



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А.А. Кухаренко, В.И. Гайдук, Д.В. Бражниченко

Кубанский государственный аграрный университет,
Краснодар, Россия

Аннотация. Одним из наиболее перспективных направлений при прогнозировании урожайности является использование методов анализа значений временных рядов (ВР), позволяющих анализировать историческую динамику показателей растениеводства Краснодарского края и выявлять устойчивые тенденции и циклические колебания. На основе выявленных закономерностей можно строить кратко- и среднесрочные прогнозы, учитывающие инерционность развития отрасли. Внедрение экономико-математических методов прогнозирования в практику управления отраслью растениеводства Краснодарского края позволит принимать более обоснованные управленческие решения, оптимизировать использование ресурсов и повысить экономическую эффективность сельскохозяйственного производства. Прогнозирование, как эффективная функция управления производством является необходимым этапом планирования, повышает его научную обоснованность, качество бизнес-планов. Экономика аграрных регионов России во многом зависит от стабильности и продуктивности сельского хозяйства, уровня урожайности основных сельскохозяйственных культур (зерновых, масличных). Урожайность зерновых: озимой пшеницы и кукурузы играет ключевую роль в экономическом благополучии региона и развитии сельских территорий. Точное и своевременное прогнозирование урожайности зерновых становится не просто агротехническим инструментом, а мощным рычагом для планирования, распределения ресурсов и стимулирования устойчивого развития села, агрохолдингов Краснодарского края. Растениеводство является одной из ключевых отраслей экономики Краснодарского края, обеспечивающей продовольственную безопасность региона и значительный экспортный потенциал. Эффективное управление развитием этой отрасли требует точного прогнозирования ее основных показателей, таких как урожайность, посевные площади и валовое производство. Экономико-математические методы предоставляют мощный инструмент для решения этой задачи, позволяя учитывать множество факторов, влияющих на динамику развития отрасли растениеводства в Краснодарском крае.

Ключевые слова: сельское хозяйство, растениеводство, агропромышленный комплекс, земля сельскохозяйственного назначения, урожайность, прогнозирование

Original article

PREDICTING THE YIELD OF AGRICULTURAL CROPS

A.A. Kukharenko, V.I. Gaiduk, D.V. Brazhnichenko

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Abstract. One of the most promising areas in crop yield forecasting is the use of time series (time series) value analysis methods, which make it possible to analyze the historical dynamics of crop production in the Krasnodar Territory and identify stable trends and cyclical fluctuations. Based on the identified irregularities, it is possible to build short- and medium-term forecasts that take into account the inertia of the industry's development. The introduction of economic and mathematical forecasting methods into the practice of managing the crop industry in the Krasnodar Territory will make it possible to make more informed management decisions, optimize the use of resources and increase the economic efficiency of agricultural production. Forecasting, as an effective production management function, is a necessary stage of planning, increases its scientific validity and the quality of business plans. The economy of the agrarian regions of Russia largely depends on the stability and productivity of agriculture, the level of yield of major crops (cereals, oilseeds). Grain yields: winter wheat and cucumbers play a key role in the economic well-being of the region and rural development. Accurate and timely forecasting of grain yields is becoming not just an agrotechnical tool, but a powerful lever for planning, allocating resources and stimulating the sustainable development of villages and agricultural holdings in the Krasnodar Territory. Crop production is one of the key sectors of the Krasnodar Territory's economy, ensuring the region's food security and significant export potential. Effective management of the development of this industry requires accurate forecasting of its main indicators, such as yield, acreage and gross production. Economic and mathematical methods provide powerful tools for solving this problem, allowing us to take into account many factors affecting the dynamics of the crop industry in the Krasnodar Territory.

Keywords: agriculture, crop production, agro-industrial complex, agricultural land, productivity, forecasting

Введение. В середине пятидесятих годов XX века комитет по Нобелевским премиям объявил конкурс на разработку методики прогнозирования урожайности зерновых культур, что явилось мощным стимулом развития методов прогнозирования, особенно в Европе и СССР. Начиная с 1967 г. по 1980 г. в СССР было проведено большое количество научно-практических конференций, совещаний Всесоюзных, республиканских, зональных по прогнозированию урожайности, практике планирования с учетом прогноза урожайности.

В г. Комполт (Венгрия) в июне 1975 г. проведен «Международный симпозиум по проблеме ожидаемого урожая», на котором принят критерий точности текущего (1–1,5 месяца до уборки урожая) прогноза урожайности зерновых культур, равный (+/- 7%) [8].

Текущий прогноз урожайности зерновых культур осуществляли ученые Гидрометцентра СССР, обследуя сформировавшийся хлебостой за 1–1,5 месяца до уборки урожая. Но более массовой была разработка методов математической статистики.

Успешным были разработки профессора И.Б. Загайтова [2]. Его метод «Зонт» позволял обеспечить точность прогноза урожайности зерновых культур в среднем по России на прогнозный период в один год после отчетного периода. Расхождение между фактической и прогнозируемой урожайностью в большинстве случаев было минимальным.

Оригинальную модель прогноза урожайности зерновых культур разработал А.Г. Прудников, учитывающую цикличность в динамике фактической урожайности, обусловленную

влиянием солнечной активности [1,7]. Обеспечивая минимальное расхождение между фактической и прогнозируемой урожайностью озимой пшеницы, озимого ячменя в прогнозном периоде от одного года до 9 лет после отчетного года, она позволяет заранее определить рациональную структуру посевных площадей зерновых культур и за счет этого увеличить валовой сбор на 3–5%, а в отдельные годы — на 15% и более [10]. В годы с низким уровнем прогнозируемой урожайности возможна значительная экономия материальных ресурсов (минеральных удобрений, средств защиты растений).

Основная часть. Авторами предложена пирамида экономической эффективности сельскохозяйственного производства (рис. 1).

В качестве ее фундамента рассматривается сельскохозяйственная продукция и производя-

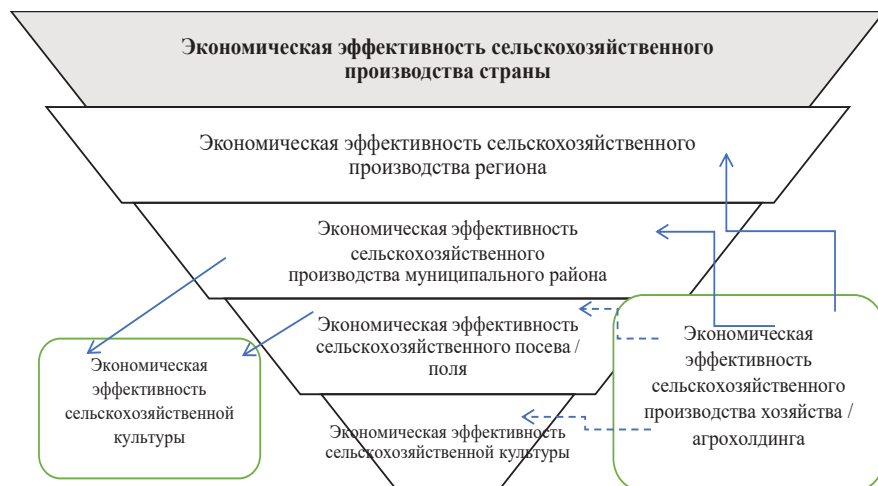


Рисунок 1. Пирамида экономической эффективности сельскохозяйственного производства макрорегиона
Figure 1. Pyramid of economic efficiency of agricultural production in the macroregion

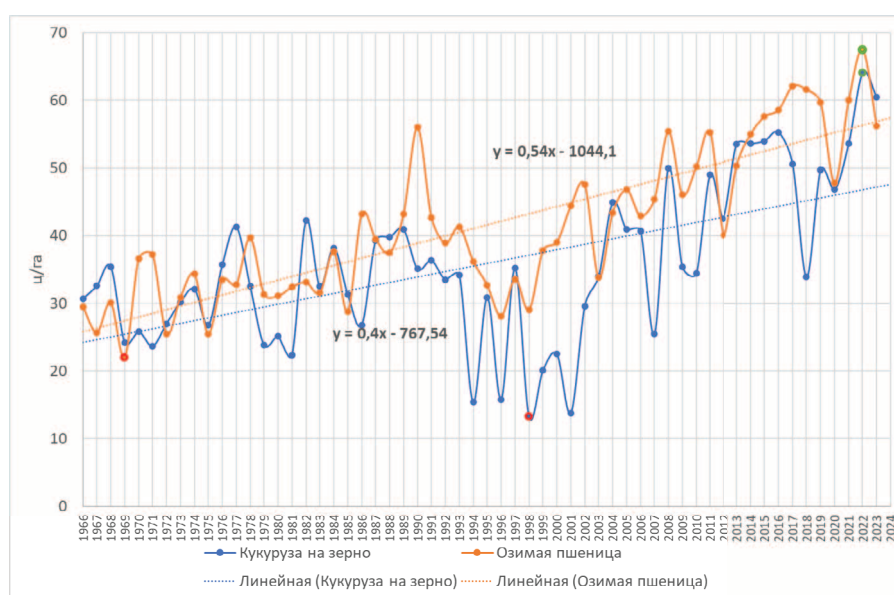
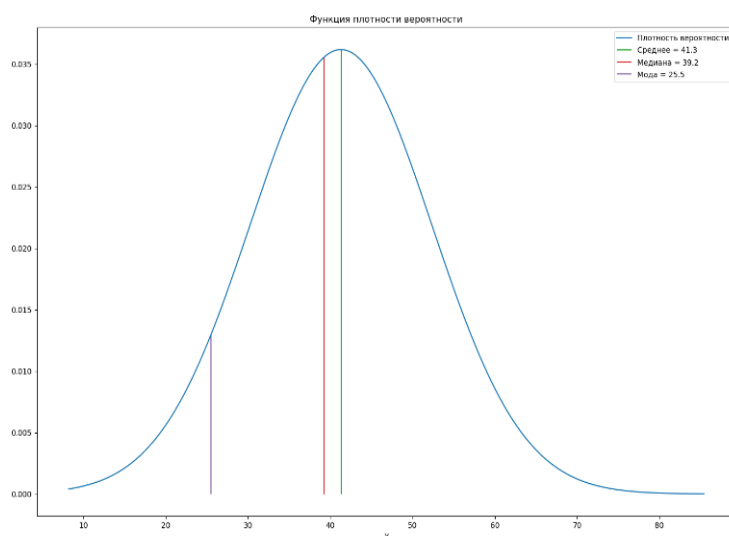


Рисунок 2. Графическая визуализация временного ряда значений урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно по Краснодарскому краю за период 1966–2023 гг.
Figure 2. Graphical visualization of the time series of winter wheat and corn grain yields in the Krasnodar Territory for the period 1966–2023.



$$\begin{aligned} M(X) &= 41,305 \\ D(X) &= 121,558 \\ \sigma &= 11,025 \\ V &= 0,267 \\ A &= 0,484 \\ E &= -0,709 \end{aligned}$$

Рисунок 3. Эмпирическая функция распределения и статистические показатели временного ряда значений урожайности озимой пшеницы по Краснодарскому краю
Figure 3. Empirical distribution function and statistical indicators of the time series of winter wheat yield values in the Krasnodar Territory

щие ее хозяйствующие субъекты. Увеличение посевных площадей с высокими значениями экономической эффективности сельскохозяйственных культур (например, урожайности) на территории муниципального района повышает их эффективность и продуктивность региона в целом, а, следовательно, и эффективность сельскохозяйственного производства макрорегиона в целом. Прогнозирование урожайности основных сельскохозяйственных культур с помощью экономико-математических методов является основой планирования хозяйствующих субъектов различных уровней: зернопроизводителя (фермера), крестьянско-фермерского хозяйства, крупного агрохолдинга (АО «Фирма «Агрокомплекс» им. Н.И. Ткачева, ООО «Агрокомплекс Лабинский», АО «Агрообъединение «Кубань», ООО «Зерновая компания «Новопетровская» и др.). Точные прогнозы зерновых культур позволяют заранее оценить ожидаемый объем сельскохозяйственного производства, что, в свою очередь, дает возможность эффективно планировать логистику, хранение и переработку зерна. Это снижает потери урожая, оптимизирует затраты и повышает конкурентоспособность кубанской продукции на внутреннем и внешнем рынках. Относительно ресурсного обеспечения сельских территорий, можно отметить, что, зная ожидаемый урожай основных сельскохозяйственных культур, можно более точно рассчитать потребность в удобрениях, технике, топливе и других ресурсах.

Интеграция систем прогнозирования урожайности зерновых культур: озимой пшеницы и кукурузы на зерно в стратегию развития сельских территорий региона является не только экономически целесообразным, но и социально значимым шагом, направленным на повышение уровня жизни сельского населения и обеспечение устойчивого развития Краснодарского края. Средняя урожайность озимой пшеницы и кукурузы на зерно региона за период с 1966 по 2023 гг. представлена на рисунке 2.

Введем обозначения:

$X_i, i = 1, \dots, n$ — временной ряд значений урожайности озимой пшеницы, $n = 2023 - 1966 + 1 = 58$;

$Y_i, i = 1, \dots, n$ — временной ряд значений урожайности кукурузы на зерно.

На рисунке 2 представлены уравнения регрессии для ВР X , Y и линии трендов с положительными коэффициентами в уравнениях: $y = 0,54x - 1044,1$; $y = 0,4x - 767,54$. Отметим, что угол наклона у ВР значений урожайности озимой пшеницы выше, чем у временного ряда «Кукуруза на зерно».

Одним из показателей вариативности временного ряда является величина размаха. Глобальные экстремальные значения на рисунке 2 обозначены маркером (ц/га):

$$x_{2022}^{\max} = 67,48; x_{1969}^{\min} = 22; y_{2022}^{\max} = 64,05; y_{1998}^{\min} = 13,3;$$

Размах значений для временного ряда X составил величину: $R_X = \max_x - \min_x = 67,48 - 22 = 45,48$ (ц/га).

Аналогично для ВР Y имеем: $R_Y = \max_y - \min_y = 64,05 - 13,3 = 50,75$ (ц/га). Исходя из представленных экстремумов, можно сказать, что ВР значений урожайности кукурузы на зерно является более вариативным.

На рисунках 3 и 4 представлены эмпирические функции распределения исследуемых временных рядов и вычисленные статистические показатели.



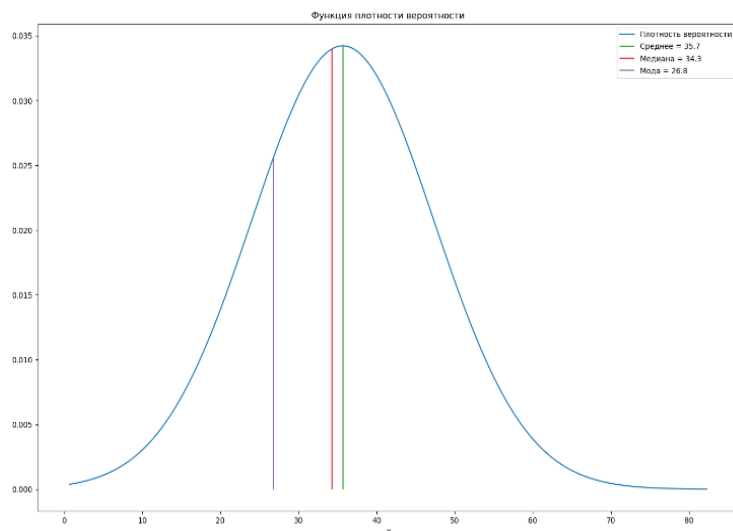


Рисунок 4. Эмпирическая функция распределения и статистические показатели временного ряда значений урожайности кукурузы на зерно по Краснодарскому краю
Figure 4. Empirical distribution function and statistical indicators of the time series of corn grain yield in the Krasnodar Territory

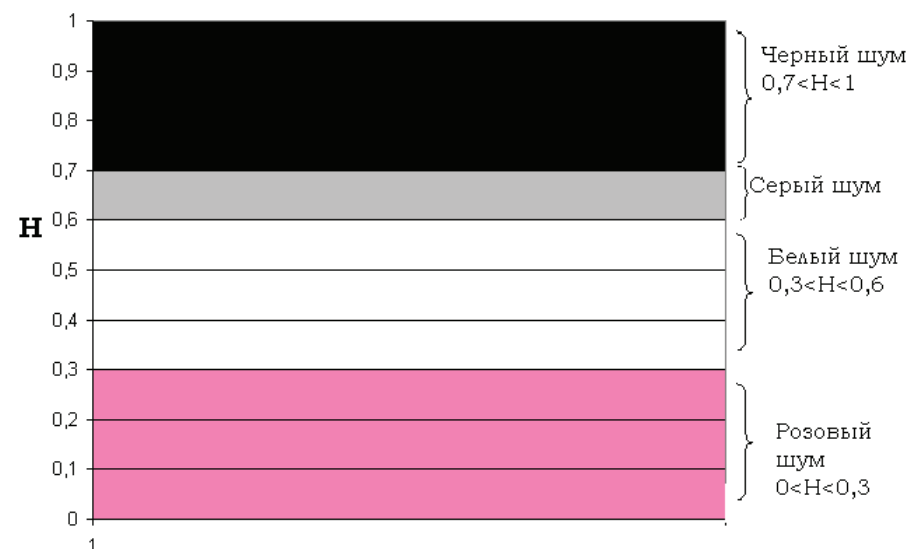
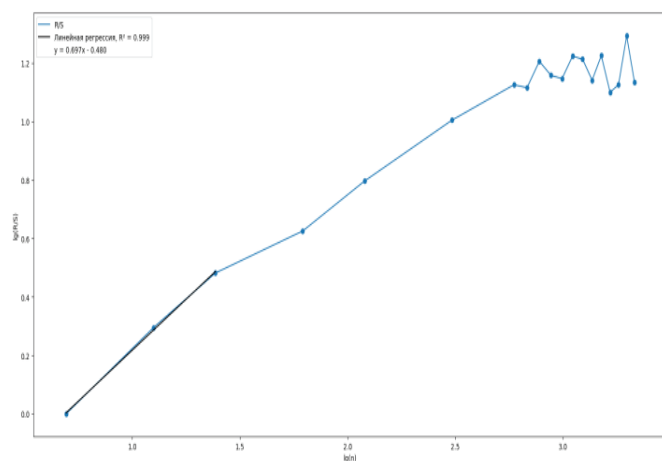
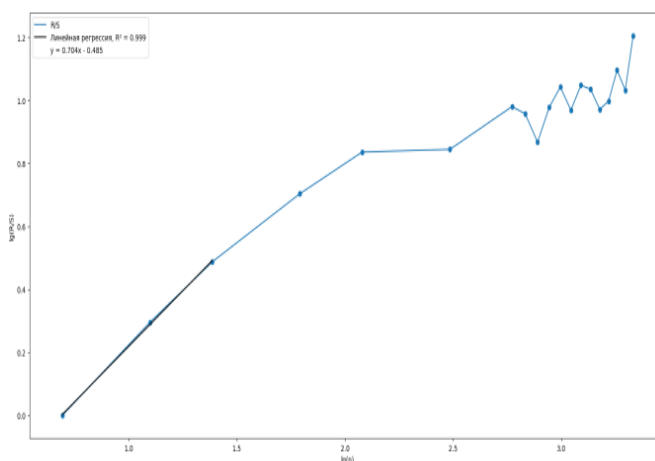


Рисунок 5. Классификация значений показателя Херста (цвет шумов)
Figure 5. Classification of the Hurst index values (color of the noise)



а) R/S-траектория временного ряда
«Озимая пшеница»



б) R/S-траектория временного ряда
«Кукуруза на зерно»

Рисунок 6. R/S-анализ в исследовании временных рядов значений урожайности основных сельскохозяйственных культур Краснодарского края
Figure 6. R/S analysis in the study of time series of yield values of the main agricultural crops of the Krasnodar Territory

Для подчинения нормальному закону распределения необходимо выполнение нескольких условий:

1) Согласно представленным статистическим показателям для исследуемых процессов, выполняются соотношения:

$$\forall x_i < M(X) + 3 \cdot \sigma = 74,38$$

$$\forall y_i < M(Y) + 3 \cdot \sigma = 70,64$$

Последнее означает, что первое условие подчинению временных рядов закону Гаусса — выполняется.

2) Для значений показателей асимметрии выполняется условие подчинения нормальному закону распределения: $-1 < A_x, A_y < 1$.

3) Значения эксцесса для исследуемых временных рядов $E_x, E_y < 0$. Последнее означает то, что наличие риск-экстремальных значений в выборке встречаются с меньшей частотой, чем для нормального распределения.

Показатели вариации характеризуются невысокими значениями $V = 26,7 \sim 32,7\%$.

Прогноз, полученный на базе уравнений регрессий, равен: $x_{2024} = 48,86$ (ц/га), $y_{2024} = 42,06$ (ц/га). Также, можно сказать, что выявленный тренд может лишь указывать направление динамики исследуемого временного ряда. В отличие от методов классической статистики, арсенал методов нелинейной динамики [6] может выявить ряд качественных предпрогнозных характеристик изучаемых агроэкономических процессов, например: наличие и длину циклов, глубину долговременной памяти, получение прогноза свыше одного года. Для апробации методов нелинейной динамики использовано инструментальное средство [9], в котором запрограммированы алгоритмы: R/S-анализа, фазового анализа, линейного клеточного автомата.

Метод R/S-анализа в исследовании агроэкономических процессов — это мощный инструмент, позволяющий выявлять и оценивать долгосрочную память и фрактальные свойства временных рядов, характеризующих аграрный сектор экономики. Наличие долговременной памяти у временного ряда характеризуется показателем Херста (рис. 5) в R/S-анализе (рис.6) [3].



Значения показателя Хёрста вычислим по формуле:

$$H = H(\tau) = \frac{\log(R(\tau)/S(\tau))}{\log(\tau/2)} \quad (3)$$

где S — среднеквадратическое отклонение для отрезков временного ряда $Z^T = z_1, z_2, \dots, z_T$;

R — нормированный размах:

$$R = R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} (X_{t,t}) - \min_{1 \leq t \leq \tau} (X_{t,t}) \quad (4)$$

Согласно рисунку 1.40 имеем трендоустойчивые ряды, где значения показателя Хёрста ($H > 0,7$) входят в интервал черного шума. Последнее говорит о том, что исследуемые ряды значений урожайности озимой пшеницы и кукурузы обладают долговременной памятью. Смена тренда для исследуемых процессов происходит в четвертой точке.

Для выявления циклов и квазициклов у временных рядов значений урожайности основных сельскохозяйственных культур, воспользуемся вкладкой «Фазовый анализ». Метод локальных колебаний — фазовый анализ зарекомендовал себя как мощный инструмент для выявления закономерностей и динамики развития агроэкономических процессов, нашел отражение

в трудах отечественных ученых. Циклическая природа исследуемых процессов прослеживается в явном виде (рис. 7).

Для удобства аналитики, вся фазовая траектория поделена на три равных подпериода: точки, относящиеся к началу временного ряда, окрашены в красный цвет; к середине — желтым, к концу — зеленым.

Для исследуемых агроэкономических систем, в целом, наблюдается рост значений временных рядов. Относительно ВР «Кукуруза на зерно» можно отметить, что аттрактор (скопление данных) состоит из точек первого подпериода, при этом включая точки из двух других подпериодов.

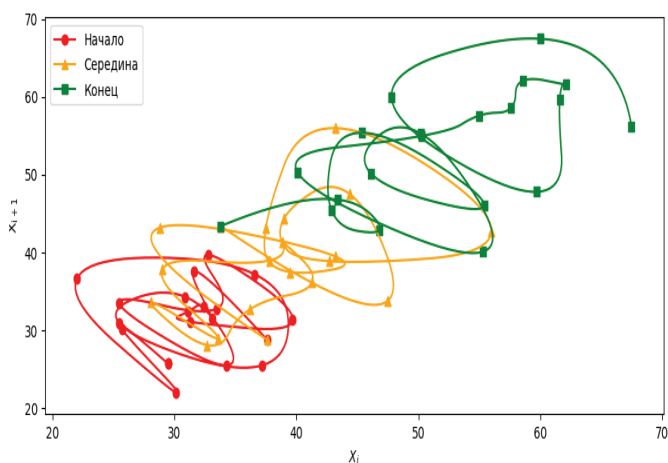
Последнее означает, что во всех подпериодах чаще всего встречаются средние значения урожайности кукурузы на зерно. Фазовая траектория ВР «Озимая пшеница» демонстрирует равномерный рост значений урожайности, при этом аттрактор состоит из первых двух подпериодов временного ряда.

Циклические составляющие исследуемых агроэкономических процессов представлены на рисунке 8.

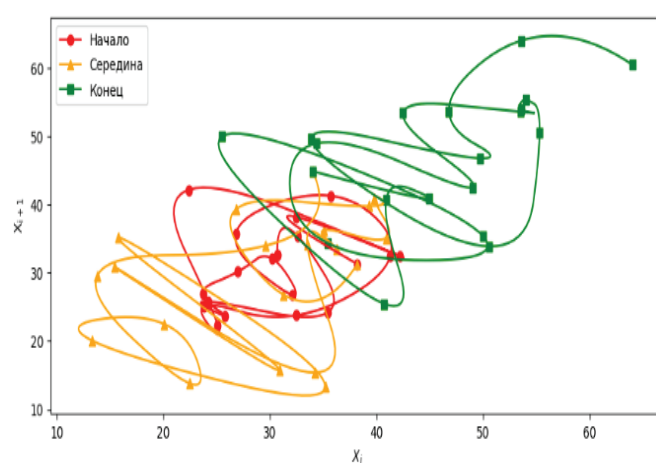
Разложение фазовой траектории на квазициклы дает аналитику следующую информацию: каковы длины квазициклов (количество точек, вошедших в циклическое образование), какая длина квазицикла встречается с наибольшей частотой. Перечисленные предпрогнозные характеристики ВР позволяют достраивать прогноз внутри незавершенного цикла согласно выявленным закономерностям ретроспективных данных.

На рисунке 9 представлены графики со значениями длины выявленных квазициклов с соответствующими частотами для временных рядов урожайности зерновых культур по Краснодарскому краю.

Визуализация рисунка говорит нам о том, что чаще всего встречаются квазициклы и циклы размерности $l_{pha} = 5$. Последнее позволяет говорить о возможности построения и получения среднесрочного прогноза на 5 лет. В условиях возрастающей нестабильности агроэкономической среды и необходимости оптимизации сельскохозяйственного производства, применение эффективных инструментов прогнозирования становится критически важной задачей в агроэкономике.

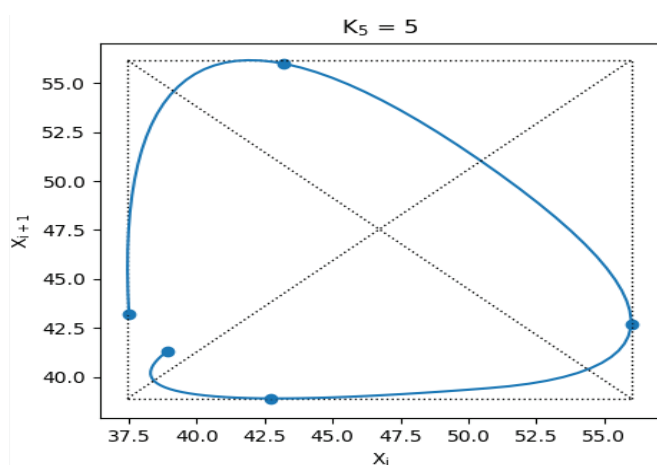


а) Фазовая траектория временного ряда «Озимая пшеница»

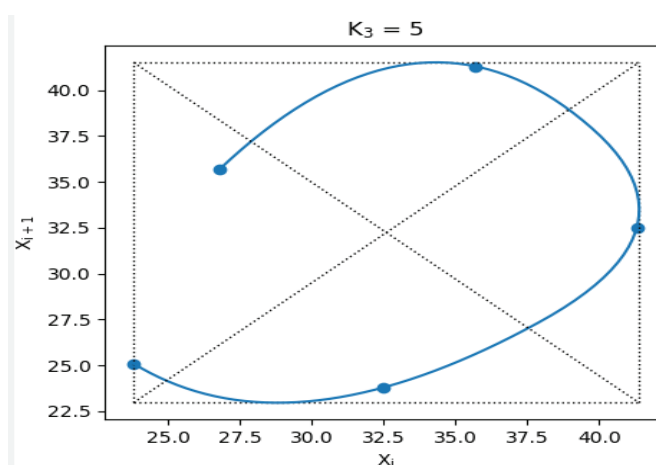


б) Фазовая траектория временного ряда «Кукуруза на зерно»

Рисунок 7. Фазовые траектории временных рядов урожайности основных сельскохозяйственных культур
Figure 7. Phase trajectories of time series of yields of major agricultural crops



а) Пятый квазицикл временного ряда «Озимая пшеница»



б) Третий квазицикл временного ряда «Кукуруза на зерно»

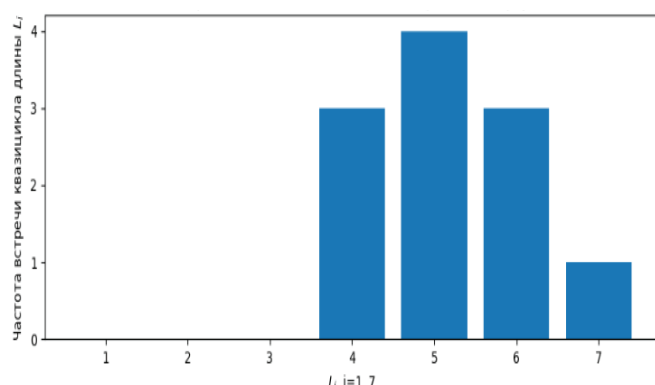
Рисунок 8. Типичные квазициклы временных рядов значений урожайности основных сельскохозяйственных культур Краснодарского края
Figure 8. Typical quasi-cycles of time series of yields of the main agricultural crops of the Krasnodar Territory



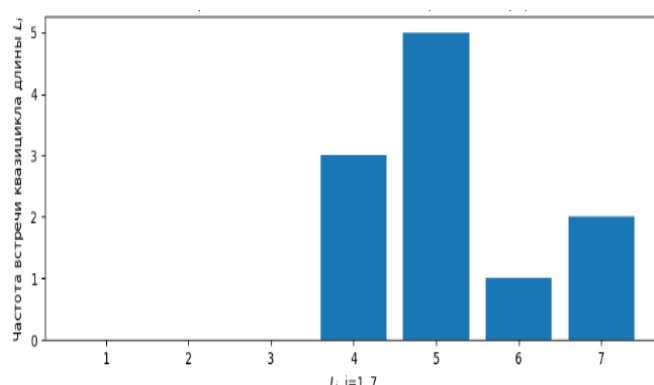
Одним из перспективных подходов является использование квазигенетических алгоритмов (КГА). В работе применен один из таких КГА, как алгоритм линейного клеточного автомата. КГА, вдохновленные принципами эволюции и генетики, представляют собой мощные методы оптимизации, способные находить оптимальные

решения в сложных, многомерных пространствах. Можно отметить преимущества использования КГА: устойчивость к шуму и неполноте данных; алгоритм способен находить оптимальные решения даже в условиях неполной информации и малой выборке данных; способность находить глобальные оптимумы: КГА обладают

способностью избегать локальных оптимумов и находить глобально оптимальные решения. В ходе проведения исследования была построена прогнозная модель исследуемых временных рядов сельскохозяйственных культур Краснодарского края на базе алгоритма линейного клеточного автомата (ЛКА) (рис.10).



а) Гистограмма длин квазициклов с соответствующими частотами для временного ряда «Озимая пшеница»



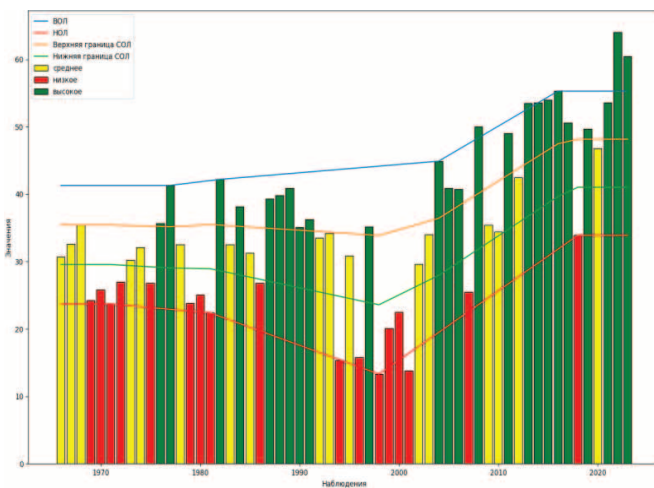
б) Гистограмма длин квазициклов с соответствующими частотами для временного ряда «Кукуруза на зерно»

Рисунок 9. Частота длин выявленных квазициклов временных рядов значений урожайности основных сельскохозяйственных культур

Figure 9. Frequency of lengths of detected quasi-cycles of time series of yields of major crops



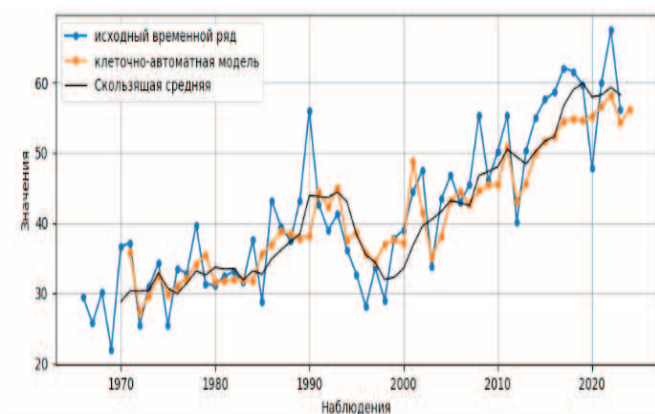
а) Прогнозная модель временного ряда «Озимая пшеница»



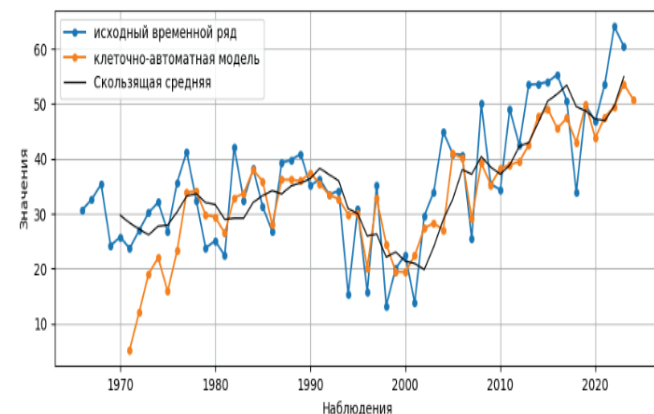
б) Прогнозная модель временного ряда «Кукуруза на зерно»

Рисунок 10. Этап «Верификация» алгоритма линейного клеточного автомата для временных рядов значений урожайности основных сельскохозяйственных культур

Figure 10. The «Verification» stage of the linear cellular automaton algorithm for time series of yields of major crops



а) Квазицикл временного ряда «Озимая пшеница»



б) Квазицикл временного ряда «Кукуруза на зерно» глубина 5, прогноз 50.79 ц/га

Рисунок 11. Типичные квазициклы временных рядов значений урожайности основных сельскохозяйственных культур

Figure 11. Typical quasi-cycles of time series of yields of major agricultural crops



Отличительной особенностью указанного квазигенетического алгоритма является перевод числовых данных в лингвистические переменные следующим образом:

1. Экспертным путем выбираются минимальные и максимальные точки временного ряда, которые будут являться отправными для построения трендовых коридоров;
2. Далее, диапазон граничных значений трендового коридора (от верхней огибающей ломаной (ВОЛ) до нижней огибающей ломаной (НОЛ)) делится на три части, при этом получаем границы средней огибающей ломаной (СОЛ). Перевод числовых значений временного ряда в соответствующие термы: «Н» (низкое значение), «С» (среднее), «В» (высокое) определяется принадлежностью в тот или иной диапазон коридора (рис.11). На рисунке 11 представлены результаты работы этапа «Дефазификация» алгоритма линейного клеточного автомата.

Валидация прогнозной модели для ВР «Озимая пшеница» более точно «угадывает» реверсы подъемов и спадов динамики значений, чем кривая, полученная при обучении алгоритма на данных ВР «Кукуруза на зерно».

Получены следующие прогнозные характеристики исследуемых агроэкономических временных рядов:

- величина ошибки прогноза равна: $\epsilon_x = 9,5\%$, $\epsilon_y = 19,4\%$;
- значение прогноза на будущий год: $p_x = 56,2$ (ц/га); $p_y = 50,79$ (ц/га);
- глубина памяти: $I_x = 5$ (лет), $I_y = 5$ (лет);
- прогноз для ВР «Озимая пшеница» на 1 шаг вперед: В (с вероятностью 55.6%), прогноз на 2 шага вперед: ВВ (с вероятностью 30.91%);
- прогноз для ВР «Кукуруза на зерно» на 1 шаг вперед в виде лексемы: В (с вероятностью 56.5%), прогноз на 2 шага вперед: ВВ (с вероятностью 37.69%). Отметим, что выявленные предпрогнозные характеристики при апробации методов нелинейной динамики совпадают: $I_{pha} = 5$ (фазовый анализ); $I_x = 5$, $I_y = 5$ (алгоритм ЛКА). Последнее означает то, что на будущее состояние агроэкономических систем влияют пять предыдущих значений временного ряда.

Заключение

Метод квазигенетического алгоритма представляет собой мощный инструмент для прогнозирования и оптимизации агроэкономических процессов, позволяющий повысить эффективность сельскохозяйственного производства и снизить риски в условиях нестабильности рынка. Дальнейшие исследования в этой области позволят расширить область применения КГА и повысить точность прогнозирования. Современные методы машинного обучения, такие как нейронные сети и алгоритмы поддержки

векторных машин, также могут быть эффективно использованы для прогнозирования показателей растениеводства. Они позволяют выявлять нелинейные зависимости и учитывать сложные взаимодействия между различными факторами, что повышает точность прогнозов. Для детального исследования агроэкономических временных рядов требуется комплексный подход, объединяющий различные методы и модели, чтобы адекватно уловить все аспекты, взаимодействующие в рамках этой системы. Каждый инструмент имеет свои ограничения и область применения, что делает необходимым использование мультидисциплинарного подхода для более глубокого понимания взаимодействий и последствий. Современные исследования агроэкономических процессов требуют синергии как количественных, так и качественных методов анализа. Интеграция различных инструментов и подходов позволяет создать более полную и реалистичную картину экономической действительности. Также отметим, что сложность построения нейронных сетей превосходит сложность построения классических моделей, но, в то же время, их часто применяют в различных отраслях экономики.

Список источников

1. Бугера Б.И. Прогнозирование плановых показателей производства / Б.И. Бугера, А.Г. Прудников // Экономика сельского хозяйства. М., 1975. № 10. С. 67-72.
2. Загайтов И.Б. Прогноз колебаний природных условий сельскохозяйственного производства и всемирная статистика урожаев: Монография / И.Б. Загайтов, Л.С. Воробьева. Воронеж: ВГАУ, 1998. 215 с.
3. Кумратова А.М. Оценка продуктивности зернового производства Юга России методами нелинейной динамики / А.М. Кумратова, В.В. Алещенко // Современная экономика: проблемы и решения. 2022. № 2(146). С. 8-17.
4. Кухаренко А.А. Классификация муниципальных образований Краснодарского края на основе динамики численности сельского населения / Кухаренко А.А., Гайдук В.И. / Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 11.
5. Кухаренко А.А. Классификация субъектов Российской Федерации на основе динамики численности сельского населения. / Кухаренко А.А. / Вестник Академии знаний. 2022. № 53 (6). С. 137-144.
6. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. М.: Мир, 2000. 333 с.
7. Прудников А.Г. Методология прогноза производства зерна : дисс. д-ра экон. наук. Краснодар, 1987. 355 с.
8. Салан Д. Разработка и результаты методов прогнозирования урожая зерновых колосовых // Материалы Международного симпозиума по теме прогноза ожидаемого урожая. Комполт (Венгрия), 1975. 44 с.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612899 Российская Федерация. Методы нелинейной динамики: № 2020611841: заявл. 20.02.2020 : опубл. 05.03.2020 / А.М. Кумратова,

К.А. Сивков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».

10. Трубилин А.И. Методология среднесрочного прогноза урожайности и производства продукции растениеводства: монография / А.И. Трубилин, Г.Ф. Петрик, А.Г. Прудников, Т.В. Логойда. Краснодар: КубГАУ, 2019. 166 с.

References

1. Bugera B.I. & Prudnikov A.G. (1975). *Prognostirovanie planovykh pokazatelei proizvodstva* [Forecasting planned production indicators]. *Ehkonomika sel'skogo khozyaistva*, no. 10, pp. 67-72.
2. Zagaytov I.B. & Vorobyova L.S. (1998). *Prognoz kolebaniy prirodnikh uslovii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva i vseмирnaya statistika urozhayev* [Forecast of fluctuations in natural conditions of agricultural production and world harvest statistics]. A monograph, Voronezh, VGU, 215 p.
3. Kumratova A.M. & Aleshenko V.V. (2022). *Otsenka produktivnosti zernovogo proizvodstva Yuga Rossii metodami nelineinoi dinamiki* [Evaluation of the productivity of grain production in the South of Russia by methods of nonlinear dynamics]. *Modern economics: problems and solutions*, no. 2(146), pp. 8-17.
4. Kukhareno A.A. & Gaiduk V.I. (2022). *Klassifikatsiya munitsipal'nykh obrazovaniy Krasnodarskogo kraia na osnove dinamiki chislennosti sel'skogo naseleniya* [Classification of municipalities of the Krasnodar Territory based on the dynamics of the rural population]. *Moscow Economic Journal*, vol. 7, no. 11.
5. Kukhareno A.A. (2022). *Klassifikatsiya sub'ektov Rossiiskoi Federatsii na osnove dinamiki chislennosti sel'skogo naseleniya* [Classification of the subjects of the Russian Federation based on the dynamics of the rural population]. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, no. 53 (6), pp. 137-144.
6. Peters E. (2000). *Khaos i poryadok na rynkakh kapitala* [Chaos and order in the capital markets], Moscow, Mir, p. 333.
7. Prudnikov A.G. (1987). *Metodologiya prognoza proizvodstva zerna* [Methodology of grain production forecasting]. Dissertation of Doctor of Economics, Krasnodar, p. 355.
8. Salan D. (1975). *Razrabotka i rezul'taty metodov prognozirovaniya urozhaya zernovykh kolosovykh* [Development and results of methods for forecasting grain crops]. *Proceedings of the International Symposium on the forecast of the expected harvest*, Hungary, Kompolt, p. 44.
9. Kumratova A.M. & Sivkov K.A. (2020). *Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EHM № 2020612899 Rossiiskaya Federatsiya. Metody nelineinoi dinamiki: № 2020611841* [Certificate of state registration of the computer program № 2020612899 Russian Federation. Methods of nonlinear dynamics: № 2020611841]. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trublin».
10. Trublin A.I., Petrik G.F., Prudnikov A.G. & Logoida T.V. (2019). *Metodologiya srednesrochnogo prognoza urozhainosti i proizvodstva produktsii rastenievodstva* [Methodology of medium-term forecast of crop yields and production], a monograph, Krasnodar, KubGAU, p. 166.

Информация об авторах:

Кухаренко Андрей Андреевич, ассистент, i@akuharenko.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-3082-0858>

Гайдук Владимир Иванович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой институциональной экономики и инвестиционного менеджмента, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9992-7647>, vi_gayduk@mail.ru

Бражниченко Денис Вячеславович кандидат экономических наук, доцент кафедры институциональной экономики и инвестиционного менеджмента

Information about the authors:

Andrey A. Kukhareno, assistant, i@akuharenko.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-3082-0858>

Vladimir I. Gaiduk, doctor of economics, professor, head of the department of institutional economics and investment management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9992-7647> vi_gayduk@mail.ru

Denis V. Brazhnicenko, candidate of economic sciences, Associate Professor of the Department of Institutional Economics and Investment Management,

