
ПОСТРОЕНИЕ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕРНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЗАДАЧ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА

Кумратова Альфира Менлигуловна¹, канд. экон. наук, доц.

Шапошникова Ольга Ивановна², канд. физ.-мат. наук, доц.

Третьякова Наталья Владимировна³, канд. экон. наук, доц.

Василенко Андрей Игоревич¹, маг.

¹ Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: kumratova.a@edu.kubsau.ru

² Северо-Кавказская государственная академия, ул. Ставропольская, 36, Черкесск, Россия, 369001; e-mail: kf_matematiki@mail.ru

³ Ростовский государственный экономический университет, филиал в г. Черкесске, ул. Красная, 3, Черкесск, Россия, 369000; e-mail: rseu.kchr@mail.ru

Предмет: прогнозирование показателей продуктивности зернового производства – это междисциплинарная проблема, решением которой активно занимаются климатологи, агрометеорологи, математики, агрономы и специалисты других областей. Качественный прогноз продуктивности зернового производства и сценариев динамики её развития позволит ЛПР (лицу, принимающему решения) осуществлять контроль и регулировать амбициозные планы российских товаропроизводителей, прописанные в Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года. *Цель:* построение прогнозной модели показателя продуктивности зернового производства Ставропольского края на базе механизма работы линейного клеточного автомата. *Дизайн исследования:* в предположении, что прогнозирование продуктивности зернового производства развивается по циклическим траекториям, стабильность характеристики которых значительно выше, чем стабильность периодичности отдельно выбранных точек процесса. В работе приводятся понятия «глубина памяти», «долговременная память», а также представлено описание метода искусственного интеллекта, его апробация и интерпретация полученных результатов. *Результаты:* авторами представлена демонстрация работы метода линейного клеточного автомата на базе временного ряда урожайности зерновых культур Ставропольского края за период 1956-2020 гг. Результаты проведенных эмпирических исследований подтвердили возможность практического использования

разработанных прогнозных моделей для обоснования управленческих решений.

Ключевые слова: зерновое производство, долгосрочное прогнозирование, линейный клеточный автомат, метод скользящего контроля, глубина памяти.

DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2022/6/20-31

Введение

Прогнозирование урожаев зерновых культур – это междисциплинарная проблема, решением которой активно занимаются климатологи, агрометеорологи, математики, агрономы и другие специалисты. Актуальность решения проблемы прогнозирования урожайности зерновых культур в различных макрорегионах России в современных условиях обусловлена важностью зернового производства и потребления для экономики и социальной жизни России. Согласно Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года, валовой сбор зерновых и зернобобовых культур за 2020-2035 гг. должен вырасти на 27,3%, а объем экспорта увеличиться на 83%. Исполнение таких амбициозных планов российских товаропроизводителей в долгосрочной перспективе во многом зависит от того, насколько успешно получится адаптировать производство зерновых культур к изменяющимся условиям окружающей среды¹.

Вопросам долгосрочного прогнозирования зернового производства отдельных макрорегионов России посвящены исследования Поповой Е.В. [4], Яновского Л.П. [12], Ганиевой И.А., Ижмулкиной Е.А. [5], Гайдук В.И., Микитаевой И.Р. [1], Тю Л., Афанасьева Е.В., Быкова А.А., Алещенко В.В. [10], Алещенко О.А., Добряковой В.А., Идрисова И.Р., Рудого Е.В. [13], Першукевич П. М., Гриценко Г. М. [7] и других ученых.

Задачи риск-менеджмента в зерновом производстве, опирающиеся на сценариях долгосрочного прогнозирования показателей продуктивности сельскохозяйственных культур, отражены в исследованиях Стрельцовой Н.Т., Задкова А.П., Фюттик И.Г., Демчук И.Н. [9], Абдымаликова К.А., Таипова Т.А. [1], Храбскова Е.Н. [11] и других.

Данная статья посвящена получению долгосрочного прогноза показателей продуктивности зернового производства (свыше 1 года) на базе механизма работы линейного клеточного автомата.

В настоящее время в открытом доступе отсутствуют комплексные готовые решения программных реализаций методов нелинейной динамики [6]. В отличие от методов классической статистики изучение динамики агроэкономических процессов на базе алгоритма работы линейного клеточного автомата (ЛКА) дает новые полезные прогнозныe характеристики с точки

¹ Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации на 2016-2025 годы и на перспективу до 2030 года [Электронный ресурс] / Министерство сельского хозяйства РФ. Доступно: <http://mcx.ru/upload/iblock/959/959648abb188a76c11095d869e8bde94.pdf> (дата обращения: 22.04.2022).

зрения методологии исследования: 1) глубина долговременной памяти; 2) алгоритм ЛКА предусматривает вычисление прогноза в числовом выражении и в виде термина (Н – низкое, С – среднее, В – высокое значение). Отличительной особенностью метода ЛКА является возможность составления долгосрочного прогноза (свыше 1 года) за счет нахождения глубины памяти временного ряда. Средняя ошибка прогноза для агроэкономических временных рядов не превышает 25%.

Методы и результаты исследования

В статье представлена разработка информационной системы получения прогноза динамики агроэкономических процессов методом преобразования исходного временного ряда (ВР) в лингвистические переменные [14]. Для визуализации прогнозной модели и описания всех этапов алгоритма ЛКА, выполняемых разработанной программой, используем ряд инструментальных средств, позволяющих моделировать действия в процессах, определять их порядок и необходимые ресурсы.

Для построения функциональной модели проектируемой системы выбрано инструментальное средство описания бизнес-процессов All Fusion. На рисунке 1 представлена родительская диаграмма с названием «Расчет алгоритма ЛКА». Процесс описания функционирования информационной системы представлен в виде диаграмм связей моделируемой системы со средой функционирования. Взаимодействие системы с окружающей средой описывается в терминах входа (на рис. 1 это «Временной ряд урожайности зерновых культур» и «Сопроводительный документ»), выхода (основной результат процесса – «Сформированный прогноз в виде нечеткого множества (НМ)»), управления («ГОСты и стандарты», «Правила» и «Библиотеки») и механизмов («Персональный компьютер (ПК)», «Сотрудники», «Разработчик» – это ресурсы, необходимые для процесса функционирования системы).

«Временной ряд урожайности зерновых культур» – импортируемый файл, который обрабатывается программой. Пользователь загружает их в систему для выполнения дальнейших действий и получения выходных файлов данных. Получение отчета с анализом – цель системы. Чтобы добиться такой цели, система должна реализовать алгоритмы в виде математических расчетов.

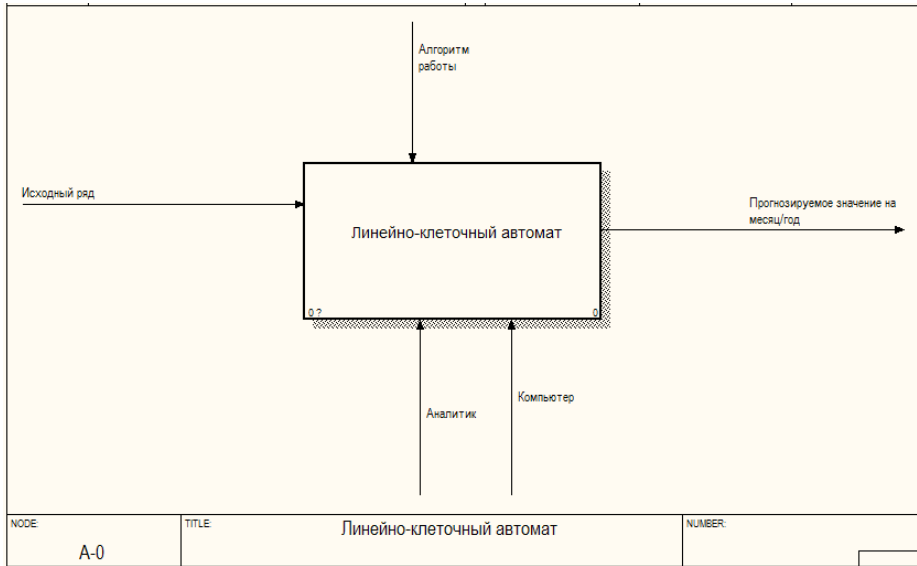


Рис. 1. TOP-диаграмма «Расчет алгоритма ЛКА»

«ГОСТы и стандарты», «Правила» и «Библиотеки» – это правила, стратегии, процедуры или стандарты, которыми руководствуется программа. Система руководствуется своими внутренними правилами и формирует готовый выходной файл данных, соответствующий правилам, ГОСТам.

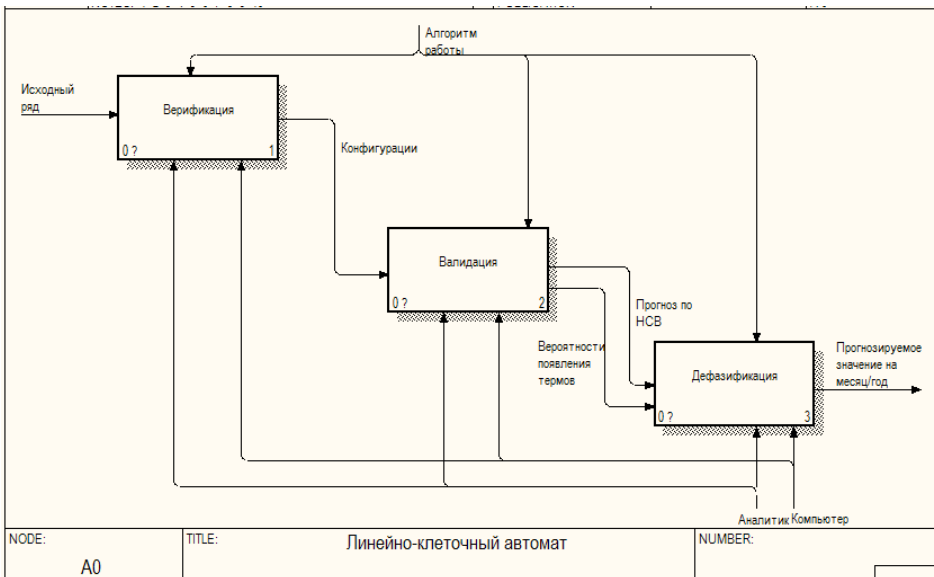


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции IDEF0 алгоритма линейного клеточного автомата

Каждая функция, начиная с TOP–диаграммы, может быть декомпозирована (разделена) на подфункции (рис. 2). Данная диаграмма разбита на 4 блока: построение лингвистического временного ряда; верификация; валидация; дефазификация.

Основным процессом с точки зрения цели алгоритма ЛКА является преобразование исходного временного ряда в лингвистический временной ряд (ЛВР), представляющего собой этап верификации (в соответствии с рис. 3).

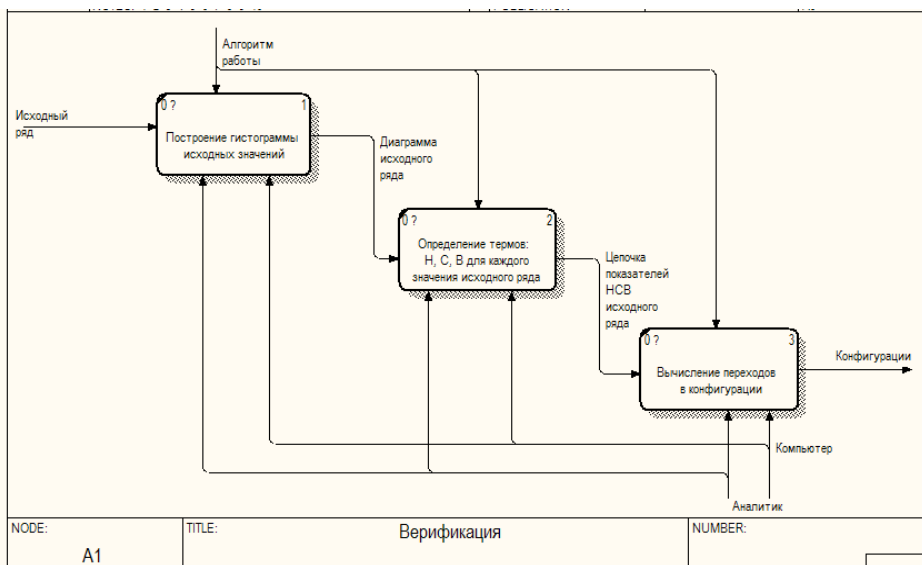


Рис. 3. Диаграмма IDEF3 «Построение лингвистического ВР»

Блок «Верификация» декомпозирован в нотации IDEF0: построение гистограммы ВР; разделение на интервалы (высокий, средний, низкий); преобразование в ЛВР. Ответственным за выполнение процесса «Верификация» является аналитик – аналитик.

Разработан и представлен программный продукт «Методы нелинейной динамики» [5], язык программирования – Python 3.7.6, среда проектирования графического интерфейса приложения – QT Designer 5.11.2. Данное инструментальное средство имеет достаточно удобный интерфейс и позволяет эксперту-аналитику реализовать исследование.

Полное описание алгоритма работы линейного клеточного автомата представлено в источниках [4,14]. Впервые идея клеточного автомата реализована Джоном фон Нейманом для воспроизведения функционирования пространственно-протяжённых сложных систем.

В работе с целью иллюстрации, валидации, верификации и дефазификации предлагаемой прогнозной модели рассмотрен временной ряд:

$$Y: y_i, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

значений урожайностей зерновых культур по территории Ставропольского

края за временной период с 1956 по 2020 гг.², пронумерованных индексом $i = 1, 2, \dots, n$, где $n = 2020 - 1976 + 1 = 45$; y_i – значения временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры» в i -м году. Состав раскраски, т. е. перевод числового временного ряда y_i (1) в лингвистический, состоит из классической трехцветной модели.

После проведения процедуры замены элементов временного ряда на соответствующие термы из множества \bar{U} получен следующий ЛВР:

$$U: u_i, i = 1, 2, \dots, n . \quad (2)$$

Отправной точкой первого этапа является процедура визуализации диаграммы временного ряда (1). На этом рисунке изначально выделяются точками высокие уровни показателей урожайности и столбики, которым соответствуют низкие значения урожайности зерновых культур (в соответствии с рис. 4). Затем необходимо соединить ломаной линией соседствующие выделенные точки (результат представлен на рисунке 4), тем самым получают на гистограмме: верхняя огибающая ломаная (ВОЛ) и нижняя огибающая ломаная (НОЛ). На рисунке 4 точки ломаных выделены маркером.

На II этапе последовательно для каждого уровня временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры» определяем принадлежность одному из трендовых коридоров. Отметим, что границы ВОЛ и НОЛ варьируются в зависимости от значений отправных точек, которые являются точками выбора для ломаных [4]. Границы основного коридора делятся на три части (в зависимости от раскраски ВР), тем самым вырисовывается коридор, ограниченный средними огибающими ломаными (СОЛ). Результат работы первых двух этапов алгоритма преобразования исходного временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры» в лингвистический ВР изображен на рис. 4.

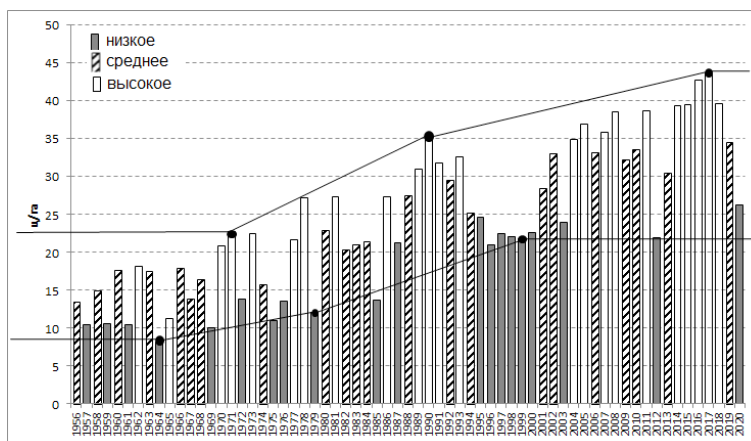


Рис. 4. Графическое изображение временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры» (1) с выделенными трендовыми коридорами: НОЛ, ВОЛ (результат построения лингвистического временного ряда)

² Единая межведомственная информационно-статистическая система. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/> (дата обращения 20.04.2022).

На заключительном этапе ВР (1) преобразуется в лингвистический временной ряд (2) путем окраски каждого уровня диаграммы в соответствии с рисунком 4. Рассматривая i -й уровень представленной диаграммы, наблюдение Y_i заменяется:

- термом Н, если уровень расположен между НОЛ и нижней границей СОЛ;
- термом С, если уровень находится между нижней и верхней границей СОЛ;
- термом В, если столбик наблюдения расположен между верхней границей СОЛ и ВОЛ.

Каждому наблюдению Y_i временного ряда (1) ставится в соответствие определенный терм. После этой процедуры лингвистический временной ряд (2) считается построенным.

На рисунках 5-6 представлены результаты работы метода искусственного интеллекта – линейного клеточного автомата.

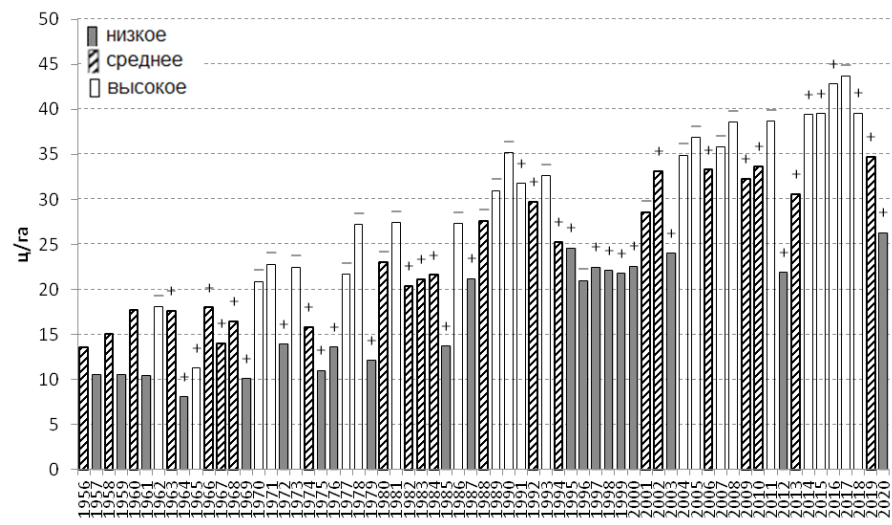


Рис. 5. Этап верификации прогнозной модели линейного клеточного автомата для временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры»

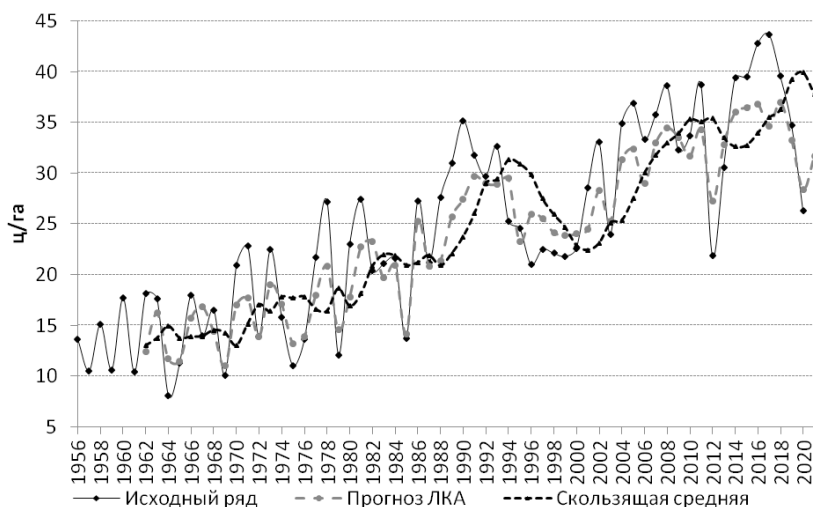


Рис. 6. Этап валидации прогнозной модели линейного клеточного автомата для временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры»

На этапе верификации знаком « \leftarrow » отмечаются те уровни временного ряда, которые прогнозная модель «не угадала» (в соответствии с рисунком 5). Представляет практический интерес исследовать временной ряд показателей урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю методом нелинейной динамики и классической статистики (в соответствии с рис. 6).

Заключение

Скользкая средняя значительно усредняет динамику исходного случайного процесса, валидация линейного клеточного автомата проведена по принципу метода скользящего контроля и практически «угадала» все реверсы «спад/подъем» исследуемого агроэкономического процесса. Как отмечается в работах [3–6], природные ВР (1) и построенные лингвистические временные ряды (2) также обладают долговременной памятью [8]. Алгоритм ЛКА применим для временных рядов, подчиняющихся/неподчиняющихся нормальному закону распределения. Ошибку прогноза можно значительно снизить на базе обучения линейного клеточного автомата с увеличением количества ломаных и/или цветов раскраски лингвистического временного ряда. К недостаткам алгоритма ЛКА можно отнести следующее: средняя ошибка прогноза увеличивается при прогнозировании двух и более уровней вперед (в рамках глубины памяти). Средняя ошибка прогноза для всего временного ряда «Ставрополь_Зерновые культуры» на базе работы алгоритма линейного клеточного автомата составила величину, не превышающую значение 12,6 %, средний модуль отклонения (MAE) составил величину 3,1. Прогнозное значение в числовом виде ожидается как величина, равная 31,7 ц/га, в качестве лингвистической переменной ожидается прогноз в виде

терма – С, прогноз на 2 шага вперед – Н, на 3 шага – В. Глубина памяти, выявленная методом искусственного интеллекта, равна 6 годам, тем самым появляется возможность строить долгосрочные прогнозы зерновых культур.

Основным преимуществом ЛКА по сравнению с другими методами прогнозирования временных рядов, например, ARIMA, SSA, методом аналогов, нейронными сетями является самообучение алгоритма при проведении валидации по принципу метода скользящего контроля. Алгоритм ЛКА показывает наиболее приближенное поведение исходного временного ряда, «угадывая» при этом реверсы «спад/подъем». Алгоритм ЛКА «прозрачен», прослеживается на всех этапах (верификация, валидация, дефазификация) в отличие от нейронных сетей, которые работают по принципу «черного ящика».

В связи с вышесказанным возникает необходимость исследования и климатических факторов на базе методов нелинейной динамики, учитывающих современную волатильность протекания природных процессов и явлений, а именно тот факт, что прогнозирование продуктивности зернового производства развивается по циклическим траекториям, стабильность характеристики которых гораздо выше, чем стабильность периодичности отдельно выбранных точек процесса. Качественный прогноз продуктивности зернового производства и сценариев динамики её развития позволит ЛПР (лицу, принимающему решения) осуществлять контроль и регулировать амбициозные планы российских товаропроизводителей, прописанные в Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года.

Список источников

1. Абдымаликов К.А. Риски в сельском хозяйстве / К.А. Абдымаликов, Т.А. Таипов // *Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики*, 2013, по. 4, с. 62-67.
2. Гайдук В.И. Прогнозирование развития регионального зернового рынка / В.И. Гайдук, И.Р. Микитаева // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2016, по. 120, с. 1047-1066.
3. Ганиева И.А. Обоснование долгосрочных прогнозов производства зерна в сельском хозяйстве Сибири на основе длинных циклов / И.А. Ганиева, Е.А. Ижмулкина // *Достижения науки и техники АПК*, 2011, по. 10, с. 3-5.
4. Комплексная методика анализа экономических временных рядов методами нелинейной динамики / А.М. Кумратова, Е.В. Попова, Д.Н. Савинская, Н.С. Курносова // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2015, по. 8(68), с. 35-43.
5. Кумратова А.М., Сивков К.А. Методы нелинейной динамики: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016661998, 26.01.2020. Заявка № 2016618249 от 29.01.2020.
6. Матюшкин И.В., Заплетина М.А. Обзор по тематике клеточных автоматов на базе современных отечественных публикаций // *Компьютерные исследования и моделирование*, 2019, т. 11, по. 1, с. 9-57.
7. Першукевич П.М. Проблемы и перспективы развития зерновой отрасли и рынка зерна в Сибирском федеральном округе / П.М. Першукевич, Л.В. Тю, Г.М. Гриценко // *Достижения науки и техники АПК*, 2019, т. 33, по. 10, с. 5-8.
8. Петерс Э. *Хаос и порядок на рынках капитала*. Москва, Мир, 2000. 333 с.
9. Риск-менеджмент как неотъемле-

мый элемент системы управления экономической устойчивостью предпринимательских структур / Н.Т. Стрельцова, А.П. Задков, И.Г. Фюттик, И.Н. Демчук // *Сибирская финансовая школа*, 2012, no. 3(92), с. 125-136.

10. Тю Л., Афанасьев Е.В., Быков А.А., Алещенко В.В. Специализация регионов Сибири в зерновом производстве (на примере пшеницы) // *Экономика сельского хозяйства России*, 2020, no. 9, с. 79-82.

11. Храбсков Е.Н. Управление зерновым производством с учетом рисков // *АПК: Экономика, управление*, 2011, no. 2, с. 26-30.

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

13. Aleschenko V.V., Aleschenko O.A., Dobryakova V.A., Idrisov I.R., Rudoy E.V. // *Geoinformation mapping to analyze the spatio-temporal data of agricultural production in Siberian regions. Geodezia i kartografia*, 2021, no. 969 (3), pp. 28-35.

14. Kumratova A.M. Estimation obtaining instrumental means based on nonlinear dynamics methods // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* this link is disabled, 2021, no. 786(1), 012009.

BUILDING A LONG-TERM FORECAST OF GRAIN PRODUCTION FOR RISK MANAGEMENT TASKS

Kumratova Alfira Menligulovna¹, Cand. Sci. (Econ.)

Shaposhnikova Olga Ivanovna², Cand. Sci. (Phys.-Math.)

Tretyakova Natalia Vladimirovna³, Cand. Sci. (Econ.)

Vasilenko Andrey Igorevich¹, MA student

¹ Kuban State Agrarian University, Kalinina St., 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: kumratova.a@edu.kubsau.ru

² North Caucasus state Academy, Stavropol St., 36, Cherkessk, Russia, 369001; e-mail: kf_matematiki@mail.ru

³ Rostov State University of Economics, branch in Cherkessk, Krasnaya str., 3, Cherkessk, Russia, 369000; e-mail: rseu.kchr@mail.ru

Subject: forecasting the productivity indicators of grain production is an interdisciplinary problem that climatologists, agrometeorologists, mathematicians, agronomists and specialists in other fields are actively engaged in solving. A qualitative forecast of the productivity of grain production and scenarios of its development dynamics will allow the LPR (decision maker) to control and regulate the ambitious plans of Russian producers, spelled out in the Longterm strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation until 2035. *Purpose:* construction of a predictive model of the productivity index of grain production in the Stavropol Territory based on the mechanism of operation of a linear cellular automaton. *Research design:* under the assumption that forecasting the productivity of grain production develops along cyclic trajectories, the stability of the characteristics of which is significantly higher than the stability of the periodicity of separately selected process points. The paper presents the concepts of "depth of memory", "longterm memory", as well as a description of the artificial intelligence method, its approbation and interpretation of the results obtained. *Results:* the authors present a demonstration of the operation of the linear cellular automaton method based on the time series of grain yields of the Stavropol Territory for the period from 1956-2020. The results of empirical studies have confirmed the possibility of practical use of the developed predictive models to justify management decisions.

Keywords: grain production, long-term forecasting, linear cellular automaton, sliding control method, memory depth.

References

1. Abdymalikov K.A. Riski v sel'skom khozyaystve / K.A. Abdymalikov, T.A. Taipov. *Izvestiya Natsional'noy Akademii nauk Kyrgyzskoy Respubliki*, 2013, no. 4, pp. 62-67.
2. Gayduk V.I. Prognozirovaniye razvitiya regional'nogo zernovogo rynka / V.I. Gayduk, I.R. Mikitayeva. *Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauch-nyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 120, pp. 1047-1066.
3. Ganiyeva I.A. Obosnovaniye dolgo-srochnykh prognozov proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii v sel'skom khozyaystve Sibiri na osnove dlinnykh tsiklov / I.A. Ganiyeva, Ye.A. Izhmulkina. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2011, no. 10, pp. 3-5.
4. Kompleksnaya metodika analiza ekonomicheskikh vremennykh ryadov metodami nelineynoy dinamiki / A.M. Kumratova, Ye.V. Popova, D.N. Savin-skaya, N.S. Kurnosova. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2015, no. 8(68), pp. 35-43.
5. Kumratova A.M., Sivkov K.A. *Metody nelineynoy dinamiki: svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2016661998, 26.01.2020. Zayavka № 2016618249 ot 29.01.2020.*
6. Matyushkin I.V., Zapletina M.A. Obzor po tematike kletochnykh avtomatov na baze sovremennykh otechestvennykh publikatsiy. *Komp'yuternyye issledovaniya i modelirovaniye*, 2019, T. 11, no. 1, pp. 9-57.
7. Pershukevich P.M. Problemy i perspektivy razvitiya rynka zernovoy i zernovoy promyshlennosti ispolnitel' v Sibirskom federal'nom okruge / P.M. Pershukevich, L.V. Tyu, G.M. Gritsenko. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, T. 33, no. 10, pp. 5-8.
8. Peters E. *Khaos i poryadok na rynkakh kapitala*. Moscow, Mir, 2000. 333 p.
9. Risk-menedzhment kak neot'yemlemyy element sistemy upravleniya ekonomicheskimi posledstviyami predprinimatel'skikh struktur / N.T. Strel'tsova, A.P. Zadkov, I.G. Futik, I.N. Demchuk. *Sibirskaya finansovaya shkola*, 2012, no. 3(92), pp. 125-136.
10. Tyu L., Afanas'yev Ye.V., Bykov A.A., Aleshchenko V.V. Spetsializatsiya regionov Sibiri v zernovom proizvodstve (na primere pshenitsy). *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2020, no. 9, pp. 79-82.
11. Khrabskov Ye.N. Upravleniye zernovym proizvodstvom s uchetom riskov / Ye.N. Khrabskov. *APK: Ekonomika, upravleniye*, 2011, no. 2, pp. 26-30.
12. Yanovskiy L.P. *Printsipy, metodologiya i nauchnoye obosnovaniye urozhaya po tekhnologii «Zont»*. Voronezh, VGU, 2000. 379 p.
13. Aleschenko V.V., Aleschenko O.A., Dobryakova V.A., Idrisov I.R., Rudoy Ye.V. *Geoinformation mapping to analyze the spatio-temporal data of agricultural production in Siberian regions. Geodezia i kartografiya*, 2021, no. 969 (3), pp. 28-35.
14. Kumratova A.M. Estimation obtaining instrumental means based on nonlinear dynamics methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science link is disabled*, 2021, no. 786(1), 012009.