tekeev, N. S. Kurnosova // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. 2014. T. 100.



– S. 1118-1137.

4. Kumratova A. M. Ocenka i upravlenie riskami: analiz vremennyh rjadov metodami nelinejnoj dinamiki: monografija / A. M. Kumratova, E. V. Popova. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 212 s.
5. Kumratova A. M. Sezonnnye kolebanija vremennogo rjada turistskogo potoka / A. M. Kumratova, E. V. Popova, N. V. Tret'jakova, V. Ju. Chikatueva // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2014. – № 1. – S. 19-26.
6. Kumratova A. M. Sravnitel'nyj analiz prognoznyh ocenok urozhajnosti zon zemledelija raznoj stepeni riska / A. M. Kumratova, V. I. Tinjakova, N. V. Tret'jakova // Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija. 2013. – № 12. – S. 111-117.
7. Kumratova A. M. Jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie riska v zadachah upravlenija resursami zdavoohranenija: monografija / A. M. Kumratova, E. V. Popova, A. Z. Bidzhiev. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 168 s.
8. Kumratova A. M. Vlijanie sezonnoj i sobytijnoj sostavljajushhih na processy planirovanija i upravlenija turistskimi potokami / A. M. Kumratova, E. V. Popova, M. I. Popova // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. 2014. – №05(099). – S. 1154-1165.
9. Kurdjumov S. P., Malineckij G. G., Potapov A. B. Nestacionarnye struktury, dinamicheskij haos, kletochnye avtomaty. V sb. Novoe v sinergetike. Zagadki mira neravnovesnyh struktur. - M.: Nauka, 1996. - S. 95-164.
10. Naumov L. Kak uvelichit' skorost' "Zhizni", ili Jeffektivnaja organizacija dannyh dlja povyshenija skorosti poiska kletok i razreshenija otnoshenij sosedstva pri realizacii kletochnogo avtomata Dzhona Hortona Konveja "Zhizn"/ Informatika, 2001, № 33-34.
11. Nejman Dzh. Teorija samovosproizvodjashhihsja avtomatov. - M.: Mir, 1971. - 378 s.
12. Perepelica V. A. Predprognoznyj analiz ob#emov stoka gornyh rek kak jelement jekonomicheskoy bezopasnosti regiona / V. A. Perepelica, E. V. Popova, T. M. Lenshova, A. M. Jangishieva // Vestnik Voronezh. un-ta. Ser. Jekonomika i upravlenie. 2005. - №1. - S. 168-176.
13. Perepelica V. A. Ispol'zovanie metodov nelinejnoj dinamiki dlja predprognoznoho analiza ob#ema stoka gornyh rek / V. A. Perepelica, E. V. Popova, A. M. Jangishieva, A. D. Salpagarov // Jekologicheskij vestnik nauchnyh centrov Chernomorskogo jekonomicheskogo sotrudnichestva. 2005. – № 1. – S. 73-84.
14. Peters Je. Haos i porjadok na rynkah kapitala. Novyj analiticheskij vzgljad na cikly, ceny i izmenchivost' rynka. - M.: Mir, 2000. - 333 s.
15. Popova E. V. O prognozirovanii diskretnyh jevoljucionnyh processov na baze teorii nechetkih mnozhestv i linejnyh kletochnyh avtomatov / E. V. Popova, A. M. Jangishieva, S. N. Stepanov, S. A. Chizhikov // Trudy KubGAU. 2007. – № 5. – S. 32-36.
16. Popova E. V. Teorija nechetkih mnozhestv i kletochnyh avtomatov kak instrumentarij prognoza i adekvatnogo otrazhenija stohasticheskoy prirody jekonomicheskikh processov / E. V. Popova, N. O. Pozdnysheva, D. N. Savinskaja, A. M. Kumratova i dr. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. 2011. – № 67. - S. 173-194.
17. Popova E. V. Turistsko-rekreacionnaja dejatel'nost': metody, modeli, prognoz: monografija / E. V. Popova, A. M. Kumratova i dr. – Krasnodar: KubGAU, 2008. – 194 s.
18. Popova E. V. Ustojchivost' razvitija agrarnogo sektora: kompleks matematicheskikh metodov i modelej / E. V. Popova, A. M. Kumratova, L. A. Chikatueva // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. 2013. – №06(090). - S. 794-809.
19. Toffoli T., Margolus N. Mashina kletochnyh avtomatov. – M.; Mir, 1991. – 280 s.
20. Jekonomiko-matematicheskij jenciklopedicheskij slovar'. – M.: Bol'shaja rossijskaja jenciklopedija: Izdatel'skij dom «INFRA-M», 2003. – 688s.
21. Jangishieva A.M. Modelirovanie jekonomicheskikh riskov metodami nelinejnoj

dinamiki: Avtoreferat diss. kand. jekon. nauk / Stavropol'skij gosudarstvennyj universitet. Stavropol', 2005.

22. Janovskij L. P. Principy, metodologija i nauchnoe obosnovanie urozhaja po tehnologii «Zont». - Voronezh: VGPU, 2000. - 379 s.