

УДК 330.173.34

МОДИФИЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПАМЯТЬЮ

Кумратова Альфира Менлигуловна, канд. экон. наук, доц.

Савинская Дина Николаевна, канд. экон. наук

Неженец Александр Игоревич, асп.

Попова Маргарита Игоревна, студент

Кубанский государственный аграрный университет, Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: alfa05@yandex.ru

Цель: настоящая статья раскрывает вопросы развития и адаптации математических и инструментальных методов аналитического управления рисками через прогнозирование изменения экономических показателей. *Обсуждение:* авторами осуществляется адаптация применяемой клеточно-автоматной модели на этапе её обучения, т.е. обучение линейного клеточного автомата производится на этапе выбора варианта и способа раскраски уровней исходного временного ряда. *Результаты:* авторы предлагают модификацию и обучение клеточно-автоматной прогнозной модели. В работе представлена модифицированная система моделей и методов прогнозирования временных рядов с памятью на базе теории нечетких множеств и линейных клеточных автоматов. Результаты эмпирических исследований подтверждают возможность практического использования разработанных моделей при принятии решений в динамических системах.

Ключевые слова: линейный клеточный автомат, нечеткое множество, прогноз, валидация, адаптация прогнозной модели.

DOI: 10.17308/meps.2015.1/62

Введение

В связи с последними событиями, происходящими на мировой арене, перед страной поставлена задача по обеспечению продовольственной безопасности. В силу этого возникает ряд вопросов по принятию решений в агропромышленном комплексе в условиях риска. Отметим, что в Российской Федерации более половины территории – зона рискованного земледелия, само сельское хозяйство – рискованное производство, оно не зависит от человека, так как зависит от климатических условий.

Настоящая работа посвящена проблеме получения численных оценок

глубины памяти временных рядов (ВР) урожайности важнейших сельскохозяйственных культур, выращиваемых в зоне земледелия с повышенными рисками (на примере статистических данных по Карачаево-Черкесской Республике). Как отмечается в [3], такие ВР обладают долговременной памятью [7]. Это говорит о том, что такие ряды впитывают информацию о колебаниях погодных условий и их влиянии на урожайность исследуемых сельскохозяйственных культур. Другими словами, в этих рядах содержится информация об определенных закономерностях, которые принято считать долговременной памятью. Выявленные закономерности, в свою очередь, дают возможность строить эффективные прогнозные модели урожайностей сельскохозяйственных культур [2].

Методология исследования

Применительно к ВР урожайностей на данный момент приемлемы два подхода оценки глубины их долговременной памяти. Первый подход базируется на фрактальном анализе или, в более узком смысле, на R/S -анализе этих рядов [7]. Второй подход базируется на моделях клеточных автоматов [5], точнее линейных клеточных автоматов [3]. В настоящей работе, базируясь на конкретных ВР урожайностей сельскохозяйственных культур, авторы реализуют идею клеточных автоматов к оценке глубины памяти рассматриваемых рядов.

Клеточный автомат как задуманная и сформулированная параллельно Джоном фон Нейманом и Конрадом Цусе идея появился в сороковых годах XX века. Он являл собой в понятии родоначальников универсальную вычислительную среду для построения, анализа и последующего сравнения параметров алгоритмов [3].

Таким образом, законы системы являются локальными и повсюду одинаковыми, т.е. для того, чтобы узнать, что произойдет здесь через мгновение, достаточно глянуть на состояние ближайшего окружения. В свою очередь под «одинаковостью» подразумевается, что законы везде действуют одни и те же, а именно одно место от другого можно отличить по форме ландшафта, а не по разнице в законах.

Клеточные автоматы делятся по своему поведению на 4 класса:

- 1) первый класс – это автоматы, со временем приходящие к устойчивому однородному состоянию;
- 2) второй класс – это автоматы, которые спустя некоторое время генерируют статические или периодические структуры;
- 3) третий класс – автоматы, в которые по прошествии некоторого времени перестает наблюдаться корреляция процесса с начальными условиями;
- 4) четвертый класс представляет автоматы, поведение которых сильно зависит от начальных условий и с помощью которых можно генерировать различные шаблоны поведения.

В работе [3] изложены концептуальные основы прогнозного линейного клеточного автомата, который базируется на конструктивном подходе, а

именно прогнозная клеточно-автоматная модель (КАМ) рассматривается на реальных данных модельных серий временных рядов. Результат прогноза выводится в терминах лингвистических переменных (Н – низкая, В – высокая и С – средняя урожайность), которые впоследствии переводятся в числовое выражение. При этом адаптация применяемой КАМ осуществляется уже на этапе «обучения модели», т.е. на этапе выбора возможных вариантов и способов раскраски исходного временного ряда.

На данный момент существуют 2 подхода к исследованию систем клеточно-автоматными методами, а именно статистический, реализация которого начинается с составления перечня всех возможных конфигураций в рассматриваемом временном ряде при его неограниченном продолжении, и конструктивный, реализация которого начинается с составления и анализа различных структур и последующего выявления типов взаимодействия между ними [5].

В данной работе авторами предлагается математическая модель и метод прогнозирования ожидаемой в наступающем периоде урожайности озимой пшеницы. Рассматриваемая модель основывается на инструментарии линейных клеточных автоматов [6], а исходными данными для неё служат значения ВР урожайностей озимой пшеницы по Карачаево-Черкесской Республике (КЧР) [1].

Стоит отметить, что все актуальные на данный момент подходы и методы прогнозирования основываются на корреляционно-регрессионных моделях и трендах. Детальный анализ ВР значений урожайности озимой пшеницы показывает слабую адекватность этих моделей указанным рядам. То есть применение метода наименьших квадратов в лучшем случае отражает вектор тренда и усредненное значение элементов ВР. Совершенно ясно, что эти показатели 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 [4], присущей природным временным рядам. При этом учёт этих характеристик весьма полезен при анализе дальнейшего развития региона. В интересах сказанного в текущей работе для построения прогнозной модели значения урожайностей сельскохозяйственных культур авторами предлагается новый подход, основанный на использовании клеточных автоматов и нечетких множеств. Предлагаемая математическая модель опирается лишь на возможное продолжение развития внутренних тенденций рассматриваемой системы и относится к пассивным прогнозам [4].

Обсуждение результатов

В данной работе исследован временной ряд урожайности озимой пшеницы по Карачаево-Черкесской Республике за период с 1952 по 2003 г. по трём вариантам его раскраски: I вариант – три цвета, где Н означает низкий, С – выше среднего и В – высокий ожидаемый урожай; II вариант – че-

тыре цвета, где Н – низкий, П (промежуточный) – ниже среднего, С – выше среднего и В – высокий ожидаемый урожай; III вариант – 2 цвета, где Н – низкий и В – высокий ожидаемый урожай. При этом подробное описание методики расчета прогнозов по клеточно-автоматной модели представлено в публикации [2].

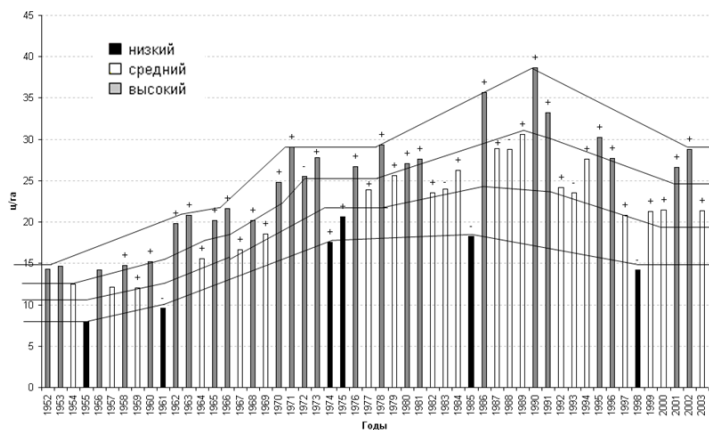


Рис. 1. Диаграмма временного ряда урожайности озимой пшеницы по КЧР за период 1952-2003 г. (I вариант)

Результаты проверки (I вариант) количество совпавших уровней равно 39, а количество несовпавших – 7. На 2004 г. прогноз составил 21,2 ц/га (см. рис. 1).

В результате проверки (II вариант) количество совпавших уровней равно 40, а количество несовпавших – 8. На 2004 г. прогноз составил 26,49 ц/га (см. рис. 2).

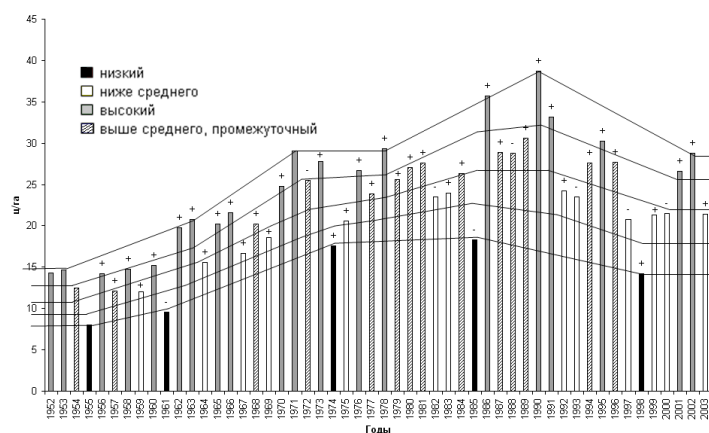


Рис. 2. Диаграмма временного ряда урожайности озимой пшеницы по КЧР за период 1952-2003 г. (II вариант)

В результате проверки (III вариант) количество совпавших уровней равно 35, количество несовпавших – 10. На 2004 г. прогноз составил 25,78 ц/га (см. рис. 3).

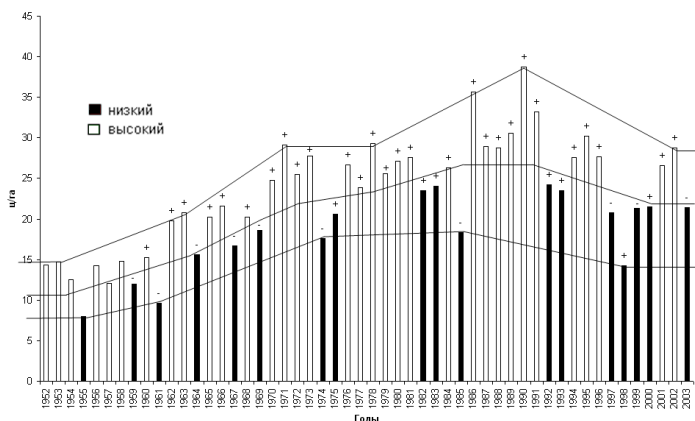


Рис. 3. Диаграмма временного ряда урожайности озимой пшеницы по КЧР за период 1952-2003 гг. (III вариант)

В табл. 1 представлены результаты применения клеточно-автоматной модели по трём вариантам раскраски временного ряда урожайностей пшеницы по КЧР.

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

Так как реальный размер урожая за 2004 г. составил 23 ц/га, то авторы склоняются в пользу варианта раскраски временного ряда по I варианту в три цвета в связи с тем, что именно такая раскраска демонстрирует наиболее достоверный прогноз.

При этом в данной работе также рассмотрен раскрашенный в два цвета: В – положительные и Н – отрицательные значения, временной ряд приращений урожайности.

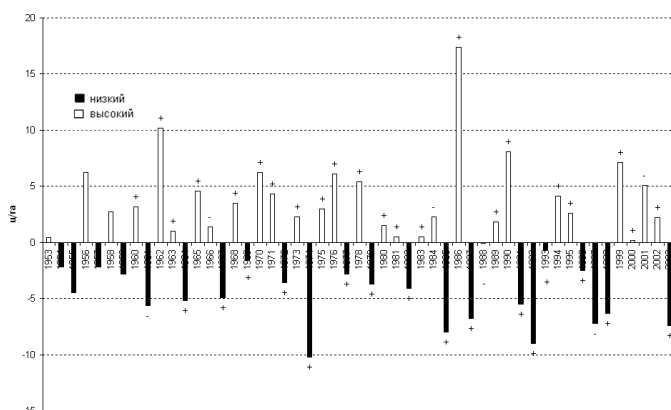


Рис. 4. Диаграмма приращений ВР значений урожайности сельскохозяйственной культуры «Озимая пшеница» (данные представлены с 1952 г. по 2003 г. по Карачаево-Черкесской Республике)

В результате проверки количество совпавших уровней равно 37, а количество несовпавших – 7.

Представленные ниже схожие результаты получены и для временных рядов урожайности кукурузы на зерно, картофеля, подсолнечника, сахарной свеклы.

Клеточно-автоматная модель для ВР урожайности кукурузы по КЧР за период 1952-2003 гг.

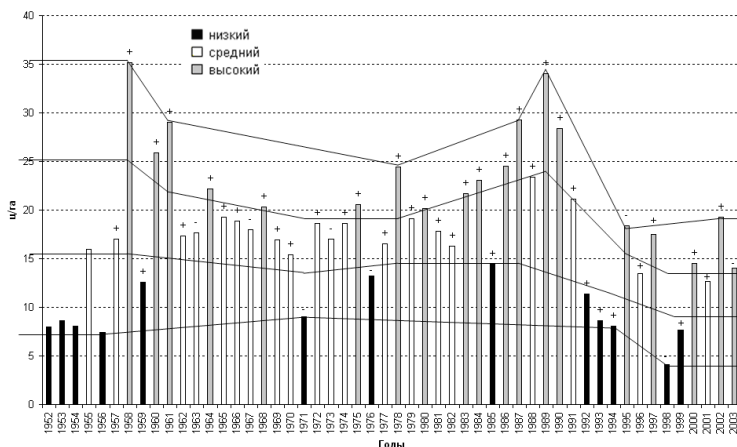


Рис. 5. Диаграмма лингвистического временного ряда урожайности кукурузы по КЧР за период с 1952 по 2003 гг.

В результате проверки количество совпавших уровней равно 39, а количество несовпавших – 8.

Вычисление прогноза в лингвистических переменных урожайности сельскохозяйственной культуры «Кукуруза» на 2004 год:

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

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

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

Результат вычисления в виде лингвистического терм-множества:

$$U_{n+1}^0 = \{(H; 0,24), (C; 0,68), (B; 0,06)\}.$$

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 г.:

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

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

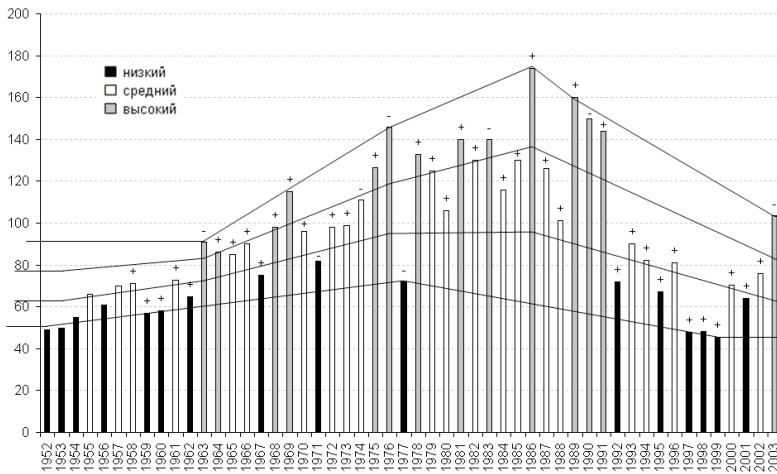


Рис. 6. Диаграмма лингвистического временного ряда урожайности картофеля по КЧР за период с 1952 по 2003 гг.

В результате проверки количество совпавших уровней равно 37, а количество несовпавших – 9.

Вычисление прогноза в лингвистических переменных урожайности сельскохозяйственной культуры «Картофель» на 2004 г.:

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

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 г.:

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

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

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 г.:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{t=1}^3 \mu_t \cdot y_t^0 = 0,08 * 51,4 + 0,53 * 73,86 + 0,39 * 103,5 = 83,62 \text{ ц/га}.$$

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

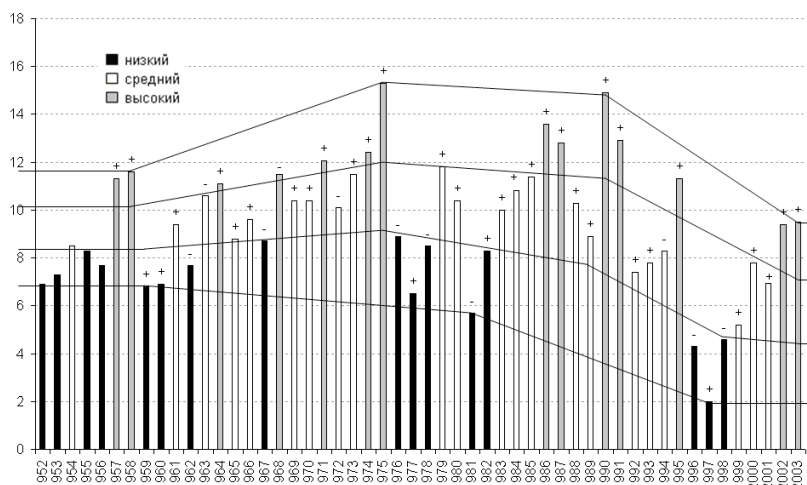


Рис. 7. Диаграмма лингвистического временного ряда урожайности подсолнечника по КЧР за период с 1952 по 2003 гг.

В результате проверки количество совпавших уровней равно 36, а количество несовпавших – 11.

Вычисление прогноза в лингвистических переменных урожайности сельскохозяйственной культуры «Подсолнечник» за 2004 г.:

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

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

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

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 г.:

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

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

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:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot y_i^0 = 0,35 * 3,63 + 0,55 * 6,7 + 0,09 * 9,45 = 5,806 \text{ ц/га}.$$

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

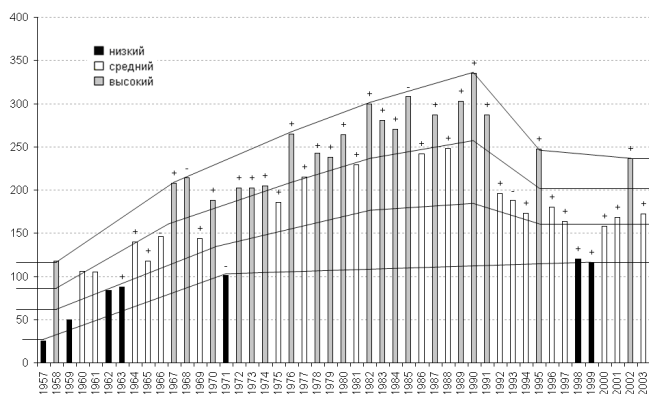


Рис. 8. Диаграмма лингвистического временного ряда урожайности сахарной свеклы по КЧР за период с 1957 по 2003 гг.

В результате проверки количество совпавших уровней равно 36, а количество несовпавших – 5.

Вычисление прогноза в лингвистических переменных урожайности сельскохозяйственной культуры «Сахарная свекла» за 2004 год:

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

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

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

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 г.:

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

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

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:

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

В табл. 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 табл. 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.

Заключение

Касаясь темы актуальности пользы прогнозирования значений ВР урожайностей сельскохозяйственных культур, можно отметить, что значение планирования, достижения и поддержания высоких темпов экономического роста для обеспечения более высокого уровня жизни населения постоянно и закономерно возрастает [8]. При любой экономической системе, любой форме собственности планирование и прогнозирование деятельности предприятия является объективной необходимостью. 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.

Список источников

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. *Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях*. Тюмень, изд-во ТюмГУ, 2000. 352 с.
2. Кумратова А.М., Попова Е.В., Тинякова В.И., Чикатуева Л.А. Математические методы в задачах оценки зон земледелия с точки зрения безопасности финансовых вложений // *Экономика устойчивого развития*, 2014, по. 1 (17), с. 83-92.
3. Кумратова А.М., Попова Е.В. *Оценка и управление рисками: анализ временных рядов методами нелинейной динамики*. Краснодар, КубГАУ, 2014. 212 с.
4. Кумратова А.М., Тинякова В.И., Третьякова Н.В. Сравнительный анализ прогнозных оценок урожайности зон земледелия разной степени риска // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2013, по. 12, с. 111-117.
5. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. *Нестационарные структуры, динамический хаос, клеточные*

автоматы // В сб. Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. Москва, Наука, 1996, с. 95-164.

6. Нейман Дж. *Теория самовоспроизводящихся автоматов*. Москва, Мир, 1971. 378 с.

7. Петерс Э. *Хаос и порядок на рынках*

капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. Москва, Мир, 2000. 333 с.

8. Popkova E.G., Tipyakova V.I. Dialectical methodology of analysis of economic growth // *World Applied Sciences Journal*, 2013, t. 24, no. 4, pp. 467-475.

MODIFICATION AND TRAINING CELLULAR AUTOMATA PREDICTIVE MODELS

Kumratova Alfira Menligulovna, Cand. Sc. (Econ.)

Savinskaya Dina Nikolaevna, Cand. Sc. (Econ.)

Nezhenets Alexander Igorevich, graduate student

Popova Margarita Igorevna, student

Kuban State Agrarian University, Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044;

e-mail: alfa05@yandex.ru

Purpose: the article is dedicated to the development and adaptation of mathematical and instrumental methods of analysis and risk management by dint of the indicators dynamics forecasting. *Discussion:* adaptation used cellular automaton model implemented by the authors at the stage of «learning model», that is, provides training linear cellular automata when selecting options and ways coloring levels original time series.

Results: the authors have proposed a modification and training of Cellular Automaton predictive model. The authors have presented a modified system of models and methods for forecasting time series with memory based on fuzzy set theory and linear cellular automata. The results of empirical studies have confirmed the possibility of practical use of the developed models to support decision making in dynamic systems.

Keywords: linear cellular automata, fuzzy sets, weather, validation, adaptation predictive models.

Reference

1. Altunin A.E., Semuhin M.V. *Modeli i algoritmi prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyah* [Models and algorithms for decision making in fuzzy environment]. Tyumen, Publ. TyumGU, 2000. 352 p. (In Russ.)
2. Kumratova A.M., Popova E.V., Tinyakova V.I., Chikatueva L.A. *Matematicheskie metody v zadachah ocenki zon zemledeliya s tochki zreniya bezopasnosti finansovih vlozheniy* [Mathematical methods for assessing areas of agriculture from the perspective of security investments]. *Ekonomika ustoichivogo razvitiya*, 2014, no. 1 (17), pp. 83-92. (In Russ.)
3. Kumratova A.M., Popova E.V. *Otsenka i upravlenie riskami: analiz vremennih ryadov metodami nelineinoy dinamiki* [Risk assessment and management: time series analysis methods of nonlinear dynamics]. Krasnodar, KubGAU Publ., 2014. 212 p. (In Russ.)
4. Kumratova A.M., Tinyakova V.I., Tretyakova N.V. *Sravnitel'nyy analiz prognoznih ocenok urazhainosti zon zemledeliya raznoy stepeni riska* [Comparative analysis of predictive estimates yield farming zones of varying degrees of risk]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2013, no. 12, pp. 111-117. (In Russ.)
5. Kurdyumov S.P., Malineckiy G.G., Potapov A.B. *Nestacionarnie strukturi, dinamicheskiy kaos, kletochnie avtomati* [Unsteady structure, dynamic chaos, cellular automata]. New in synergy. World Riddles nonequilibrium structures. Moscow, Market Nauka, 1996. pp. 95-164. (In Russ.)
6. Von Neumann J., Burks A.W. *Theory of self-reproducing automata*. Urbana, University of Illinois Press, 1966.
7. Peters E.E. *Chaos and order in the capital markets*. John Wiley and Sons, 1991.
8. Popkova E.G., Tinyakova V.I. *Dialectical methodology of analysis of economic growth*. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, no. 4, pp. 467-475.