

УДК 330.45

UDC 330.45

08.00.00 Экономические науки

Economic sciences

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ «ПЛАТФОРМА»
СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ¹****RESEARCH "PLATFORM" OF SYNERGISTIC
PREDICTION**

Кумратова Альфира Менлигуловна
к.э.н., доцент, SPIN-код=2144-8802
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет» имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия

Kumratova Alfira Menligulovna
Cand.Econ.Sci., Assistant professor, SPIN-code=2144-
8802
Kuban state agrarian University named after I. T.
Trubilin, Krasnodar, Russia

Отсутствие единой исследовательской платформы и инструментальных средств для различных отраслей экономики России, позволяющих учитывать специфику объекта изучения значительно замедляет и усложняет процессы принятия решений, одновременно тем самым, снижая их эффективность, что является еще более негативным в условиях необходимости принятия быстрого решения задач по импортозамещению. Научную суть предлагаемого научного исследования можно сформулировать в виде инновационной единой исследовательской платформы, отображающей взаимосвязанные причинно-следственные компоненты систем, теоретические и практические, аналитические и экспериментальные блоки, результативной деятельностью которых являются научно обоснованные и апробированные интеллектуальные продукты для различных секторов экономики России. Постоянно изменяющаяся экономическая среда заставляет отвечать на нее идемпотентной математической и информационной парадигмой, теорией, методологией. Здесь оказывается важным выбор структуры и обоснование состава предлагаемой исследовательской экономико-математической «платформы». Необходимы новые, различающиеся, но взаимно дополняющие друг друга многокритериальные подходы, набор экономико-математических моделей, современные математические и инструментальные конструкты, мониторинг, сравнение, обобщение результатов. В статье показано, что предлагаемые к использованию инструментальные и математические методы представляют собой принципиально новую базу для прогнозирования дискретных эволюционных процессов

The lack of a unified research platform and tools for various sectors of Russian economy, allowing to take into account the specifics of the object of study, significantly slows down and complicates the decision-making processes, at the same time thereby reducing their efficiency, which is even more negative in terms of the need of quick decisions of the tasks on import substitution. Scientific essence of the proposed research can be formulated in the form of innovative unified research platform, showing the interrelated causal system components, theoretical and practical, analytical and experimental units, productive activities which are scientifically proven smart products for various sectors of the Russian economy. The constantly changing economic environment makes to answer its idempotent mathematics and information paradigm, theory, methodology. Here it is important to select the structure and rationale of the proposed research mathematical "platform". A new, different but mutually complementary multi-criteria approaches, a set of economic-mathematical models and modern mathematical and instrumental constructs, monitoring, comparison, and generalization of the results is needed. In the article it is shown that the proposed use of instrumentation and mathematical methods represent essentially new base for forecasting of discrete evolutionary processes

Ключевые слова: ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ПАМЯТЬ,
ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ, КВАЗИЦИКЛ, ФАЗОВОЕ
ПРОСТРАНСТВО, ЦИКЛОМАТИКА,
ПЛАТФОРМА

Keywords: LONG-TERM MEMORY, PHASE
ANALYSIS, PHASE SPACE, QUASICYCLE,
CYCLOMATICS, PLATFORM

Doi: 10.21515/1990-4665-132-047

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

В представленной работе предлагается на концептуальном уровне рассмотреть особенности интегрирования новых подходов, редко употребляемого в анализе и прогнозировании зернового производства математического аппарата и непривычных инструментальных конструктов для моделирования, анализа и прогнозирования социально-экономических и природных процессов, влияющих на урожайность зерновых культур на юге России.

Во временных рядах урожайности зерновых культур, воздействующие на рост растений, процессы с различными амплитудами и постоянными времени чрезвычайно сложны в сочетании. Поэтому и в аппарат моделирования динамики урожайности приходится вводить «тонкие» эффекты, поскольку переплетение многих одновременных процессов заставляет «тонко» мыслить, «тонко» представлять взаимосвязи этих природных показателей, выявляя импульсы уже не самих исследуемых динамических процессов, а их производных, нелинейности и пр. При этом приходится учитывать наличие в природной среде «долговременной памяти», фрактальной размерности, сетевого характера современных природных и социально-экономических взаимосвязей, о чём не так давно В. А. Кардаш писал в своей статье «О неизбежной смене парадигмы в экономической науке» [3]. Математические модели обязаны во времени соответственно структурно меняться, адаптироваться к смене амплитуд и времён (лагов) циклов, сопровождать эти изменения.

В связи со многими неудовлетворительными результатами построения монопрогнозов возникла идея агрегировать «прогнозирующую систему», в которой необходимым инструментом анализа и прогнозирования природных процессов стал комплекс разных, одновременно работающих, взаимоисключающих, но при этом и взаимодополняющих методов. Синергетические системы перспективны для прогнозирования одного сложного зависимого социально-экономического показателя гаммой различных подходов с последующим сравнением, усреднением, уточнением и оптимальной статистической оптимизацией результата для повышения надёжности, валидности и точности расчётов. Принято считать, что синергетическое моделирование, количественный анализ и прогнозирование относятся к

аналитике высшего уровня, по литературным источникам классических разнообразных способов прогнозирования насчитывается порядка 150.

Перечислим современные методы прогнозирования, для которых характерна особая забота о «тонкой» структуре и форме природного или социально-экономического сигнала, о его спектральном составе, обо всём том, что новые методы бережно сохраняют в сигнале и затем используют: интеллектуальные технологии анализа данных; оперативная обработка данных (OLAP-технологии); обнаружение знаний в базах данных (knowledge discovery in database – KDD); технический анализ; нейронные сети; системы рассуждений на основе аналогичных случаев (case based reasoning – CBR); нелинейные регрессионные методы; эволюционное программирование; гибридные варианты; когнитология (инженерия знаний); генетические (эволюционные) алгоритмы; адаптивные методы прогнозирования; нечёткие множества и системы в прогнозировании; сценарный подход; сплайн-прогнозирование; фрактальное прогнозирование и линейные клеточные автоматы; нейронные сети; вейвлет-анализ.

Особенности предлагаемой исследовательской «платформы» состоят в конвергенции спектра непрерывных полиформных сплайн-аппроксимационных и дискретных нелинейных фрактальных подходов.

Методы синергетического (системного или многокритериального) прогнозирования двояки. С одной стороны, это философская методология многокритериального сравнения и обобщения результатов прогнозов социально-экономических процессов зернового производства (в частности, урожайности на полях различных регионов юга России), полученных разными подходами, способами и математическими конструктами. Каждый из них находит синхронизм «вторичной» выходной реакции (урожайности) с объясняющими её возмущающими «первичными» природно-климатическими воздействиями. Именно обобщённый прогноз системно учтёт разные первопричины воздействия на урожайность путём введения в рассмотрение различных и в чём-то даже противоположных, но взаимно дополняющих методик прогнозирования, с последующим корректным сведением множества прогнозных характеристик к единому обобщённому показателю. С другой стороны, будем более узко понимать синергетическое

прогнозирование как совокупность дискретных, нелинейных, фрактальных технологий моделирования, анализа и прогнозирования ВР, демонстрирующих отказ от классической статистики и «нормального» закона. Предлагаемые методы оказываются более релевантными процессам в биологических и сельскохозяйственных системах, они приносят в прогноз урожайности полезные инновационные и обобщающие элементы, отсутствующие в классической непрерывной методологии.

Исследование показало, что поведение годовых «первичных» и «вторичных» индикаторов «сбивается» на колебания. Большинство таких циклов в прежние времена предлагалось мерить 11-летними периодами солнечной активности, цикличность урожайности зерновых (озимой пшеницы) оказывается не столь однозначной. Забегая вперёд, скажем, что она изменяется по колебаниям с другими временными периодами повторения, их формы и амплитуды становятся различными и при суперпозиции создают сложные циклические конструкции, которые перемещаются по фазовому пространству.

Поэтому становится интересным и практически полезным исследовать времена отклика или изменение длин периодов урожайности при вариативности «управляющих» или «первичных» природно-климатических факторов, каковыми можно считать инсоляцию, температуру окружающей среды и поверхности земли, осенние, зимние и весенние осадки, ранние заморозки и пр. Упор в исследовании делается на поиске амплитуд, сил и временных циклических особенностей «первичных» факторов, на поиске, обнаружении, расчёте параметров и прогнозом продолжении возникающих циклических конструкций исследуемой «вторичной» переменной, каковой в исследовании будет урожайность зерновых (озимой пшеницы). В этом направлении развёрнут поиск их связывающих императивов, постоянных времени, анализ длины «долговременной памяти» и «чистого запаздывания», инерционности или лага первичных возмущающих процессов ко вторичному показателю – урожайности.

Непрерывная «кусочная» концепция появилась как одна из основ новой исследовательской «платформы» для работы с социально-экономической динамикой. В исследовании пришлось прибегнуть к поли-

формным моделям [4]. В «кусочно-полиномиальном» подходе исходное социально-экономическое движение представляется моделью, состоящей из «кусков», последовательно и «оптимально» связанных во времени.

В качестве основы инструментария «кусочного» подхода положены известные в математике кубические сплайн-функции. Сплайн-аппарат помимо сглаживания «решётчатой» функции процесса, также, обладает таким математическим свойством как «внутренняя оптимальность» представления процесса (согласно теореме Холлидея). Сплайн сводит к минимуму кривизну всего построения, в том числе численно, графически, аналитически. Также даёт исследователю построить все производные, показывая текущее значение лага переменной, который приводит к устойчивому моделированию образования и развития циклов. Построение сплайнов даёт возможность по-новому взглянуть на эволюцию моделей социально-экономических процессов. Сплайн-подход особенно наиболее применим при малоустойчивом социально-экономическом развитии, когда спонтанно меняется структура экономического сигнала, неожиданно и резко изменяются во временном отрезке экономические «правила игры»: законы, положения, распоряжения, нормы, тарифы налогообложения, налоги, сборы, акцизы, квоты...

Фазовое пространство – вторая инновационная составляющая новой исследовательской «платформы». Раз природно-климатические факторы и урожайность описываются циклическими процессами, то необходим аппарат поиска циклов и квазициклов их динамики. Таковым аппаратом оказался фазовый анализ с фазовыми траекториями в фазовом пространстве. Фазовый портрет не только геометрически изображает сезонность и цикличность отдельных хаотических движений природных переменных и урожайности, их уход от состояний равновесия, сколько определяет «логику» повторяемости или периодичности поведения показателей системы, их зависимости от времени. Результаты непрерывного сплайнового и дискретного фрактального фазового анализа не только не противоречат друг другу, но оказываются взаимно дополнительными в системном взгляде на анализ и прогнозирование временных рядов урожайности зерновых культур.

В математике следующие понятия как «фазовое траектория», «фаза», «фазовое пространство», «фазовый портрет», «фазовая плоскость», «квазицикл» имеют общий смысл, но определяются не столь конструктивно. Фазовое пространство представляет собой множество всевозможных состояний системы в определенный момент времени. В основном состояние системы задается определенным набором значений (то есть координат в фазовом пространстве) и представляет собой область в многомерном пространстве. Каждому вероятному состоянию системы определена точка из фазового пространства. В свою очередь, каждой точке фазового пространства соответствует возможное состояние системы. Практическая сущность понятия и определения такого понятия как «фазовое пространство» заключается в том, что любое состояние системы (в том числе и сложное) определяется в этом пространстве одной единственной точкой, а развитие этой системы представляется движением точки внутри фазового пространства. Таким образом, кривая, изображаемая такими точками, называется фазовой траекторией (квазициклом) или фазовой кривой.

Особенность частного непрерывного фазового подхода состоит в комплексном представлении социально-экономической динамики на фазовой плоскости с соответствующими осями координат «показатель» и «его первая производная». При этом, фазовым портретом принято называть спроектированную на фазовой плоскости кривую, которая в свою очередь представляет собой функциональную зависимость первой производной $Y'(t)$ от некоторой непрерывной функции $Y(t)$. Здесь время t будет играть роль параметра. Отрезок прямой на фазовом портрете будет представлять собой монотонно растущую во времени прямую. При этом увеличивающаяся спираль будет свидетельствовать о росте амплитуды колебаний во времени, уменьшающаяся спираль будет соответствовать затуханию колебаний. Фазовый анализ недавно стал применяться для изучения динамики экономических показателей и экономики в целом. В свою очередь, фазовые портреты играют существенную роль в технических приложениях электроники, электротехники, физики, автоматики, а также в таких науках как математика, прикладная математика, математический анализ и т. п. [1].

Метод фазового анализа позволяет отчетливо определять циклы из экономического сигнала (и из его временного ряда) в виде «круговых» структур, что невыполнимо осуществить классическими методами.

Преимуществом замкнутых фазовых траекторий в социальной экономике является то, что они по-новому представляют периодические движения показателя, то есть циклы. Больше того, можно сказать, что они представляют обобщённые образы социально-экономического поведения объектами старшего уровня – циклами. Можно сказать, что, эти циклы описываются в науке - экономическая цикломатика [2]. Непростую «многослойную» динамику социально-экономических процессов с помощью экономической цикломатики получается декомпозировать на циклические образования, то есть циклы. Каждый цикл со своими топологическими, метрическими характеристиками играет роль некоего «кирпичика» природного и экономического мироздания, важного при новом способе построении конъюнктур.

Опираясь на эти положения теории, построены непрерывные фазовые портреты временного ряда значений урожайностей озимой пшеницы по Ставропольскому краю за период с 1870-2015 гг. (в соответствии с рисунком 1). Фазовый портрет, который строится на базе связи непрерывных процессов и их первых производных, претендует на непривычно обобщённый двумерный математический образ динамики системы.

Ранее мы упомянули о разнообразии фазовых методов и фазовых портретов в математике. Наряду с утверждениями классической экономической цикломатики о том, что «Общее решение $Y = Y(t)$, $Y' = Y'(t)$ (где Y' – первая производная) некоторых уравнений может быть представлено геометрически семейством ориентированных фазовых траекторий на фазовой плоскости OYY' », в социально-экономической синергетике часто пользуются дискретным фазовым пространством:

$$F(Z) = \{(z_{l+r}, z_{l+r+1}, \dots, z_{l+r+m})\}, l = 1, 2, \dots; r = 0, 1, 2, \dots$$

Упрощенный вариант этого оператора – упорядоченный процесс представления в декартовых координатах двумерного евклидова простран-

ства дискретной последовательности точек (z_l, z_{l+1}) , $l = 1, 2, \dots, n - 1$, где n – длина рассматриваемого временного ряда. На самом деле «синергетическая» фазовая траектория представляет собой набор (множество) точек в декартовых координатах, последовательно «переходящих друг в друга». На языке теории множеств это означает, что в двух измерениях последовательно выстраиваются кортежи длины два или пары $\langle z_1, z_2 \rangle$, $\langle z_2, z_3 \rangle$ и т.д. Так определяют «точечные отображения» или строят «решётчатые функции», при этом фазовый портрет может сочетать математическую аналитическую пользу с визуализационной наглядностью, если точки соединить отрезками кривых.

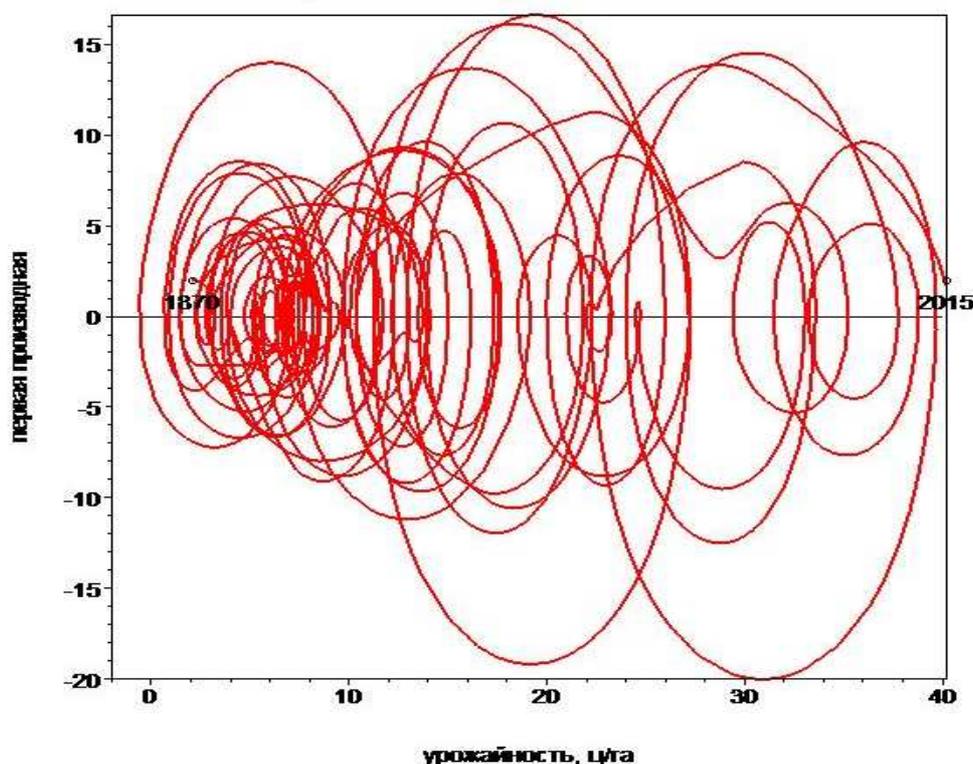


Рисунок 1 – Интегральный фазовый портрет динамики временного ряда значений урожайностей озимой пшеницы по Ставропольскому краю за период с 1870 года по 2015 год (RED). По обобщённому фазовому портрету видно, что урожайность принципиально циклична. Цикл является некоторым повторяющимся «блоком» динамики, так что достройкой нового «кругового» блока или цикла можно прогнозировать на несколько лет вперёд в отличие от прогнозирования на 1 год или от внутригодового программирования урожайности. Круговорот циклов, перемещающихся слева-направо по оси абсцисс от 2.1 до 40.2 ц/га с интегральным увеличением урожайности. Интересны несколько периодов резких подъёмов тенденции (первой производной) по оси ординат этого показателя. Мало меняется амплитуда циклов урожайности и их радиус за 146 лет. Слайн-аппроксимация. Система компьютерной математики MAPLE 19.0

Во все времена прогнозирование представляло собой одну из самых востребованных, но при этом и одну из самых сложных задач социально-экономического анализа. К сожалению, многие сотни работ бездумно использовали классическую статистику и метод наименьших квадратов и заменяли сложные циклические зависимости (в соответствии с рисунком 1) линейным трендом, так в одной из работ по циклам урожайности проведён линейный тренд с уравнением $Y = 0.2769 \cdot X - 509.04$ с $R^2 = 0.77$. Кроме того, что урожайность Y растёт со временем X , этот тренд ничего не даёт практику.

С другой стороны, в трудах известной научной школы д.ф.-м.н., профессора В.А. Перепелицы утверждается результатами фрактального анализа или, в более узком смысле, – анализа наличие «долговременной памяти» у временного ряда урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае, ему явно присущ «чёрный шум». Само значение коэффициента показателя Херста H изменяется в пределах от 0.7 до 0.9, в отдельный год $H = 0.93$, ряд оказался персистентным с вычисленной глубиной «долговременной памяти», равной 7. Многолетний опыт, накопленный для рядов с таким значением H , свидетельствует, что в них имеют место долговременные корреляции между текущими и будущими событиями. Особо отметим, что такое поведение урожайности пшеницы представляет собой типичное явление среди подавляющего большинства природных процессов и явлений [6].

Добавим к нелинейному анализу такие синергетические понятия, как скрытая периодичность, дробная фрактальная размерность, дробная квазипериодичность, наличие «долговременной памяти», «цвет шума», трендоустойчивость (персистентность) и антиперсистентность рядов, R/S показатель Херста, R/S -траектории, траектории показателя Херста и пр. Для адекватного моделирования, анализа и прогнозирования нелинейных систем оказалась нужной новая неклассическая статистика – статистика Херста, R/S -анализ, новый, отличный от классического инструментарий при получении численных оценок нелинейного временного ряда. В долговременном масштабе система, которая подчиняется статистике Херста, есть результат длинного потока взаимосвязанных событий, в котором время

оказывается важным фактором. Прогнозирование фрактальными методами становится дискретным, двухуровневым и многокритериальным [5].

Подводя итог представленного комплексного обзора предлагаемой исследовательской «платформы», следует согласиться с выводом о том, что затраты на более сложное вычисление точного прогноза нивелируются эффективным способом снижения экономического риска при более точном прогнозировании урожая озимой пшеницы и более точном программировании других показателей агропромышленного комплекса, что наглядно и последовательно шаг за шагом раскроет автор в ряде последующих статей.

Литература

1. Боташева Ф. Б. «Новая эконометрика» с её «тонкими» методами исследования экономических конъюнктур / Ф. Б. Боташева, И. Г. Винтизенко // *European Social Science Journal*. 2014. – № 10-1 (49). – С. 31-39.
2. Винтизенко И. Г. Экономическая цикломатика / И. Г. Винтизенко, В. С. Яковенко. М.: Финансы и статистика, 2008. – 428 с.
3. Кардаш В. А. О неизбежной смене парадигмы в экономической науке / В. А. Кардаш В.А. // *Terra Economicus*. 2009. – Т. 7. № 1. – С. 51-57.
4. Кулова З. К. Полиморфные модели российской макроэкономической динамики: дис. ... канд. экон. наук. Карачаево-Черкесская гос. технол. академия, Черкесск, 2010.
5. Кумратова А. М. Прогностическое исследование природно-экономического процесса / А. М. Кумратова, И. И. Василенко и др. // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]*. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №02(116). С. 1454 – 1466. – IDA [article ID]: 1161602093. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/93.pdf>
6. Перепелица В. А. Фрактальный анализ поведения природных временных рядов / В. А. Перепелица, Е. В. Попова // *Современные аспекты экономики*. 2002. – № 9 (22). – С. 185-200.

References

1. Botasheva F. B. «Novaja jekonometrika» s ejo «tonkimi» metodami issledovanija jekonomicheskikh kon#junktur / F. B. Botasheva, I. G. Vintizenko // *European Social Science Journal*. 2014. – № 10-1 (49). – S. 31-39.
2. Vintizenko I. G. Jekonomicheskaja ciklomatika / I. G. Vintizenko, V. S. Jakovenko. M.: Finansy i statistika, 2008. – 428 s.
3. Kardash V. A. O neizbezhnoj smene paradigmy v jekonomicheskoy nauke / V. A. Kardash V.A. // *Terra Economicus*. 2009. – Т. 7. № 1. – S. 51-57.
4. Kulova Z. K. Polimorfnye modeli rossijskoj makrojekonomicheskoy dinamiki: dis. ... kand. jekon. nauk. Karachaevo-Cherkesskaja gos. tehno. akademija, Cherkessk, 2010.
5. Kumratova A. M. Prognosticheskoe issledovanie prirodno-jekonomicheskogo processa / A. M. Kumratova, I. I. Vasilenko i dr. // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU)*

[Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №02(116). S. 1454 – 1466. – IDA [article ID]: 1161602093. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/93.pdf>

6. Perepelitsa V. A. Fraktal'nyj analiz povedenija prirodnyh vremennyh rjadov / V. A. Perepelitsa, E. V. Popova // *Sovremennye aspekty jekonomiki*. 2002. – № 9 (22). – S. 185-200. University [an Electronic resource]. – Krasnodar: Kubsau, 2016. – №02(116). S. 1454 – 1466. – IDA [article ID]: 1161602093. – Mode of access: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/93.pdf>

6. Perepelitsa V. A. Fractal analysis of the behavior of natural time series / V. A. Perepelitsa, E. V. Popova // *Modern aspects of the economy*. 2002. – № 9 (22). – P. 185-200.