

## REFERENCES

1. *News channel "KLOPS"*. (In Russ.) URL: [klops.ru/news/2022-09-02/257569-v-kaliningradskuyu-oblast-stali-bolshe-investirovat-nesmotrya-na-kozni-sosedey-alihanov?ysclid=laeauatj6o45664980](https://klops.ru/news/2022-09-02/257569-v-kaliningradskuyu-oblast-stali-bolshe-investirovat-nesmotrya-na-kozni-sosedey-alihanov?ysclid=laeauatj6o45664980) (accessed: 12.08.2022).
2. *Russian news agency TASS*. (In Russ.) URL: [tass.ru/ekonomika/14795651](https://tass.ru/ekonomika/14795651) (accessed: 12.18.2022).
3. Mitsek S. A., Mitsek E. B. Investments in fixed capital in the Russian Federation as a factor of growth and innovation. *Finansy i kredit*, 2008, no. 9(297), pp. 43—48. (In Russ.)
4. Tskhadadze N. V., Khutiev K. A. Dynamics of investments in fixed assets by subjects of the Russian Federation. *Theory and practice of economics and entrepreneurship*, 2019, pp. 67—72.
5. Demina I. D., Larionova E. I., Chinaeva T. I. Investments in fixed capital and depreciation of fixed assets: theoretical and practical aspects of study and analysis. *Statistics and Economics*, 2017, vol. 3, pp. 71—79.
6. Bakaev A. M. Dependence of the indicator of investments in fixed capital on the main socio-economic indicators of the development of regions of the Russian Federation. *Ehkonomika. Biznes. Informatika*, 2015, vol. 1, no. 5, pp. 148—155.
7. Novikov A. V. Financing investments in fixed capital as a driver of economic growth in Russia and its regions. *Siberian Financial School*, 2021, no. 4(144), pp. 3—10.
8. Brusentseva Yu. A., Markina S. A. *Investments as a factor in the economic security of the state*. In: Collection of scientific articles of VI all-Russian scientific and practical conference, Kursk, October 07, 2022. Ed. by L. V. Afanasiev. Kursk, YuZGU, 2022. Pp. 53—57.
9. Zakharov S. S., Repina V. D., Goykhera O. L., Barinova M. A. *Innovations as a key factor in investments in the fixed capital of Russian enterprises against the background of changing conditions in the economic space of Russia*. Vladimir, Tranzit-Iks, 2022. Pp. 102—105.
10. Zabirov R. R. The role of budget investments in the investment development of the Republic of Bashkortostan. In: *Mavlyutov readings: materials of XVI all-Russian youth scientific conference, Ufa, October 25—27, 2022*. Ufa, UGATU, 2022. Pp. 462—468.
11. *Investments in fixed capital of organizations of the Kaliningrad region*. URL: [kaliningrad.gks.ru/investments](https://kaliningrad.gks.ru/investments) (accessed: 12.18.2022).
12. *Gross regional product of the Kaliningrad region*. URL: [kaliningrad.gks.ru/vrp\\_vrp](https://kaliningrad.gks.ru/vrp_vrp) (accessed: 12.18.2022).
13. *Inflation rate in the Kaliningrad region*. URL: [cbr.ru/press/reginfl/?id=24427](https://cbr.ru/press/reginfl/?id=24427) (accessed: 12.18.2022).
14. *Average monthly nominal accrued wages in the Kaliningrad region*. URL: [kaliningrad.gks.ru/labor\\_market\\_and\\_employment](https://kaliningrad.gks.ru/labor_market_and_employment) (accessed: 12.18.2022).
15. *The key rate of the Central Bank*. URL: [cbr.ru/hd\\_base/KeyRate/](https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/) (accessed: 12.18.2022).
16. *Index of entrepreneurial confidence in the Kaliningrad region*. URL: [www.fedstat.ru/indicator/43029](https://www.fedstat.ru/indicator/43029) (accessed: 12.18.2022).
17. *Financial performance of organizations according to Rosstat*. URL: [kaliningrad.gks.ru/infogr\\_kdstat/document/187024](https://kaliningrad.gks.ru/infogr_kdstat/document/187024) (accessed: 12.18.2022).
18. *The degree of depreciation of fixed assets*. URL: [kaliningrad.gks.ru/Fixed\\_assets](https://kaliningrad.gks.ru/Fixed_assets) (accessed: 12.18.2022).
19. *Consumer confidence index*. URL: [www.fedstat.ru/indicator/33651](https://www.fedstat.ru/indicator/33651) (accessed: 12.18.2022).
20. Maksimova T. G., Popova I. N. *Econometrics: teaching aid*. Saint Petersburg : Universitet ITMO, 2018. 70 p.
21. Prokopiev A. V. Estimation of the level of interconnection between the gross regional product and the volume of investments in fixed capital by regions of Russia: scientific article. *Scientific publication: Society: politics, economics, law 2021*.

Статья поступила в редакцию 12.12.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 25.12.2022.  
The article was submitted 12.12.2022; approved after reviewing 19.12.2022; accepted for publication 25.12.2022.

## Научная статья

УДК 368:519.86

DOI: 10.25683/VOLBI.2023.62.526

## Alfira Menigulovna Kumratova

Candidate of Economic, Associate Professor,  
Department of Information Systems  
Kuban State Agrarian University  
Krasnodar, Russian Federation  
[kumratova.a@edu.kubsau.ru](mailto:kumratova.a@edu.kubsau.ru)

## Kirill Alekseevich Sivkov

Graduate student majoring in  
“Information Systems and Technologies”,  
Kuban State Agrarian University  
Krasnodar, Russian Federation  
[sivkov.kirill@yandex.ru](mailto:sivkov.kirill@yandex.ru)

## Альфира Менлигуловна Кумратова

канд. экон. наук, доцент,  
кафедра информационных систем,  
Кубанский государственный аграрный университет  
Краснодар, Российская Федерация  
[kumratova.a@edu.kubsau.ru](mailto:kumratova.a@edu.kubsau.ru)

## Кирилл Алексеевич Сивков

магистрант направления  
«Информационные системы и технологии»,  
Кубанский государственный аграрный университет  
Краснодар, Российская Федерация  
[sivkov.kirill@yandex.ru](mailto:sivkov.kirill@yandex.ru)

## МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ ЗЕРНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА)

5.2.2 — Математические, статистические и инструментальные методы экономики

**Аннотация.** Данная статья посвящена получению  
предпрогнозной информации на базе вычисленных значений  
показателей Ляпунова и построению долгосрочного про-

гноза экономических показателей зернового производства  
на основе метода искусственного интеллекта — линейный  
клеточный автомат (linear cellular automaton). Получены

следующие качественные предпрогнозные характеристики временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю: длина долговременной памяти; долгосрочный прогноз в виде числового выражения и в виде лингвистической переменной, а также построена трехцветная прогнозная модель. Принципиальным отличием указанного метода прогнозирования временных рядов является определение длины памяти. Последнее позволяет строить долгосрочный прогноз в рамках найденной длины памяти. Как показывает практика, величина ошибки прогноза при проведении процедуры валидации линейного клеточного автомата не превышает порог 25 %. Долгосрочное прогнозирование экономических показателей зернового производства зоны рискованного земледелия — это междисциплинарная проблема, решением которой активно занимаются агрономы, селекционеры, агрометеорологи, инженеры, математики, экономисты и специалисты других областей. Точный прогноз урожайности различных зерновых культур и метеофакторов на будущий год, а также построение сценариев динамики развития зернового производства позволит

управленцу осуществлять контроль и регулировать амбициозные планы российских товаропроизводителей, прописанные в Долгосрочной стратегии [1] развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года. Полученные количественные значения и качественные предпрогнозные характеристики необходимы для значений нижнего уровня моделирования деятельности зернового производства, которые, в свою очередь, являются входной информацией для прогнозных моделей верхнего уровня управления зерновым комплексом, например, при планировании структуры посевных площадей, при проведении хеджирования зерновых культур, при определении ценовой политики на внешнем и внутреннем рынке зерна. Всё перечисленное становится особо важным фактором развития отечественного зернового рынка в создавшихся санкционных условиях.

**Ключевые слова:** долгосрочное прогнозирование, зерновое производство, показатель Ляпунова, линейный клеточный автомат, метод скользящего контроля, глубина памяти, ошибка прогноза, урожайность зерновых культур, цикл, временной ряд, валидация, предпрогнозный анализ

**Для цитирования:** Кумратова А. М., Сивков К. А. Методы нелинейной динамики в исследовании экономических процессов (на примере зернового производства) // Бизнес. Образование. Право. 2023. № 1(62). С. 72—77. DOI: 10.25683/VOLBI.2023.62.526.

## Original article

### METHODS OF NONLINEAR DYNAMICS IN THE STUDY OF ECONOMIC PROCESSES (ON THE EXAMPLE OF GRAIN PRODUCTION)

5.2.2 — Mathematical, statistical and instrumental methods of economics

**Abstract.** This article is devoted to obtaining pre-forecast information based on calculated values of Lyapunov exponents and constructing a long-term forecast of economic indicators of grain production based on the method of artificial intelligence — linear cellular automaton. The following qualitative pre-forecast characteristics of the time series of grain yields in the Stavropol Territory were obtained: the length of long-term memory; a long-term forecast in the form of a numerical expression and in the form of a linguistic variable. Besides, a three-color forecast model was constructed. The fundamental distinction of this method of forecasting time series is the determination of the length of memory. The latter allows you to build a long-term forecast within the found memory length. As practice shows, the magnitude of the prediction error during the validation procedure of a linear cellular automaton does not exceed the threshold of 25 %. Long-term forecasting of economic indicators of grain production in the zone of risky farming is an interdisciplinary problem that which is actively addressed by agronomists, breeders, agrometeorologists, engineers, mathematicians, economists and specialists in other fields. An accu-

rate forecast of the yield of various grain crops and meteorological factors for the next year, as well as the construction of scenarios for the dynamics of grain production development will allow the management to control and regulate the ambitious plans of Russian producers, prescribed in the Long-term strategy [1] for the development of the grain complex of the Russian Federation until 2035. The obtained quantitative values and qualitative pre-forecast characteristics are necessary for the values of the lower level of modeling of grain production activities, which in turn are input information for predictive models of the upper level of grain complex management, for example, when planning the structure of acreage, when hedging grain crops, when determining pricing policy in the external and internal grain market. All of the above becomes a particularly important factor for the development of the domestic grain market in the current sanctions environment.

**Keywords:** long-term forecasting, grain production, Lyapunov exponent, linear cellular automaton, sliding control method, memory depth, forecast error, grain yield, cycle, time series, validation, pre-forecast analysis

**For citation:** Kumratova A. M., Sivkov K. A. Methods of nonlinear dynamics in the study of economic processes (on the example of grain production). *Business. Education. Law*, 2023, no. 1, pp. 72—77. DOI: 10.25683/VOLBI.2023.62.526.

## Введение

**Актуальность.** Долгосрочное прогнозирование экономических показателей зернового производства зоны рискованного земледелия — это междисциплинарная проблема, решением которой активно занимаются агрономы, селекционеры, агрометеорологи, инженеры, математики, экономисты и специалисты других областей. Точный

прогноз урожайности различных зерновых культур и метеофакторов на будущий год, а также построение сценариев динамики развития зернового производства позволит управленцу осуществлять контроль и регулировать амбициозные планы российских товаропроизводителей, прописанные в Долгосрочной стратегии [1] развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года.

Полученные количественные значения и качественные предпрогнозные характеристики необходимы для значимой нижней уровня моделирования деятельности зернового производства, которые, в свою очередь, являются входной информацией для прогнозных моделей верхнего уровня управления зерновым комплексом, например, при планировании структуры посевных площадей, при проведении хеджирования зерновых культур, при определении ценовой политики на внешнем и внутреннем рынке зерна. Всё перечисленное становится особо важным фактором развития отечественного зернового рынка в создавшихся санкционных условиях.

**Изученность проблемы.** В развитии методологии прогнозирования агро-, финансово-, природно-, социально-экономических показателей значительный вклад внесли научные работы отечественных ученых: Л. И. Абалкин, А. Г. Аганбегян, Л. П. Яновский, И. В. Бестужев-Лада, С. А. Айвазян, Г. Н. Хубаев, Е. М. Четыркин, С. С. Шаталин, Л. В. Канторович, В. А. Кардаш, В. А. Перепелица, Е. В. Попова, Г. М. Добров, А. П. Ермилов и др. В научных разработках перечисленных ученых изложены методологические аспекты кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования, исследованы проблемы получения точного прогноза на основе малых выборок, представлены алгоритмы и модификации экономико-математических методов и их применение в системе планирования и управления развитием социально-экономической системы (СЭС).

**Научная новизна** заключается в применении методов нелинейной динамики в исследовании экономических показателей зернового производства отдельных макрорегионов России с целью дальнейшего использования полученных предпрогнозных характеристик и прогнозных моделей при решении задач риск-менеджмента.

**Целесообразность** разработки темы связана с актуальностью темы исследования и различными результатами исследований по обоснованию взаимосвязи предпрогнозной информации и построения прогнозных моделей для временных рядов (ВР), эмпирическая функция распределения которых не подчиняется закону Гаусса.

**Цель и задачи исследования.** Провести исследование временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю методами нелинейной динамики, выявить качественные предпрогнозные характеристики, построить прогнозную модель и получить долгосрочный прогноз как в виде числового выражения, так и в виде лингвистической переменной.

**Теоретическая значимость** работы заключена в разработке методологии комплексного исследования такого экономического показателя зернового производства, как временной ряд урожайности зерновых культур.

**Практическая значимость** проводимого исследования заключается в демонстрации авторского инструментального средства «Методы нелинейной динамики», которое представляет собой комплексный подход к исследованию временных рядов, эмпирическая функция распределения которых не всегда подчиняется нормальному закону. В данном средстве запрограммированы такие алгоритмы методов нелинейной динамики, как: фазовый анализ, R/S-анализ, расчет показателя Ляпунова, линейный клеточный автомат. В работе представлены результаты вкладов «Линейный клеточный автомат» и «Показатель Ляпунова».

## Основная часть

**Методология исследования.** Методология исследования основана на комплексном применении методов нелинейной динамики для исследования временного ряда урожайности зерновых культур (на примере Ставропольского края) с целью дальнейшего использования полученных предпрогнозных характеристик и прогнозных моделей при решении задач риск-менеджмента.

В Федеральном законе от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» сказано, что «прогнозирование — деятельность участников стратегического планирования по разработке научно обоснованных представлений о рисках социально-экономического развития, об угрозах национальной безопасности Российской Федерации, о направлениях, результатах и показателях социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований». В представленном нормативном документе результаты процесса прогнозирования рассматриваются в качестве информационной базы для управления процессами социально-экономической системы. В источнике [0] сказано, что «на основании прогнозов концепции и основных направлений развития социально-экономических показателей разрабатываются федеральные целевые программы». Здесь же перечислены требования к прогнозам:

- минимизация погрешности ошибки прогноза, т. е. проблема получения прогноза высокой точности;
- комплексная система прогнозирования, другими словами, необходимо представление как прогноза основных сфер социально-экономической системы человеческой жизнедеятельности, так и прогнозов значений факторов, влияющих на них;
- соблюдение баланса полученных значений прогнозов;
- многовариантность прогнозных оценок (сценарный подход);
- непрерывность прогнозирования.

Объем защищенных диссертаций и литературных источников по проблемам получения прогнозных характеристик с наименьшей ошибкой прогноза настолько велик, что говорит об актуальности представленной работы.

В статье представлена демонстрация разработанной информационной системы (ИС) получения прогноза динамики агроэкономических процессов на базе методов нелинейной динамики (рис. 1). Реализация ИС «Методы нелинейной динамики» [0] осуществлена на базе программной платформы Python 3.7.6, среда проектирования графического интерфейса приложения — QT Designer 5.11.2. Представленная ИС имеет достаточно практичный и удобный интерфейс, благодаря которому аналитик может провести исследование процесса любой природы и вывести на экран вычисленные предпрогнозные характеристики, построить прогнозную модель, меняя начальные условия алгоритма линейного клеточного автомата (выбор точек ломаной для определения трендовых коридоров, выбор мощности выборки временного ряда и т. д.).

Авторское инструментальное средство «Методы нелинейной динамики» представляет собой комплексный подход к исследованию временных рядов, эмпирическая функция распределения которых не всегда подчиняется нормальному закону. В данном средстве запрограммированы такие алгоритмы методов нелинейной динамики [0], как: фазовый анализ, R/S-анализ, расчет показателя Ляпунова, линейный клеточный автомат. В работе представлены результаты вкладов «Линейный клеточный автомат» и «Показатель Ляпунова».

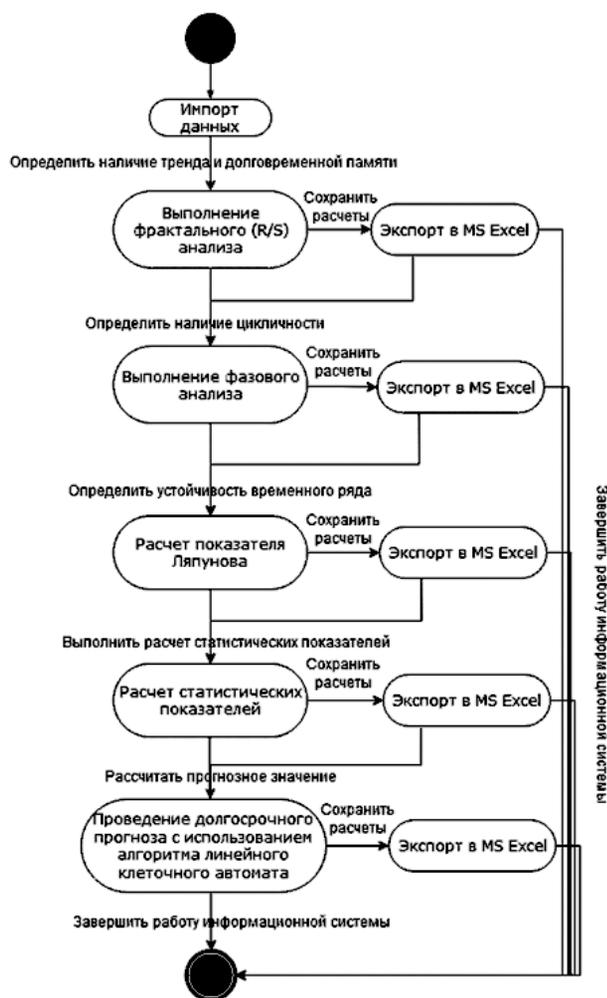


Рис. 1. Блок-схема авторской информационной системы долгосрочного прогнозирования зернового производства методами нелинейной динамики

Для получения предпрогнозной информации представляет практический интерес вычислить для исследуемого временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю за период с 1913 по 2021 г. старший показатель Ляпунова [0], с помощью которого можно измерить растяжение или размах точек в фазовом пространстве [0].

На рис. 2 представлен график устойчивой сходимости значений старшего показателя Ляпунова  $\lambda(y_i)$  к величине 0,037 бит в год. Последнее означает то, что теряется предсказательная мощность исследуемого процесса со скоростью 0,037 бит/год, или 27 (лет).

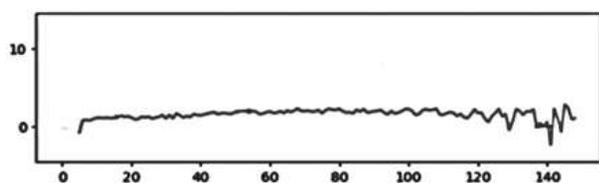


Рис. 2. Сходимость старшего показателя Ляпунова для временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю за период с 1913 по 2021 г. по оси абсцисс — номер уровня ВР

Спектр показателей Ляпунова [0] для исследуемого процесса — временного ряда урожайности зерновых

культур по Ставропольскому краю составляет массив [0.037; -0.042; -0.105; -0.231], характеризующий общие закономерности поведения процесса для различных начальных условий.

Полученный четырехмерный массив определяет величину значимых факторов, влияющих на исследуемый процесс. Отдельно отметим, что авторами для вычисления показателя Ляпунова рассматривается исторический временной ряд урожайности зерновых культур за период с 1913 по 2021 г., который состоит из значений, относящихся к разным эпохам в разрезе как возделывания зерновых культур, так и технической оснащенности всего зернового комплекса. Можно выделить основные факторы, влияющие на экономические показатели зернового производства: осадки в период критического роста (в мае для юга России) зерновых культур, в том числе риск-экстремальные значения (засуха/переувлажнение почвы); средняя температура в вегетационный период (аномальная жара/заморозки); материально-техническое оснащение агропарка; сорт зерновой культуры.

Авторами проведен развернутый компьютерный эксперимент, в ходе которого выявлены временные ряды урожайности зерновых культур других зернопроизводящих макрорегионов России с двумерными массивами спектра показателей Ляпунова. Для зернопроизводящей территории юга России — Краснодарского края, с присущими ей зонами рискованного земледелия — вычислен спектр показателей Ляпунова, состоящий из массива [0.0264; -0.0228; -0.054; -0.2453]. Для временного ряда урожайности зерновых культур по Краснодарскому краю за период с 1966 по 2021 г. старший показатель Ляпунова  $\lambda = 0.0264$ , что составляет 37-летний цикл. Выявление длинных циклов для агроэкономических временных рядов является основой для построения сценариев долгосрочного прогнозирования зернового производства.

В качестве построения прогнозной модели и получения долгосрочного прогноза использован алгоритм линейного клеточного автомата [0]. Полное описание алгоритма работы линейного клеточного автомата представлено в источнике [0] и в работах авторов [0]. Впервые идея клеточного автомата реализована Джоном фон Нейманом [0] для воспроизведения функционирования пространственно-протяжённых сложных систем [0]. В настоящей работе используются результаты алгоритма линейного клеточного автомата для построения трехцветной прогнозной модели [0]. В настоящее время клеточные автоматы [0] широко применяются в различных отраслях человеческой жизнедеятельности [0].

На рис. 3 представлен результат работы метода искусственного интеллекта — линейного клеточного автомата [0]. Представляет практический интерес исследовать временной ряд показателей урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю методом нелинейной динамики и классической статистики (в соответствии с рис. 3).

Скользкая средняя значительно усредняет динамику исходного случайного процесса, валидация линейного клеточного автомата проведена по принципу метода скользщего контроля и практически «угадала» все реверсы «спад/подъем» исследуемого агроэкономического процесса. Как отмечается в работе [0], природные ВР (1) и построенные лингвистические временные ряды (2) также обладают долговременной памятью.

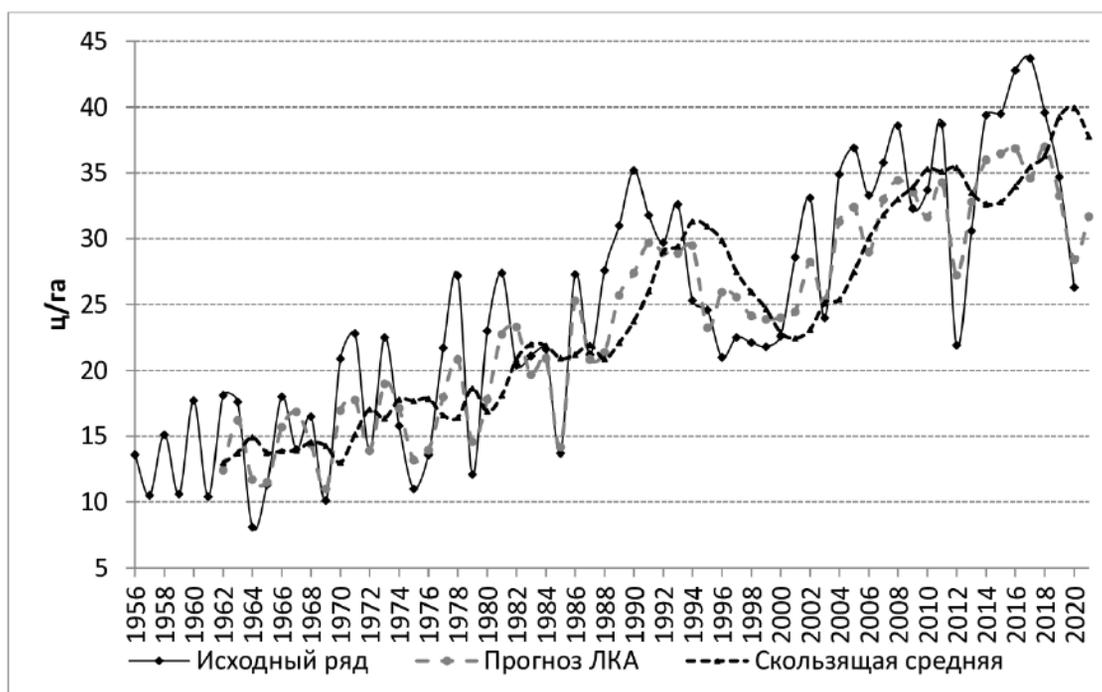


Рис. 3. Прогнозные модели на основе линейного клеточного автомата и скользящей средней для временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю

### Результаты

Алгоритм ЛКА применим для временных рядов, подчиняющихся/не подчиняющихся 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 урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю 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 термина — 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 значений урожайности зерновых культур.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации на 2016—2025 годы и на перспективу до 2030 года / Министерство сельского хозяйства РФ. URL: <http://mcx.ru/upload/iblock/959/959648abb188a76c11095d869e8bde94.pdf> (дата обращения: 22.10.2022).
2. Парсаданов Г. А., Егоров В. В. Прогнозирование национальной экономики : учебник. М. : Высш. школа, 2002. 304 с.
3. Кумратова А. М., Сивков К. А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612899 Российская Федерация. Методы нелинейной динамики : № 2020611841 : заявл. 20.02.2020; опублик. 05.03.2020. Заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина».
4. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. М. : Мир, 2000. 333 с.
5. Packard N. H., Crutchfield J. P., Farmer J. D., Shaw R. S. Geometry from a time series // Phys. Rev. Lett. 1980. Vol. 45. P. 712.
6. Takens F. Dynamical systems and turbulence // Lect. Notes in Math, Berlin, Springer. 1981. No. 898. P. 336.

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».

### Заключение

Наличие положительного знака у наибольшего показателя Ляпунова позволяет говорить о хаотическом поведении исследуемого процесса. Для процессов, не подчиняющихся нормальному закону распределения, предложен метод долгосрочного прогнозирования на базе алгоритма линейного клеточного автомата. Вычисление старшего показателя Ляпунова дает возможность определить степень влияния самоподобных процессов в зерновом производстве, которые имеют долгосрочную зависимость, позволяя предсказать будущее поведение на базе ретроспективных данных.

7. Grassberger P., Procaccia I. Characterization of strange attractors // *Phys. Rev. Lett.* 1983. Vol. 50. P. 346.
8. Schiff J. L. *Cellular automata : a discrete view of the world.* A John — Wiley&Sons inc., Publication. University of Auckland, 2008. 279 p.
9. Перепелица В. А., Касаева М. Д., Тебуева Ф. Б., Темирова Л. Г. Использование инструментария клеточных автоматов для формирования прогнозных нечетких значений урожайностей на базе временного ряда // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия : Естественные науки.* 2003. № 4(124). С. 5—11.
10. Кумратова А. М., Попова Е. В., Савинская Д. Н., Курносова Н. С. Комплексная методика анализа экономических временных рядов методами нелинейной динамики // *Современная экономика: проблемы и решения.* 2015. № 8(68). С. 35—43. DOI: 10.17308/meps.2015.8/1292.
11. Джон фон Нейман. *Теория самовоспроизводящихся автоматов.* М. : Мир, 1971.
12. Senek M., Mitchell M. Evolving Cellular Automata // *Encyclopedia of Complexity and Systems Science.* 2009. P. 3233—3242.
13. Tempesti G., Mange D., Stauffer A. Self-Replication and Cellular Automata // *Encyclopedia of Complexity and Systems Science.* 2009. P. 1—24.
14. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automation model for freeway trac // *Phys. I France.* 1992. Vol. 2. P. 2221—2229.
15. Beknazarova S. S. Data analysis in distributed information systems // *Big Data and Advanced Analytics.* 2021. No. 7-1. P. 59—66.
16. Лоскутов А. Ю., Козлов А. А., Хаханов Ю. М. Энтропия и прогноз временных рядов в теории динамических систем // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика.* 2009. Т. 17. № 4. С. 98—113.
17. Яновский Л. П. *Принципы, методология и научное обоснование урожая по технологии «Зонт».* Воронеж : ВГАУ, 2000. 379 с.

## REFERENCES

1. *Long-term strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation for 2016—2025 and until 2030 /* Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (In Russ.) URL: <http://mcx.ru/upload/iblock/959/959648abb188a76c11095d869e8bde94.pdf> (accessed: 22.10.2022).
2. Parsadanov G. A., Egorov V. V. *Forecasting the national economy: textbook.* Moscow, Vysshaya shkola, 2002. 304 p. (In Russ.)
3. Kumratova A. M., Sivkov K. A. *Certificate of state registration of the computer program No. 2020612899 Russian Federation. Methods of nonlinear dynamics : No. 2020611841 : application 20.02.2020: publ. 05.03.2020.* Applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin”. (In Russ.)
4. Peters E. *Chaos and order in capital markets.* Moscow, Mir, 2000. 333 p. (In Russ.)
5. Packard N. H., Crutchfield J. P., Farmer J. D., Shaw R. S. Geometry from time series. *Phys. Rev. Lett.* 1980, vol. 45, p. 712.
6. Takens F. Dynamic systems and turbulence. *Lecture. Notes on Mathematics, Berlin, Springer,* 1981, no. 898, p. 336.
7. Grassberger P., Procaccia I. Characteristics of strange attractors. *Phys. Rev. Lett.* 1983, vol. 50, p. 346.
8. Schiff J. L. *Cellular automata: a discrete view of the world.* John — Wiley&Sons inc., Publication. University of Auckland, 2008. 279 p.
9. Perepelitsa V. A., Kasaeva M. D., Tebueva F. B., Temirova L. G. Using the tools of cellular automata for the formation of predictive fuzzy values of yields based on a time series. *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural Sciences,* 2003, no. 4(124), pp. 5—11. (In Russ.)
10. Kumratova A. M., Popova E. V., Savinskaya D. N., Kurnosova N. S. Complex methodology of analysis of economic time series by methods of nonlinear dynamics. *Modern Economy: problems and solutions,* 2015, no. 8(68), pp. 35—43. (In Russ.) DOI: 10.17308/meps.2015.8/1292.
11. John von Neumann. *The theory of self-reproducing automata.* Moscow, Mir, 1971. (In Russ.)
12. Senek M., Mitchell M. Evolving cellular automata. *Encyclopedia of Complexity and System Sciences,* 2009, pp. 3233—3242.
13. Tempesti G., Mange D., Stauffer A. Self-replication and cellular automata. *Encyclopedia of Complexity and System Sciences,* 2009, pp. 1—24.
14. Nagel K., Schreckenberg M. Cellular automation model for highway traffic. *Physics. I France,* 1992, vol. 2, pp. 2221—2229.
15. Beknazarova S. S. Data analysis in distributed information systems. *Big data and advanced analytics,* 2021, no. 7-1, pp. 59—66.
16. Loskutov A. Yu., Kozlov A. A., Khakhanov Yu. M. Entropy and prediction of time series in the theory of dynamical systems. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics,* 2009, vol. 17, no. 4, pp. 98—113. (In Russ.)
17. Yanovsky L. P. *Principles, methodology and scientific justification of the harvest using Zont technology.* Voronezh, VGAU, 2000. 379 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 23.11.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 25.12.2022.  
The article was submitted 23.11.2022; approved after reviewing 19.12.2022; accepted for publication 25.12.2022.