

УДК 519.6

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА НА ОСНОВЕ МАЛЫХ ВЫБОРОК¹

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

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

Цель: в настоящей статье предлагается использование математических методов нелинейной динамики при разработке и адаптации математических методов и прогнозных моделей для анализа временных рядов урожайностей озимой пшеницы. *Обсуждение:* в качестве инструментального средства рассматривается линейный клеточный аппарат, способный наглядно показать и наиболее точно спрогнозировать поведение наблюдаемой системы. Исследуются значения показателей урожайности озимой пшеницы регионов юга России. Выбор данных рядов обусловлен следующим фактом – каждый содержит разное количество статистических данных, причем некоторые из изученных рядов представляют малую выборку. В работе показано, что составление достаточно точного прогноза возможно на основе малого количества данных. *Результаты:* в данной статье раскрывается применимость для прогнозирования нелинейных динамических систем с помощью линейного клеточного автомата, который решает вопрос так называемых «малых выборок».

Ключевые слова: прогнозирование, временной ряд, малая выборка, урожайность озимой пшеницы, линейный клеточный автомат.

DOI: 10.17308/meps.2019.8/2174

Введение

Со времен появления теории Ньютона-Лапласа о детерминированности явлений окружающей среды многие ученые своими исследованиями, экспериментами и доказательствами привели нас к тому, что природа мира носит хаотический характер. Примером является составление прогноза погоды, вероятность свершения которого тем меньше, чем раньше он был составлен [3].

Несмотря на разработанные инструментальные средства и теории для

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-06-00354 А)

анализа нелинейных динамических систем, многие из них подвергаются критике за неимением моделей, способных отображать и предсказывать наступление тех или иных событий. В данной статье в качестве инструментального средства рассматривается линейный клеточный автомат, способный наглядно показать и наиболее точно спрогнозировать поведение наблюдаемой системы. Для подтверждения целесообразности использования данного инструмента проведены экспериментальные расчеты на основе временных рядов (ВР) урожайности озимой пшеницы различных регионов России. Выбор данных рядов обусловлен следующим фактом – каждый содержит разное количество статистических данных, причем некоторые из изученных рядов представляют малую выборку. Один из вопросов, который авторы решают в данной работе, – вывод о том, что составление достаточно точного прогноза возможно на основе малого количества данных. Выбранные для исследования ВР примечательны и тем, что имеют разные степени подверженности сельскохозяйственным рискам (учитывая географию выборок), и тогда приняв во внимание природу проявления рисков (иногда массовое воздействие, иногда присутствие малого их количества или полного отсутствия), предложенные временные ряды можно соотнести к стохастическим [1, 4, 12, 13]. Следует отметить также большой диапазон возможных колебаний значений урожайности из-за подверженности системы рискам различной природы на протяжении всего периода до сбора и подсчета собранного урожая.

В работе сравнительный анализ ВР урожайностей пшеницы представлен по следующим регионам: Адыгея, Карачаево-Черкесская Республика, Волгоградская область, Краснодарский край, Ставропольский край.

Данные регионы различны по климатическим условиям и соответственно подвержены влиянию различных факторов природного риска. Выделим некоторые из этих факторов, которые требуют особого внимания для поддержания уровня урожайности пшеницы в каждом отдельном регионе. Республика Адыгея – имеет риски, приводящие к эродированности почвы [2]. Карачаево-Черкесская Республика – отмечается подверженность природным катаклизмам, но в основном засухе, как и в Волгоградской области. Краснодарский край – имеет свои природные риски, однако на общем фоне остается в рейтинге округов-лидеров по посевам и сбору урожая (показатель урожая во временном ряду края за 2018 год – 61,5 ц/га, среди представленных рядов за данный период нет регионов с урожайностью свыше 50 ц/га). Ставропольский край – по информации Министерства сельского хозяйства края активно, в достаточно больших объемах производит закупку удобрений и проводит обновление мелиоративных систем, что говорит о подверженности почвы вредителям и болезням растений.

Методология исследования

Линейный клеточный автомат, предназначенный для прогнозирования урожайности – метод и модель, способен спрогнозировать будущее значение исследуемой системы на следующий период, в случае с представ-

ленными ВР – прогноз покажет числовой показатель урожайности каждого региона на следующий год [8, 9, 14].

Составление прогноза проходит в несколько этапов, включающих следующие преобразования и вычисления:

1) перевод полученного множества значений (дата и объем полученного урожая) в лингвистический временной ряд (ЛВР), который состоит из трех значений (термов), традиционно используются Н – низкий, С – средний и В – высокий, но для различных рядов можно ввести П – пороговое значение для максимально высоких или низких значений для наиболее точного прогноза [5, 9, 14]. Для получения ЛВР необходимо построить гистограмму по значениям ВР, отметить самые верхние и нижние точки. По отмеченным значениям нарисовать линии (верхняя и нижняя ломаные линии (ВОЛ и НОЛ)), которые образуют собой коридор. Разделив его на три равные части, получим зоны (верхняя, средняя и нижняя), пересекая которые столбцы гистограммы приобретают соответствующее значение (например, при пересечении верхней границы или нахождении в верхней зоне соответствующая точка переводится в терм В) [5, 7, 14];

2) расчет двух показателей: число переходов для каждого отрезка значений в каждое возможное состояние (например, отрезок ННВН переходит в состояние Н 15 раз, в С 5 раз, в В 1 раз); глубину памяти (l) – показатель длины отрезка ЛВР, который не имеет перехода более чем в одно состояние. Таким образом просчитываются закономерности для отрезков и их состояний, чтобы выявить следующее прогнозное значение. Глубина памяти равна числу лингвистических переменных, например, оставшийся отрезок ВВССН не имеет никаких переходов (или имеет переход в одно состояние), это означает, что найдена последняя закономерность, а значит, глубина памяти равна 6. Причем l-конфигурацией называют набор отрезков длиной l с просчитанными переходами в три состояния [7, 14];

3) прогноз будущего значения: для каждой части отрезка (например, части ННВ отрезка ВВННВ в состояние Н) вычисляется общая частота перехода в состояния Н, С и В (для каждого значения из 1 – по l-конфигураций, в представленном выше случае, складываются значения из 2-конфигурации (НВ->В) и 3-конфигурации (ННВ->Н)). Прогнозное значение получаем путем деления просчитанного числа переходов в одно значение (например, в Н) на общую сумму для всех трех переходов (сумма переходов в Н, С и В). Таким образом, наибольшее значение, показывающее вероятность перехода отрезка в одно из состояний, является прогнозным. Все полученные прогнозные значения составляют прогнозный ЛВР [4, 10, 14];

4) валидация и верификация, этапы на которых сверяются исходные ЛВР и полученный в ходе вычислений третьего этапа, для выявления неугаданных значений. Выявив процент отклонения количества неугаданных значений от общего числа, получаем процент валидации, показывающий адекватность построенной модели и степень отклонения прогноза от реальных

показателей. Чем ближе процент к отметке в 20%, тем прогнозная модель менее адекватна [6, 14].

Таким образом, в работе ВР построены и проанализированы с помощью специализированной программы «Линейный клеточный автомат» (ЛКА) [11], способной упростить построение коридоров по выбранным точкам, просчет закономерностей в ЛВР, валидацию и верификацию временного ряда. В программе перевод в лингвистический ряд происходит только по трем традиционным значениям. Данное ограничение в построении закрашенной модели в некоторой степени усложняет составление прогноза для временных рядов с наличием неравномерных и частых скачков среди значений. Несмотря на это ограничение, процент валидации построенных моделей не превышает 20% (что означает их адекватность). На рис. 1 представлен вид программы «ЛКА»: в верхней панели идет переключение между раскраской временного ряда, его валидацией и итоговым отображением кривых прогноза и исходных данных, а также очистка для загрузки и отображения следующего временного ряда, окна для внесения низких и высоких значений и показатель глубины памяти для прогноза по внесенным данным; в средней части программы отображаются выбранные этапы работы линейного клеточного автомата, где по оси X отображаются точки временного ряда (даты, порядковый номер), а по оси Y – их числовые значения; в нижней части программы присутствуют кнопки быстрых действий для более детального просмотра ряда, если в нем присутствует большое количество точек (например, кнопка «увеличить выбранный участок» или «сохранить представление»). Данные кнопки упрощают процесс выбора точек для построения коридора.

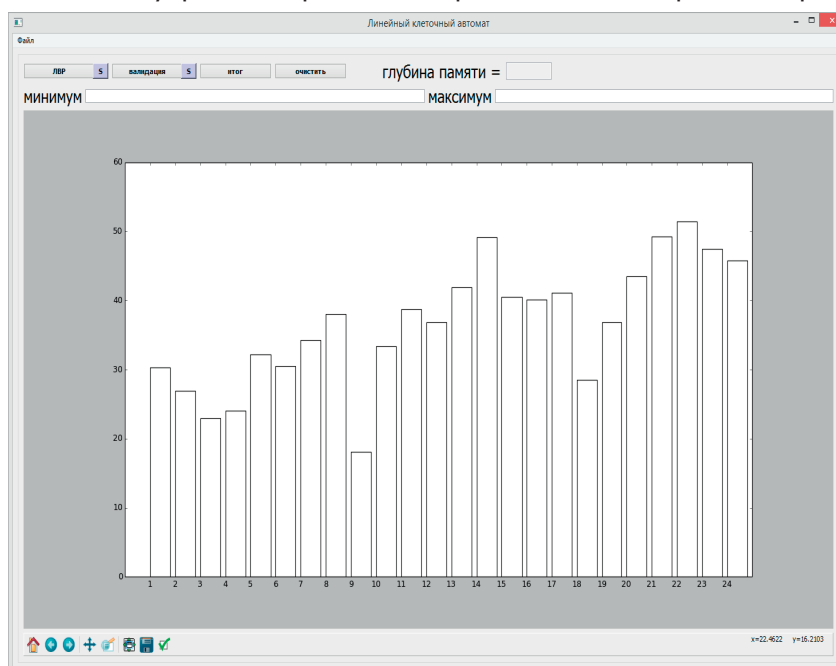


Рис. 1. Окно программы «Линейный клеточный автомат» с загруженным временным рядом по урожайности «Адыгея»

Переходя к составлению прогноза с использованием линейного клеточного автомата, необходимо переименовать выбранные ряды. Так как в предложенных рядах представлены значения по урожайности озимой пшеницы, можно присвоить им имена соответствующих регионов: «Адыгея» – временной ряд по Республике Адыгея (1995-2018 гг.), «Ставрополь» – урожайность по Ставропольскому краю (1970-2018 гг.), «Волгоград» – показатели урожая Волгоградской области (1930-2017 гг.), «Краснодар» – урожай озимой пшеницы Краснодарского края (1966-2018 гг.), «КЧР» – временной ряд урожайности по Карачаево-Черкесской Республике (1952-2018 гг.). Ряды с построенными ВОЛ и НОЛ в программе «ЛКА» представлены на рис. 2.

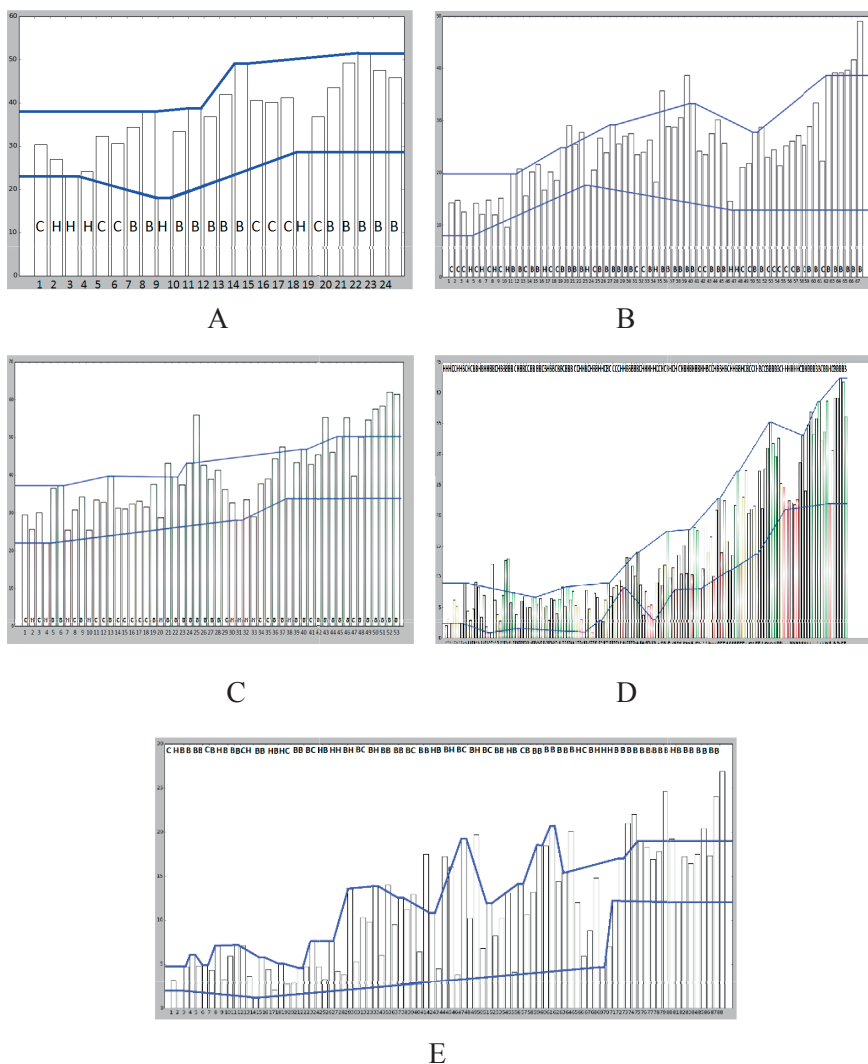


Рис. 2. Временные ряды урожайности озимой пшеницы по регионам в программе «Линейный клеточный автомат»: а – «Адыгея», б – «КЧР», с – «Краснодар», d – «Ставрополь», е – «Волгоград»

В ВР по урожайности озимой пшеницы «Адыгея» всего 24 точки (в соответствии с рис. 2а). Несмотря на столь малый объем временного ряда, построенная модель имеет глубину памяти равной 5, процент валидации равен 8,33% и прогнозное значение 32,26 ц/га (в соответствии с рис. 2b).

Так как ВР урожайности озимой пшеницы «Ставрополь» (в соответствии с рис. 2d) состоит из 149 значений и при наличии скачков между значениями (что может указывать на явное воздействие факторов риска урожайности в массовом объеме), необходимо вычислить пороговые значения и присвоить им верхнее или нижнее значение (В и Н) соответственно, для увеличения количества угаданных значений построенной модели с помощью программы. Данные точки выявляются с помощью сортировки и нахождения значимого отклонения отклонений точек друг от друга. Такими значениями стали точки за следующие годы (в соответствии с рис. 2d): 1870 г. (столбец 1), 1885 г. (столбец 16), 1886 г. (столбец 17), 1897 г. (столбец 28), 1921 г. и 1924 г. и (столбцы 52 и 55, соответственно).

Стоит отметить также, что ВР «Ставрополь» претерпел некоторые дополнения в связи с несколькими утерянными значениями. Так, например, для отсутствующего значения за 1918, 1919, 1933 и 1942 год (рис. 2d, столбцы 49, 50, 64 и 73 соответственно) рассчитано среднее из предыдущих и последующих значений за 5 лет.

Обсуждение результатов

Построенная прогнозная модель по ВР «Ставрополь» имеет глубину памяти 7, процент валидации 17,45%, прогноз 33,18 ц/га (в качестве прогноза ожидается терм С).

Для ВР урожайности «Волгоград» (в соответствии с рис. 2е), построенный график так же скачкообразен, что говорит о риске составления некорректной прогнозной модели. Прогноз для ВР урожайности озимой пшеницы по Волгограду имеет глубину памяти 8, процент валидации 11,36%, и прогнозное значение 21,97 ц/га (в качестве прогноза ожидается терм В).

Визуальное представление ВР «Краснодарский край» (в соответствии с рис. 2с) позволяет сделать вывод, что урожай озимой пшеницы в этом регионе наименее подвержен рискам. Результат работы прогнозной модели урожайности для Краснодарского края имеет следующие параметры: показатель глубины памяти равна 7, ошибка прогноза составила 11,321%, прогнозное значение – 45,1 ц/га (в качестве прогноза ожидается терм С).

Выявленными пороговыми значениями для временного ряда «КЧР» (в соответствии с рис. 2b) являются нижняя точка 1955 года и верхняя точка 2018 года, их отметим в первую очередь при построении ВОЛ и НОЛ. Таким образом, глубина памяти равна 6, процент валидации модели равен 14,93%, прогнозное значение – 23,1 ц/га (в качестве прогноза ожидается терм В).

Таблица

Прогнозные характеристики применения линейного клеточного автомата в исследовании временных рядов урожайности озимой пшеницы для рядов «Адыгея», «Краснодар», «Ставрополь», «КЧР» и «Волгоград»

	Адыгея	Краснодар	Ставрополь	КЧР	Волгоград
Глубина памяти, l	5	7	7	6	8
Величина ошибки прогноза, %	8,33%	11,321%	17,45%	14,93	11,36%
Численное значение прогноза, ц/га	32,26	45,1	33,18	23,1	21,97
Прогноз в виде лингвистического термина	В	С	С	В	В

Исходя из полученных результатов (в соответствии с табл.), можно сделать вывод, что несмотря на разное количество значений для анализа в предложенных в работе к исследованию временных рядах, ошибка прогноза по каждому ряду не превышает 20%. Таким образом, можно сделать вывод, что прогнозирование нелинейных динамических систем с помощью линейного клеточного автомата решает вопрос так называемых «малых выборок». Отдельно отметим, что проблема «малых выборок» является достаточно частым случаем в области анализа статистических данных, что связано со сложностью получения полной информации в современных условиях за определенный исторический период.

Список источников

1. Давнис В.В., Добринина М.В., Чекмаев А.В. Основы моделирования адаптивно-таргетированных прогнозных траекторий и анализ их устойчивости // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2018, no. 9 (105), с. 17-31.
2. Девтерова Н.И. Риски снижения урожайности сельскохозяйственных культур по агрохимическим показателям на основных типах почв территории Адыгеи // *Новые технологии*, Майкоп, 2015, no. 1, С. 120-128.
3. Кричевский М.Л. *Интеллектуальные методы в менеджменте*. Санкт-Петербург, Питер, 2005.
4. Кумратова А.М. Исследовательская «платформа» синергетического прогнозирования // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2017, no. 132, с. 581-591.
5. Кумратова А.М. Концептуальная основа получения и исследования максимального времени прогноза с заранее заданной точностью // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2017, no. 6 (90), с. 23-31.
6. Кумратова А.М. Математические образы последовательных и параллельных экономических рисков // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2015, no. 113, с. 230-243.
7. Кумратова А.М. Сплайн-технологии в исследовании основных риск-факторов, определяющих качество прогноза урожайности озимой пшеницы // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2018, no. 5 (101), с. 8-17.
8. Кумратова А.М. Теория и практика моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных социально-экономических систем методами нелинейной динамики // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*, 2017, no. 69, с. 30-35.
9. Кумратова А.М., Попова Е.В., Курносова Н.С., Попова М.И. Снижение экономического риска на базе предпрогнозно-

го анализа // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2015, по. 3 (63), с. 18-28.

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, по. 8(68), с. 35-43.

11. Кумратова А.М., Романович В.В. Свид. 2016661998 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Линейный клеточный автомат; заявитель и правообладатель ФГОУ ВО КубГАУ (RU). №2016661998; заявл. 29.07.16; опубл. 26.10.16, Реестр программ для ЭВМ, 1 с.

12. Орлянская Н.П., Иващук Ю.С., Медведская Л.В. Совершенствование функционирования подразделений ме-

ханизации предприятий АПК на основе разработки комплекса и моделей и использования экономико-математических методов и инструментальных средств // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*, 2018, по. 75, с. 19-24.

13. Соловьев В.И. Современные подходы к учету случайности, неопределенности и риска при анализе макроэкономических процессов // *Вестник Университета (Государственный университет управления)*, 2001, по. 1 (2), с. 228-242.

14. Янгишиева А.М. *Моделирование экономических рисков методами нелинейной динамики (на материалах Карачаево-Черкесской Республики)*. Автореферат дис. ... кандидата экон. наук. СГУ, Ставрополь, 2005.

THE FEASIBILITY OF USING LINEAR CELLULAR AUTOMATION TO FORECAST ON THE BASIS OF SMALL SAMPLES

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

Kuban State Agrarian University, Kalinina st., 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: alfa05@yandex.ru

Purpose: the author proposes the mathematical methods use of nonlinear dynamics in the development and adaptation of mathematical methods and predictive models for the analysis of winter wheat yields time series.

Discussion: the author chose a linear cellular apparatus as a main tool in order to demonstrate and predict the behavior of the observed system. Also the author studies indicators values of winter wheat yield in the regions of southern Russia. The choice of data series was made due to the following fact – each contains a different number of statistics, and some of the studied series represent a small sample. It is shown that the preparation of a sufficiently accurate forecast is possible on the basis of a small data amount. *Results:* this article reveals the applicability of using a linear cellular automaton for nonlinear dynamic systems' forecasting, which solves the problem of so-called «small samples».

Keywords: forecasting, time series, small sample, winter wheat yield, linear cellular automaton.

References

1. Davnis V.V. Dobrina M.V., Chekmarov A.V. Osnovy modelirovaniya adaptivno-targetirovannykh prognoznykh trayektoriy i analiz ikh ustoychivosti [Fundamentals of modeling adaptive-targeted predictive trajectories and analysis of their stability]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2018, no. 9 (105), pp. 17-31. (In Russ.)
2. Devterova N.I. Riski snizheniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po agrokhimicheskim pokazatelyam na osnovnykh tipakh pochv territorii Adygei [Risks of reducing crop yields by agrochemical indicators on the main soil types of the territory of Adygea]. *Novyye tekhnologii*, Maykop, 2015, no. 1, pp. 120-128. (In Russ.)
3. Krichevskiy M.L. *Intellektual'nyye metody v menedzhmente* [Intellectual methods in management]. Sankt-Petersburg, Piter, 2005. (In Russ.)
4. Kumratova A.M. Issledovatel'skaya «platforma» sinergeticheskogo prognozirovaniya [Research «platform» synergistic forecasting]. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2017, no. 132, pp. 581-591. (In Russ.)
5. Kumratova A.M. Kontseptual'naya osnova polucheniya i issledovaniya maksimal'nogo vremeni prognoza s zaraneye zadannoy tochnost'yu [Conceptual basis for obtaining and researching the maximum forecast time with a predetermined accuracy]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2017, no. 6 (90), pp. 23-31. (In Russ.)
6. Kumratova A.M. Matematicheskiye obrazy posledovatel'nykh i parallel'nykh ekonomicheskikh riskov [Mathematical images of sequential and parallel economic risks]. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2015, no. 113, pp. 230-243. (In Russ.)

7. Kumratova A.M. Splayn-tehnologii v issledovanii osnovnykh risk-faktorov, opredelyayushchikh kachestvo prognoza urozhaynosti ozimoy pshenitsy [Spline technologies in the study of the main risk factors that determine the quality of winter wheat yield forecast]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2018, no. 5 (101), pp. 8-17. (In Russ.)
8. Kumratova A.M. Teoriya i praktika modelirovaniya, analiza i prognozirovaniya evolyucionnykh social'no-ekonomicheskikh system metodami nelineynoy dinamiki [Theory and practice of modeling, analysis and prediction of evolutionary socio-economic systems by methods of nonlinear dynamics]. *Proceedings of KubGAU*, 2017, no. 69, pp. 30-35. (In Russ.)
9. Kumratova A.M., Popova Ye.V., Kurnosova N.S., Popova M.I. Snizheniye ekonomicheskogo riska na baze pred-prognoznogo analiza [Reducing the economic risk on the basis of a predictive analysis]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2015, no. 3 (63), pp. 18-28. (In Russ.)
10. Kumratova A.M., Popova Ye.V., Savinskaya D.N., Kurnosova N.S. Kompleksnaya metodika analiza ekonomicheskikh vremennykh ryadov metodami nelineynoy dinamiki [Complex method of analysis of economic time series by non-linear dynamics methods]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2015, no. 8 (68), pp. 35-43. (In Russ.)
11. Kumratova A.M., Romanovich V.V. Svid. 2016661998 Rossiyskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy dlya EVM. Lineynyy kletochnyy Avtomat [Linear cellular automaton]; zayavitel' i pravoobladatel' FGOU VO KubGAU (RU). №2016661998; zayavl. 29.07.16; opubl. 26.10.16, Reyestr programm dlya EVM, 1 p. (In Russ.)
12. Orlyanskaya N.P., Ivashchuk YU.S., Medvedskaya L.V. Sovershenstvovaniye funktsionirovaniya podrazdeleniy mekhanizatsii predpriyatiy APK na osnoverazrabotki kompleksa i modeley i ispol'zovaniya ekonomiko-matematicheskikh metodov i instrumental'nykh sredstv [Improving the functioning of the subdivisions of the mechanization of agricultural enterprises based on the development of the complex and models and the use of economic-mathematical methods and tools]. *Trudy KubGAU*, 2018, no. 75, pp. 19-24. (In Russ.)
13. Soloviev V.I. Sovremenniye podhodi k uchetu sluchaynosti, neopredelennosti i riska pri analize makroekonomicheskikh processov [Modern approaches to accounting for randomness, uncertainty and risk in the analysis of macroeconomic processes]. *Vestnik Universiteta (State University of management)*, 2001, no. 1 (2), pp. 228-242. (In Russ.)
14. Yangishieva A.M. *Modelirovanie ekonomicheskikh riskov metodami nelineynoy dinamiki* [Modeling the economic risks of nonlinear dynamics methods]. Synopsis, SGU, Stavropol', 2005. (In Russ.)