

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

КУМРАТОВА Альфира Менлигуловна



**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
ПЛАТФОРМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ, ФИНАНСОВЫХ
И АГРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Научная специальность

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы
в экономике

Диссертация на соискание ученой степени
доктора экономических наук

Научный консультант:

доктор экономических наук, профессор

Плотников Владимир Александрович

г. Санкт-Петербург

2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Фундаментальные основы теории моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных систем экономико-математическими методами.....	21
1.1. Сложности прогнозирования волатильных процессов в контексте эффективной интеграции России в глобальную экономику	21
1.2. Вопросы применимости экономико-математических методов прогнозирования волатильных процессов.....	30
1.3. Математические образы последовательных и параллельных экономических рисков	48
1.4. Выводы	57
Глава 2. Методология прогнозирования эволюционных процессов.....	59
2.1. Методы и инструментальные средства визуализации волатильных процессов.....	59
2.2. Исследовательская платформа прогнозирования сложных процессов на базе экономико-математических методов	84
2.3. Методы нелинейной динамики в исследовании волатильных процессов (на примере данных сектора зернового производства).....	110
2.4. Выводы	135
Глава 3. Методология моделирования развития зернового производства России.....	137
3.1. Методический подход и его программная реализация для получения прогноза динамики экономических показателей.....	137
3.2. «Блочное» прогнозирование экономических показателей зернового производства	146
3.3. Среднесрочное прогнозирование на базе алгоритма линейного клеточного автомата в исследовании экономических показателей зернового производства.....	170

3.4. Двухуровневое моделирование как прогнозный инструмент принятия решений в управлении зерновым производством	178
3.5. Ранжирование макрорегионов России на базе многокритериальной оценки их экономической эффективности (на примере производства зерновых и зернобобовых культур).....	200
3.6. Выводы.....	210
Глава 4. Экономико-математические методы прогнозирования временных рядов финансового рынка	212
4.1. Аналитический инструментарий векторной оценки рисков финансового рынка	212
4.2. Метод фазового анализа в исследовании динамики элементов финансового рынка	219
4.3. Среднесрочное прогнозирование элементов финансового рынка на базе алгоритма линейного клеточного автомата и методов машинного обучения	227
4.4. Комбинированный подход применения модели ConvLSTM для прогнозирования элементов финансового рынка	244
4.5. Выводы.....	252
Глава 5. Синергетические аспекты моделирования трендов в исследовании динамики туристических потоков.....	253
5.1. Методы классической статистики в исследовании социально-экономических процессов	253
5.2. Фазовый анализ в исследовании цикличности квазициклов туристических потоков	261
5.3. Среднесрочное прогнозирование декомпозиционных временных рядов социально-экономических показателей.....	265
5.4. Концепция двухуровневого подхода к моделированию социально-экономических процессов	275
5.5. Выводы.....	284
Заключение.....	286

Список сокращений и условных обозначений	290
Список литературы.....	292
Приложения.....	347
Приложение А – Входные данные исследования	347
Приложение Б – Расчеты получения прогноза на базе алгоритма линейного клеточного автомата для временного ряда урожайности зерновых и зернобобовых культур по Волгоградской области.....	352
Приложение В – Свидетельства о регистрации программного обеспечения (авторские разработки)	355
Приложение Г – Экранные формы системы поддержки принятия решений для получения прогноза экономических показателей зернового производства	359
Приложение Д – Диаграммы классов программных реализаций	362
Приложение Е – Создание сплайна на примере временного ряда урожайности озимой пшеницы по Ставропольскому краю (фрагмент листинга)	363
Приложение Ж – Верификация и валидация прогнозной модели на базе алгоритма ЛКА (на примере временного ряда цен на платину)	365
Приложение З – Регрессионный анализ.....	385

Введение

Актуальность темы исследования. В последние годы исследователи экономических рисков и прогнозов обратились к синергетике – «нелинейной парадигме» для выявления особенностей исследования волатильных процессов. В синергетике исследователи имеют дело с кооперативным взаимодействием множества подсистем, проявляющимся как самоорганизация общей экономической системы. Главное, что утверждается в экономической синергетике – принципиально не существует такой эволюционирующей экономической системы, которая всегда находится в состоянии устойчивости.

Особенно острой стала проблема прогнозирования и тесно связанная с ней проблема оценки перспективных хозяйственных рисков в условиях турбулентности развития российской экономики, которая проявляется в последние годы. В условиях наблюдаемой турбулентности экономическая динамика становится слабо предсказуемой традиционными методами, нелинейной. Часто изменяется направленность (рост или спад) показателей.

Предлагаемые методы оказываются более релевантными процессам в социальных, финансовых и агроэкономических системах, они привносят в прогноз экономического показателя инновационные и обобщающие элементы, отсутствующие в методологии наименьших квадратов.

Основным вопросом методологии создания единого комплекса инструментов является среднесрочное прогнозирование социальных, финансовых и агроэкономических процессов. Отличие авторской платформы состоит в использовании нетрадиционного синергетического анализа и синтеза прогнозов с одновременным взаимодействием нескольких взаимодополняющих алгоритмов экономико-математических методов, что позволяет исследовать многомерную зависимость, а также строить частные прогнозы с их обобщением в один прогнозный показатель.

Исследовательская платформа призвана облегчить усилия аналитиков при поиске прогнозов в сложных, стохастических, многокритериальных системах в многомерном операционном пространстве. Отметим характерные части этого

научного направления: *первая* – системный выбор взаимодополняющих экономико-математических методов, подбор блока вычислительных алгоритмов получения прогнозного показателя отдельно выбранного сектора экономики. Многокритериальное прогнозирование предполагает конвергенцию спектра предлагаемых подходов: из кластера 1 – дискретных нелинейных фрактальных, демонстрирующих отказ от нормального закона и описываемых статистикой Хёрста, и из кластера 2 – непрерывных полиформных сплайн-аппроксимационных, признающих нормальный закон и работающих с классической статистикой; *вторая* – единая система управления процессами исследования сложных социально-экономических систем на базе итерационных и временных вычислительных манипуляций; *третья* – поиск механизмов влияния, определение в явном виде закономерностей, по которым количественно определяется роль внешних воздействий «первичных» источников (например, в зерновом производстве таковыми можно считать инсоляцию, температуру окружающей среды и поверхности земли, осадки, ранние заморозки и пр.) на «вторичный» искомый показатель (урожайность); *четвертая* – создание блока агрегирования частных прогнозов в один обобщённый прогноз синтезирующими методами (кластерный анализ, методы конкордации Кенделла); *пятая* – визуализация в новом научном направлении перестаёт быть вспомогательной инструментальной функцией. Важна философская роль визуализации в многомерных изысканиях на примере данных отдельных секторов экономики. Рисунок защищён от ошибок, содержит в себе объёмную, богатую и непротиворечивую информацию, нагляден, а инструменты визуализации представляет система компьютерной математики; *шестая* – комплекс инструментальных средств: нейронные сети, программа «Методы нелинейной динамики» и система компьютерной математики MAPLE с мощью аналитических, графических и числовых рациональных преобразований без погрешностей округления, с аппаратом сплайнов, фазовых пространств, преобразований Фурье, многомерной графикой и пр. Все перечисленное указывает на актуальность разработки качественно нового методологического подхода, обеспечивающего формирование обоснованных управленческих решений в условиях неопределенности и риска.

Степень разработанности проблемы. Значительный вклад в развитие методов анализа и прогнозирования социально-экономической динамики сложных процессов внесли зарубежные исследователи, среди которых можно отметить следующих: Т. Андерсон, И. Бернар, Дж. Бокс, Д. Бриллинджер, Л. Вальрас, Н. Винер, Р. Винн, К. Гергели, Р. М. Гудвин, Дж. Джонстон, Э. Домар, К. Доугерт, П. Л. Йейтс, Н. Калдор, Г. Кассель, Дж.М. Кейнс, М.Дж. Кендэлл, Дж. Б. Кларк, А. Клас, Ж.-К. Колли, Дж.О. Коппок, О. Ланге, Г. Ландсберг, Ф. Лион, К. Л. Макконелл, Э. Маленво, Б.Б. Мандельброт, К. Маркс, Дж. Мартино, Д. Медоуз, Р. Р. Нельсон, М. Ф. М. Осборн, Р. Отнес, В. Парето, М. Песаран, Э. Петерс, Д. Пуарье, П. Э. Самуэльсон, Т. Свон, Э.Ф. Сигэл, Р. Солоу, А. Стьюарт, Л. Слейтер, Г. Тейл, Г. Тинтнер, Дж.С. Уинтер, Е. Федер, Дж. Фишер, Л. Фишман, Дж. Форрестер, М. Фридмен, Р. Фриш, А.Дж. Фрост, Ф.А. фон Хайек, Г. Хакен, Э. Хансен, Р.Ф. Харрод, Д. Хейс, К. Холден, Й. Шумпетер, Г. Шустер, И. Шуян, Р.Н. Эллиотт и др.

Футурологические исследования отечественных научных школ известны тем, что советская экономика базировалась на плановом среднесрочном планировании и прогнозировании. Рассматривая развитие советской и российской социально-экономической системы и его теоретического осмысления, можно отметить работы Л.И. Абалкина, А.Г. Аганбегяна, С.А. Айвазяна, В.А. Базарова, И.В. Бестужева-Лады, И.С. Брука, Г.В. Гореловой, А.А. Горчакова, А.Г. Гранберга, В.В. Давниса, В.А. Долятовского, А.С. Дудова, А.С. Емельянова, И.С. Енюкова, Э.Б. Ершова, С.В. Жака, А.Н. Ильченко, В.И. Калиниченко, Л.В. Канторовича, В.А. Кардаша, Ф.Н. Клоцвог, В.В. Ковалева, Л.Н. Ковалёвой, Д.Н. Колесова, А.М. Кочкарова, С.В. Крюкова, С.П. Курдюмова, В.К. Куртовича, Г.Г. Малинецкого, В.И. Максименко, Е.Н. Мельниковой, Л.Д. Мешалкина, В.Ф. Минакова, Т.Г. Морозовой, И.А. Наталухи, В.С. Немчинова, В.В. Новожилова, А.Л. Новосёлова, Т.В. Огородниковой, И.В. Орловой, А.А. Первозванского, В.А. Плотникова, Е.В. Поповой, И.Р. Пригожина, Б.И. Рамеева, Д.Г. Родионова, А.Ф. Рогачёва, А.В. Рыженкова, Т.А. Салтановой, Н. М. Светлова, В.И. Тиняковой, Н.Х. Токаева, М.И. Туган-Барановского, Е.В. Устюжаниной, Р.А. Фатхутдинова, Н.П. Федорен-

ко, В.В. Федосеева, Г.А. Фельдмана, В.В. Халина, Г.Н. Хубаева, Г.В. Черновой, Е.М. Четыркина, С.И. Шаныгина, С.С. Шаталина, Н.Ф. Шатилова, А.Н. Ширяева и др.

Отметим, что, несмотря на обширную тематику указанных направлений научных работ в области прогнозирования и управления сложными процессами, не до конца изучены вопросы влияния финансовых, социально-экономических, аграрных и других факторов с наличием риск-экстремальных значений, что особенно важно в современных условиях хозяйствования. Перечисленные обстоятельства обусловили границы тематики диссертации и определили ее цель и задачи.

Целью диссертационной работы является разработка, научное обоснование экономико-математической исследовательской платформы среднесрочного прогнозирования социальных, финансовых и агроэкономических процессов, а также методов и моделей ее апробации и встраивания алгоритмов в инструментальные средства.

В соответствии с поставленной целью в исследовании решаются следующие **задачи**:

1) обозначить требования к инструментальным средствам для ретроспективной оценки состояния и динамики волатильных процессов в современных условиях хозяйствования;

2) предложить единую экономико-математическую исследовательскую «платформу» с теорией, синергетической методологией и новыми моделями прогнозирования волатильных экономических процессов;

3) разработать экономико-математические методы прогнозирования и выявления закономерностей поведения межгодовых колебаний риск-экстремальных факторов и обосновать императив, связывающий качество прогноза и длину «горизонта прогноза» со статистическими характеристиками прогнозируемого процесса и полученными качественными предпрогнозными характеристиками временного ряда;

4) адаптировать метод фазового анализа к моделированию и исследованию цикличности волатильных процессов, выявить синергетический эффект от исследования сложных экономических процессов в разрезе результатов триады: исходного временного ряда, ряда его приращений и агрегированных данных;

5) показать многомерные непрерывные и дискретные циклические образы динамических показателей внешней природно-климатической среды («первичные» источники) и их связь с «вторичным» показателем – урожайностью зерновых культур на базе графических построений системы компьютерной математики MAPLE 19.0;

6) оценить эффективность алгоритма линейного клеточного автомата для среднесрочного прогнозирования экономических показателей зернового производства;

7) агрегировать частные прогнозные расчёты разработанных моделей с помощью кластерного анализа, расположив глобальный прогноз в точке, находящейся на минимуме «расстояний» от локальных прогнозов. Обобщить и свести прогнозы конкордацией Кенделла в один итоговый показатель, демонстрирующий влияние на него разных по своей природе факторов;

8) обработать большие объёмы данных (Big Data) и показать эффективность метода машинного обучения – нейронной сети при обучении элементов финансового рынка;

9) исследовать издержки и риски по итогам прогнозирования экономических показателей зернового производства и туристического потока для принятия оптимальных управленческих решений на базе синергетических экономико-математических подходов.

Объектом исследования являются социально-экономические показатели малого бизнеса; агроэкономические показатели макрорегионов России; элементы финансового и товарного рынка России.

Предметом исследования выступает математический, статистический и инструментальный аппарат систем поддержки принятия управленческих решений

в разных отраслях экономики России для обеспечения интересов субъектов экономической деятельности.

Теоретико-методологической основой исследования послужили фундаментальные положения экономической теории, работы отечественных и зарубежных авторов по рассматриваемой проблеме, мировые футурологические исследования, законодательные и нормативные акты Российской Федерации по развитию АПК, программные разработки государственных органов управления, а также справочно-информационных материалов Правительства РФ (Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г.), Министерства сельского хозяйства, материалов периодической печати. Методологической основой исследования являются принципы, методы абстрагирования и агрегирования, а также междисциплинарный подход, позволяющий рассмотреть процесс прогнозирования экономических показателей зернового производства с учетом влияния на них природно-климатических факторов с риск-экстремальными значениями.

Инструментально-методический аппарат. В работе применялись методы: системного анализа, монографический, структурно-логический, экономико-статистический, математический непрерывный и дискретный, расчётно-конструктивный; программа оценки уровня развития органического земледелия «Orgfarm»; программа для построения дерева решений, анализа прогнозных и экономических данных «Способы финансирования посевных работ»; программа для моделирования нейронных сетей «Neuron»; программа оценки регионального потенциала производства зерна «ОРП»; программа управления логистическими процессами «Organic logistics», а также разработанная автором СППР: «Методы нелинейной динамики», в которой запрограммированы алгоритмы работ: линейного клеточного автомата (ЛКА), фазового анализа, R/S-анализа, расчета старшего показателя Ляпунова. Каждый из методов использовался, исходя из его функциональных возможностей, что позволило в полной мере обеспечить достоверность выводов и научных положений.

Информационно-эмпирическую базу исследования составили нормативно-правовые акты Российской Федерации, данные Федеральной службы государственной статистики (Росстата) и ее территориальных органов, Паспорта Национальных проектов РФ (Цифровая экономика, Наука и университеты, Малое и среднее предпринимательство, Туризм и индустрия гостеприимства, Экономика данных»); документы и проекты (Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, Цифровое сельское хозяйство, Постановление Правительства Российской Федерации от 11.11.2015 г. № 1218 «О порядке разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период»), Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и субъектов РФ, статистической службы ФАО, Росгидромета, региональные целевые ведомственные программы развития АПК, сельского хозяйства и зернового производства, материалы монографических исследований отечественных и зарубежных ученых и периодических изданий, справочные материалы, аналитические сведения научно-исследовательских учреждений России и личные наблюдения автора.

Степень достоверности и обоснованность полученных результатов подтверждаются корректным применением апробированных методов научного исследования, адекватностью выбора теоретико-методологических подходов, опорой при проведении исследования на официальные источники информации, репрезентативной информационной базой исследования, качественным совпадением и согласованностью полученных результатов с данными, полученными из открытых источников.

Область исследования. Исследование выполнено в соответствии с пунктами Паспорта специальности 5.2.2 «Математические, статистические и инструментальные методы в экономике»:

2. Типы и виды экономико-математических и эконометрических моделей, методология их использования для анализа экономических процессов, объектов и систем (результаты 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9);

18. Компьютерные методы и программы моделирования экономических процессов (результаты 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Научная новизна диссертационной работы и полученных результатов в целом заключается в разработке единого комплекса экономико-математических методов и инструментов моделирования стохастических процессов в экономических системах с учетом влияния на них факторов с риск-экстремальными значениями, а также в получении числовых результатов исследования.

Основные положения, полученные лично автором, обладающие научной новизной и выносимые на защиту:

1. Оценена эффективность разработанного инструментария для визуализации динамики показателей и анализа волатильных экономических процессов, объектов и систем, отличительной особенностью представленного инструментального средства является анализ и визуализация структурированных данных одновременно в трех плоскостях: временной, территориальной и по выбранному показателю, что позволяет более полно учитывать специфику исследуемой предметной области в условиях изменения глобальных трендов и тенденций.

2. Разработан комплекс экономико-математических методов и инструментов прогнозирования экономических процессов, учитывающих рост волатильности, цикличности и неустойчивости влияющих на них внешних факторов. Отличие авторского подхода состоит в комбинированном использовании нескольких взаимодополняющих алгоритмов различных типов, что позволяет ситуативно (с учетом конкретного набора факторов) строить частные прогнозы с их обобщением в один прогнозный показатель.

3. Разработан методический подход и его программная реализация для получения прогноза динамики экономических показателей, особенность которого состоит в комплексном использовании алгоритмов и методов нелинейной динамики, что позволило синхронизировать прогнозные характеристики, полученные

в ходе проведения предпрогнозного анализа агроэкономических процессов, а также обосновать рекомендуемую глубину памяти для алгоритма линейного клеточного автомата.

4. Разработан инструментарий на базе алгоритма фазового анализа для исследования и выявления свойств цикличности волатильных процессов, особенностью которого состоит в параллельном исследовании триады: исходного временного ряда, ряда его приращений и агрегированных данных экономического процесса, что позволяет выявить синергетический эффект от исследования сложных экономических процессов.

5. Разработаны сплайн-модели для совместного описания цикличности внешних природно-климатических показателей (солнечная активность, количество осадков, температура окружающей среды) и урожайности пшеницы, апробация которых позволила построить непрерывные полиформные кусочно-аппроксимационные модели, отличающиеся от известных в литературе мономоделей и моделей на основе метода наименьших квадратов аналитичностью и приспособленностью для широкого круга процессов с изменяющейся структурой.

6. Реализованы различные подходы раскраски временного ряда для алгоритма линейного клеточного автомата (ЛКА), применяемого в прогнозировании сложных процессов: «малых» выборок; больших данных; для временных рядов, эмпирическая функция распределения которых не подчиняется закону Гаусса. Отличительной особенностью метода ЛКА является возможность составления среднесрочного прогноза (свыше 1 года), за счет нахождения глубины памяти временного ряда, что позволяет выявить новые полезные прогнозные характеристики с точки зрения методологии исследования: глубина долговременной памяти; прогноз в числовом выражении и в виде терма (Н – низкое, С – среднее, В – высокое значение), среднесрочный прогноз в рамках «лага» глубины памяти.

7. Оценена согласованность полученных прогнозных характеристик внешних факторов с прогнозными характеристиками экономических показателей с использованием коэффициента конкордации Кендалла, что позволило сформировать кластер локальных прогнозов и количественно оценить достоверность результа-

тов применения предложенной концепции для прогнозирования значений экономических показателей.

8. Оценена эффективность метода машинного обучения – нейронной сети при обучении временного ряда цен на пшеницу, использован комбинированный подход применения модели ConvLSTM для прогнозирования сложных процессов с двумя сверточными нейронными сетями, а также двумя LSTM слоями (рекуррентные нейронные сети и сети с долгой кратковременной памятью).

9. Адаптирована многоуровневая модель снижения предпринимательского риска в зерновом производстве с учетом прогнозов риск-экстремальных факторов и предложена ее программная реализация, включающая получение прогноза на базе алгоритма линейного клеточного автомата и разработку «дерева решений». Отличительной особенностью разработанного инструментария для руководителя хозяйствующего субъекта (зернопроизводитель, отельер) является возможность маневрирования материальными ресурсами (выбор времени продаж зерновой продукции / номерного фонда в условиях неопределенности и риска), что позволяет показать различные сценарии реализации зерновой продукции (номерного фонда) через различные каналы продаж (опт, перерабатывающие организации, физические лица, а также хранение в зернохранилище / системам онлайн бронирования ОТА), где в качестве входной информации использованы полученные прогнозы. Показано, как точность результатов прогнозов на нижнем уровне влияет на итоговый результат принятия решений в моделях верхнего уровня и снижения предпринимательского риска.

Теоретическая значимость результатов исследования определяется разработкой методологии создания единого комплекса инструментов с уточнением теоретических и методологических способов прогнозирования экономических показателей, в том числе прогнозирования показателей для различных сфер экономики (зерновое производство, туризм, финансовые потоки). При этом учитывается нелинейность и фрактальность показателей, а также многообразие внешних факторов, влияющих на процессы в различных сферах экономики. Авторские разработки вносят вклад в науку в части развития инструментария экономико-

математического моделирования и методологии его использования для анализа экономических процессов, объектов и систем, в том числе с использованием компьютерных программ.

Практическая значимость работы заключается в обосновании комплекса прикладных рекомендаций по совершенствованию процедур моделирования и прогнозирования социально-экономических процессов. Предложенные практико-ориентированные методы, алгоритмы и технологии могут быть применены органами государственного и муниципального управления при разработке плановых и прогнозных документов, связанных с регулированием развития соответствующих секторов экономики (туризм, сельское хозяйство и др.), руководителями отраслевых компаний для повышения эффективности оперативного и стратегического управления их развитием и функционированием в условиях неопределенности. Практическое значение также имеют авторские разработки программного обеспечения поддержки принятия решений в сфере АПК, подтвержденные свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Практическое значение имеют авторские разработки программного обеспечения поддержки принятия решений в сфере АПК, подтвержденные свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ:

- программная реализация СППР «Методы нелинейной динамики», созданная для принятия решений при определении прогноза динамики социально-экономических процессов;

- методика определения и обучения линейного клеточного автомата на основе экономико-математического инструментария интеллектуальной поддержки принятия решений;

- программная реализация СППР «Способы финансирования посевных работ», предназначенная для построения дерева решений, анализа прогнозных и экономических данных, помощи в выборе стратегии действий в управленческих задачах в зерновом производстве;

- программа оценки уровня развития органического земледелия "ORGFARM", предназначенная для анализа и визуализации структурированных данных по производству продукции органического земледелия;
- программа для проведения предпрогнозного анализа временных рядов урожайности зерновых культур;
- программа «Organic logistics» для фирм по доставке продукции, которая способствует полной автоматизации основных бизнес-процессов по учету товаров, доставке продукции, контролю выходной документации по запросам пользователей системы и снижению предпринимательского риска;
- программа «ОРП» для ранжирования хозяйствующих субъектов по степени убывания риска, реализующая алгоритм обобщенного решающего правила прямых методов принятия решений (на примере оценки потенциала ресурсобеспеченности макрорегионов России по производству зерна).

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования, выводы и предложения апробированы в научных публикациях и материалах более 30 международных, всероссийских научно-практических конференций Российской Федерации, Узбекистана, Швейцарии, Великобритании, Португалии, в городах (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Красноярск, Воронеж, Барнаул, Орел, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Краснодар, Волгоград, Нальчик, Невинномысск), в том числе: «Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты» (Брянск, 2023), «Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования» (Краснодар, 2023), «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии» (Краснодар, 2023), «Опыт и проблемы реформирования системы менеджмента на современном предприятии: тактика и стратегия» (Пенза 2023), «Цифровые технологии в аграрном образовании: Сборник статей по материалам учебно-методической конференции» (Краснодар, 2022), «Проблемы управления, экономики и права в общегосударственном и региональном масштабах» (Пенза, 2022), «Мировые тенденции развития науки и техники: пути совершенствования» (Москва, 2022), «Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций» (Пенза, 2022), «Агропромышлен-

ный комплекс: состояние, проблемы, перспективы» (Пенза, 2022), «Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию КубГАУ (Краснодар, 2022), а также на ежегодных научно-практических и учебно-методических конференциях Кубанского ГАУ «Научное обеспечение АПК» (2016-2023), «Социально-экономическое развитие сельских территорий: тренды кооперации» (Новосибирск, 2021); «Экономика XXI века» (Новосибирск, 2021), «Трансфер знаний. Технологии будущего» (Ростов-на-Дону, 2021), «Earth and Environmental Science» (Волгоград, 2021), «AGRITECH V–2021: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies» (Красноярск, 2021); «International Scientific and Practical Conference on Current research in the field of environment, Sustainability and Socio-economic Development» (Барнаул, 2021), «Год науки и технологий 2021» (Краснодар, 2021), «Информационное общество: современное состояние и перспективы развития» (Краснодар, 2014-2023), «Цифровая трансформация науки и образования» (Нальчик, 2020), «Россия, Европа, Азия: цифровизация глобального пространства» (Ставрополь, 2019), «Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты» (Краснодар, 2019-2023), «Поиск новой модели социально-экономического развития в условиях глобальных и локальных трансформаций» (Москва, 2018); «Глобализация и интеграция традиционной и инновационной науки в современном мире» (Санкт-Петербург, 2016); «Современные концепции научных исследований» (Москва, 2015), «Актуальные проблемы социально-экономических исследований» (Махачкала, 2014), «Экономическое прогнозирование: модели и методы» (Воронеж, 2009-2018), на Межрегиональных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов (Ростов-на-Дону, 2007-2008); «Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы» (Воронеж, 2006-2017); «Современные методы физико-математических наук» (Орел, 2006); «Новые технологии в управлении, бизнесе и праве – НТ+УБП'2005» (Невинномысск, 2005).

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований: № 17-06-00354 «Инструментальные средства и математические модели многокритериального синергетического прогнозирования природ-

но-экономических процессов» под научным руководством соискателя; № 16-06-00158 «Модели и методы нелинейной динамики прогнозирования развития финансового рынка»; № 19-010-00134 «Экономико-математическое моделирование туристической и рекреационной деятельности»; № 19-010-00415 «Исследование деятельности страховых компаний методами нелинейной динамики». Отдельные разделы работы выполнены в рамках реализации проектов: НИР ИЭОПП СО РАН в проекте «Движущие силы и механизмы развития кооперационных и интеграционных процессов в экономике Сибири», № 121040100279-5; Грант Минобрнауки РФ, проект № 13.1902.21.0016 «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий»; Грант Президента Российской Федерации «Транспортно-логистическая инфраструктура Юга Сибири в условиях экспортной экспансии российского зерна» № МК-5244.2021.2.

Публикации. Основное содержание исследования изложено в **62** научных публикациях, в т.ч. **12** монографиях, **8** статьях в изданиях, индексируемых в Web of Science, **4** статьях в изданиях, индексируемых в Scopus, **38** статьях в научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для публикации результатов диссертационных исследований, а также в статьях, сборниках научных трудов, тезисах докладов и выступлений, общим объемом 103,15 п.л., в том числе авторских – 71,8 п.л. По результатам исследования получено **9** свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад. Все положения, выносимые на защиту, изложенные в диссертации, принадлежат лично автору. В работах, выполненных совместно (в соавторстве), автор принимал непосредственное участие в определении направления исследования, в выборе методов и оценке качества полученных результатов анализа.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа изложена на 385 листах компьютерного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 492 наименования.

Во **введении** определяется постановка работы, особенности объектов исследования, обоснование разработки авторской исследовательской платформы. Для исследования многомерной зависимости, а также для построения частных прогнозов с их обобщением в один прогнозный показатель привлекается синергетический комплекс («платформа») математических и инструментальных средств, параллельно работающих с принципиально различающимися, но взаимно дополняющими разделами математического знания (непрерывные кусочно-полиномиальные и дискретные фрактальные методы).

В **первой главе** описаны фундаментальные основы теории моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных систем экономико-математическими методами в контексте эффективной интеграции России в глобальную экономику, структурированы проблемы изучения стохастических процессов с учетом сетевого характера и цикличности современной экономики. Представлен ретроспективный анализ зернового производства России в условиях риска и неопределенности.

Во **второй главе** рассматриваются особенности новых подходов в анализе и прогнозировании математического аппарата и непривычных инструментальных конструктов для моделирования, анализа и прогнозирования волатильных экономических процессов. Разработана платформа на базе синергетической методологии, с возможностью использования методов нелинейной динамики, позволяющих учитывать циклическую сущность исследуемого экономического показателя.

В **третьей главе** представлена апробация авторской исследовательской платформы в исследовании экономических показателей зернового производства. Представлены фрактальные методы прогнозирования временных рядов урожайности, основное внимание уделяется теории и практике моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных экономических систем методами нелинейной динамики. Исследуются вопросы обобщения частных прогнозов методом конкордации Кенделла. Приводятся результаты вычисления длины «горизонта прогноза» от статистических свойств изучаемого процесса, во-первых, предполагается существование прогнозирующей системы со многими алгоритмами прогнозирова-

ния и ими вычисленные значения частных прогнозов, во-вторых, потребностью генерировать значение обобщённого прогноза.

В четвертой главе представлена реализация исследовательской платформы для отдельных элементов финансового рынка России. Показана работа метода машинного обучения – нейронной сети при прогнозировании временных рядов финансового рынка. В качестве модели для прогнозирования исследуемых временных рядов используется ConvLSTM модель с двумя сверточными нейронными сетями (CNN) и двумя LSTM слоями (рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети с долговременной кратковременной памятью).

В пятой главе представлена апробация исследовательской платформы в исследовании туристического потока. Представлена задача анализа издержек и рисков при принятии управленческих решений. Утверждается, что в новых условиях коренного реформирования хозяйствования, изменения организационно-правовых форм организаций, развития рыночных отношений, сфера туризма – типичная рискованная сфера деятельности, поэтому проблема устойчивости туристического потока становится одной из наиболее дискутируемых тем. Устойчивость важна для длительного комплексного развития сферы туризма, определяя надёжность и экономическую безопасность отечественного туризма в условиях риска и неопределённости.

В заключении даны обобщающие выводы по работе, рекомендации по применению результатов и обозначены направления дальнейших исследований.

Глава 1. Фундаментальные основы теории моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных систем экономико-математическими методами

1.1. Сложности прогнозирования волатильных процессов в контексте эффективной интеграции России в глобальную экономику

В последние годы исследователи экономических рисков и прогнозов обратились к синергетике – «нелинейной парадигме» для выявления особенностей исследования волатильных процессов. Отдельно отметим, что в синергетике исследователи имеют дело с кооперативным взаимодействием множества подсистем, проявляющимся как самоорганизация общей экономической системы. Реализовать принципы нелинейной парадигмы в процессе моделирования, анализа и прогнозирования исследователям удаётся благодаря использованию методов нелинейной динамики – это фрактальный анализ, фазовый анализ, искусственные нейронные сети, нечёткие системы и генетические алгоритмы. Главное, что утверждается в экономической синергетике – принципиально не существует такой эволюционирующей экономической системы, которая всегда находится в состоянии устойчивости.

Наиболее привлекательным в экономической синергетике является отдельный вывод о том, что во временных рядах значений показателей различных сфер экономики (зерновое производство, сфера туризма, финансовые потоки) можно вычислить перечисленные выше фундаментальные свойства эволюционных нелинейных экономических систем и процессов. Детальный анализ временных рядов значений урожайностей основных сельскохозяйственных культур, которые выращиваются в зоне рискованного земледелия, показывает слабую адекватность этих моделей классическим корреляционно-регрессионным моделям. Именно для сельского хозяйства синергетическое понятие «долговременной памяти» проще и нагляднее всего может быть интерпретировано и объяснено, там оно «более, чем очевидно». Само по себе обнаружение «долговременной памяти» и её «длины» в рядах урожайности интересно, оно показывает, как долго от года к году сохраня-

ется воздействие на урожайность, например, одноразового внесения удобрения определённого типа. Биологам известно сохранение истории солнечной активности в семенах растений за много лет назад, что потом «как бы вдруг» появится в урожае нового года. Именно такие ряды, обладающие эффектом «долговременной памяти», в синергетике принято называть персистентными или трендоустойчивыми. Предложено решение основной *проблемы* математического моделирования механизмов предвидения и прогнозирования в современных социально-экономических условиях с учетом специфики особенностей волатильных временных рядов данных, а именно, наличия в этих рядах редких риск-экстремальных значений (событий) и в некоторых случаях с ограниченными данными в виде малых выборок. На практике возникают определенные сложности при исследовании стохастических процессов: короткие ряды, многокритериальный характер социально-экономических процессов, нелинейность динамики, нечеткие данные, интервальность как входных, так и выходных данных, влияющие на валидность и точность результатов.

Предложенная авторская исследовательская платформа прогнозирования волатильных процессов базируется на *синергетической методологии*, которая включает системную комбинацию математических методов, задача которых – моделировать многокритериальность объективного влияния внешней среды (риск-экстремальных факторов) на показатели экономики (урожайность сельскохозяйственных культур, туристические потоки, элементы финансового рынка и пр.). Синергетическая методология – это философская методология многокритериального получения, сравнения и обобщения результатов анализа и прогноза социально-экономических процессов, полученных разными подходами, способами и математическими конструктами. Поиски процессов синергетического объединения элементов теории, декомпозиции системы на частные решения и агрегирование их результатов в науке идут непрерывно. Они определяются императивами, называемыми «механизмами сборки».

На эволюцию экономической системы оказывают внутренние и внешние факторы. Сложность внешних (нестабильных) связей и противоречивость внут-

ренных связей (действий субъектов) экономической системы создают тот перманентный хаотический характер, в котором изначально пребывает система.

Раз экономические, финансовые и банковские процессы становятся волатильными, турбулентными, быстрыми и стохастичными, повышая рискованность активов, проектов, операций, явлений, событий, процессов, то все перечисленное можно соотнести к трудностям прогнозирования динамики экономического сигнала (процесса). В экономике институциональная неопределенность и сетевая структура отношений порождает многообразность и нечеткость финансово-экономических процессов [123].

Особенно острой стала проблема прогнозирования и тесно связанная с ней проблема оценки перспективных хозяйственных рисков в условиях турбулентности развития российской экономики, которая проявляется в последние годы. В условиях наблюдаемой турбулентности экономическая динамика становится слабо предсказуемой традиционными методами, нелинейной. Часто изменяется направленность (рост или спад) показателей. Сложные экономические процессы характеризуются как дискретные, волатильные и слабо структурированные. Причем, при прохождении определенных риск-экстремальных значений экзогенных или эндогенных факторов в экономической системе проявляются «событийные составляющие» [38, 42, 60, 123, 193, 248, 260, 269]. В перечисленных случаях необходимо предвидеть появление риск-экстремумов, определять возникающие при этом риски и рискованность последующей эволюции.

Развитие нынешней экономики в рыночных условиях, сложная архитектура мирового рынка принуждает отвечать на изменения и стремительную динамику релевантной философской, понятийной, экономико-математической исследовательской и эмпирической «платформой» или научной парадигмой с более сложными и интеллектуальными подходами, новыми математическими конструктами и профессиональным инструментарием. В связи с вышесказанным для достижения обозначенной цели работы и задач, обоснования выбора направления диссертационного исследования, постановки этапов и решений необходимо напрямую связаться с такой «платформой» и в этой увязке окончательно опреде-

лить спектр и математический конструкт, и применяемых инструментальных средств. Стало необходимым «тонко» представлять экономические и финансовые процессы, «тонко» мыслить, выявляя резкие реверсы спадов и подъемов не самих исследуемых показателей, а их вычисленных производных, учитывая сетевой характер экономических процессов [38, 42, 60, 123, 193, 248].

Предложенная платформа включает следующий набор инструментов:

- Программа «Методы нелинейной динамики», включает следующие модули: Статистические показатели, R/S-анализ, фазовый анализ, показатель Ляпунова, линейный клеточный автомат;
- СКМ MAPLE (построение сплайн-моделей);
- Программа «Neuron» (построение нейронных сетей).

Тема настоящего исследования требует некоторых начальных пояснений. Риски различного характера сопровождают человечество с испокон веков, неизменна их институциональная природа, меняется лишь реальное содержание. Можно насчитать примерно 100 лет, как сложилась философия риска. Известно, что деятельность человека всегда связана с риском. Он может быть меньшим или большим, но количественно степень риска никогда не может оказаться равной нулю, говорят, что «избежать риска невозможно». На суть риска в целом существуют два противоположных мнения. Во-первых, риск проявляется в виде вероятной опасности материально-ценного или иного ущерба, которые наступают при осуществлении определенного решения. Во-вторых, риск ассоциируется с предполагаемой неожиданной удачей, положительным исходом.

Количественные оценки принимаемых решений в рискологии должны получить явную размерность стоимости и основываться на математических и даже аналитических преобразованиях и оценках, что весьма актуально для современной экономической архитектоники, где стремление всем объектам исследования придать унифицированные размерности и количественные эквиваленты стало доминантным. В связи с появлением и развитием в последнее время финансовой, страховой, актуарной математики, финансовой инженерии, а также достигнутые успехи перечисленных разделов приводят нас к выводу о том, что математическое

и инструментальное обеспечение становится одним из главенствующих факторов в финансовой теории и практике, в теории риска.

Следует обосновать способы для работы с рисками, обнаружить и привлечь для поиска, исследования, количественного стоимостного расчёта рисков нетрадиционные для экономики математические конструкции и инструменты.

Помогает этому развитие в таких областях, как теория вероятности, математическая статистика, системы компьютерной математики, системный анализ, прикладная и дискретная математики, методы оптимизации, «новая эконометрика», прогностика, экономическая цикломатика, синергетика, теория фракталов и хаоса, теория функций, методы машинного обучения и казигенетических алгоритмов.

Введение в научный оборот, получение и расчёт количественных стоимостей рисков само по себе не ново, дилемма «стоимость – риск» с давних пор волнует исследователей. Тем не менее, литературный обзор состояния методов числовой оценки теоретических рисков до сих пор показывает слабый интерес современных рискологов к многомерным стоимостям рисков, к многокритериальности их расчётов. Риски всё ещё не имеют направления и соответствующих векторных эквивалентов, хотя в рискологии появились «чистые риски», всегда приносящие убытки системе, и «спекулятивные» или «позитивные» риски, которые в случаях биржевых спекуляций или венчурных проектов приносят прибыль. Поэтому поиск стохастических экономических категорий в виде диадической последовательной или многомерной параллельной векторной конструкции «стоимость актива – риск» в квазикомплексном двумерном или четырёхмерном клиффордовом пространстве представляет новую научную задачу.

При исследованиях риск «запаковывается» в некоторую экономико-математическую модель, представляется в виде конструкции, отображающей основные особенности реальности, с которой далее работает исследователь, проверяя её на повседневной эмпирике [124]. Результаты действия, рассчитываемого «сегодня» риска проявляются в экономической системе «потом», в будущем, тесно увязывая рискологию с футурологией. В последнее время приветствуются аналитические модели для прогнозирования рискованности экономического поведения

ния, поскольку они помогают менеджеру представить и рассчитать тенденции процесса и принять заблаговременно меры по минимизации рисков. При получении прогноза экономического поведения, аналитическая модель должна описать тенденции, количественные оценки состояния экономической системы и возможные изменения в горизонте прогноза. Это опять же возможно только при помощи математических и инструментальных средств реализации.

Многие авторы работ по рискологии, по сути, признают, что: «До сегодняшнего времени общепринятой трактовки экономического преломления понятия «риск» не выработано» [355]. Аналогичная фраза: «Есть основания утверждать, что теория риска находится ещё на стадии становления, она полна широким перечнем проблемных, методологически нерешённых вопросов» [292]. Тем не менее, будем оптимистично считать, что *RISK* остаётся величиной, как понести убытки, так и принести выигрыш, как упустить выгоду, так и получить поддающийся измерению профит через вероятность или волатильность переменной.

В связи с повсеместным распространением рисков, ростом частоты их появления, их амплитуд, тяжести последствий, их мультиплицируемости с перемещением рисков по логистическим цепочкам проектов в современной экономике в первый ряд разделов экономического знания выходит новая наука – «экономическая рискология» – как часть «кризисологии» или теории кризисов [473]. Задачи рискологии состоят в выявлении сущности и характеристики типов рисков в экономических приложениях, в переходе от одиночных рисков к множеству одновременно действующих рисков, в выявлении их локальных взаимодействий с расчётом обобщённых или глобальных рисков на выходе системы, в совершенствовании методологии управления рисками через предпрогнозные подходы и предпрогнозную информацию (научные школы В. А. Перепелицы и Е. В. Поповой [249, 269]), в поиске способов минимизации воздействия рисков в рамках направления «риск-менеджмент» и многое другое.

Существует ряд значительных проблем в классической рискологии. Само понятие «риск» является весьма универсальным, существует значительное количество классификаций, но также остается открытым вопрос измерения количе-

ственной характеристики величины риска. Оказывается удобным и относительно простым списание на риски любой причины собственных недоработок управленца или экономиста, оправдание недостатков объективным существованием рисков разного рода, с которыми развиваются экономические системы на различных стадиях своего роста.

Предложенные способы многомерного комплексного представления, моделирования и расчёта рисков могут оказаться востребованными переходными экономикami типа российской. При государственном вмешательстве в экономику работа на рынке обнаруживает на отдельных временных интервалах перманентные, нестабильные, стохастичные, значимые изменения внешних факторов.

Согласно [298], можно также добавить, что в сложившихся условиях всемирного финансового кризиса, в экономики государств начинаются экзогенные «вмешательства», в том числе экономически развитые страны. Последнее провоцирует весьма существенные макроэкономические изменения и возмущения, так что с ещё большей степенью уверенности экономики всех стран мира можно называть «переходными» с перманентно растущими, перемещающимися и размножающимися рисками.

В этой связи стоит рассмотреть особенности рисков российской экономики. К сожалению, непредвиденный путь российских реформ, сложности формирования смешанной экономики, возможная угроза повтора очередных финансовых крахов по прототипу 17 августа 1998 г., кризисов 2008-2009 гг. и 2014-2015 гг. вынуждают большинство участников российского рынка, в том числе инвесторов, на «кратковременное» предпринимательство и на получение мгновенной прибыли в ущерб разработке сколько-нибудь долгосрочной дорожной карты. Российские предприниматели не очень стремятся к фирменной добавке в своё название: «*Since 1993*» или «Основано в 1880», например.

Хотя рискология достаточно молода, число работ по оценкам теоретических рисков быстро увеличивается. Полученные результаты связаны, прежде всего, с распознаванием, классификацией, структурированием как качественного, так и количественного представления риска. Тем не менее, существуют новые способы

и подходы, позволяющие вычислить риск, определить его размерность, величину стоимости, дать понимание динамики работы экономических рисков и их практической реализации. Аналитическое представление, многокритериальность, численное и графическое представление, реализуемое в диадическом и четырёхмерном векторном клиффордовом пространстве, обеспечивает реализацию конкретных идей новой рискологической парадигмы или научно-технологической исследовательской платформы.

Особенность настоящего исследования состоит в компромиссном объединении, казалось бы, противоречивых изначально, полиформных методов сплайн-технологий и дискретных нелинейных фрактальных методов.

Методы прогнозирования: и системные, и многокритериальные обладают двойственной природой. Во-первых, полученные разными подходами, способами и инструментальными средствами прогнозы социально-экономических процессов – это фактически философская методология векторного сравнения и обобщения полученных решений. Причем, «первичными» являются сами природно-климатические воздействия, а, соответственно, «вторичные» выходные данные (урожайности) синхронизируются с первичными. Обобщённый прогноз должен системно учитывать все разнообразие воздействующих факторов используя взаимно-дополняющие методы и подходы к прогнозированию. Далее, полученное множество прогнозных характеристик необходимо привести к единому показателю. Во-вторых, предлагаемые методы исследования природно-экономических и агропромышленных систем являются инновационными и обобщают полученные результаты в рамках многокритериального прогнозирования.

Проведенное исследование показало, что цикличность урожайности озимой пшеницы не является однозначной и ее измерение 11-летними циклами солнечной активности является не столь адекватным. Этот факт подтверждается исследованием как «первичных» (управляющих), так и «вторичных» (управляемых) индикаторов и имеют изменчивые колебания. опережая события, можно сказать, что солнечная активность изменчива по колебаниям с другими временными отрезками: повторения, размахи, разнообразные амплитуды создают сложные цикличе-

ские колебания и наблюдаются на фазовой траектории. В качестве «первичных» индикаторов в процессах исследования урожайности зерновых культур выступает вариативность природно-климатических факторов: солнечная активность, метеофакторы. Вариативный размер управляющих факторов определяет изменение «вторичной» (управляемой) переменной, в случае урожайности озимой пшеницы. Таким образом, определение амплитуды циклических колебаний «первичных» факторов является искомой величиной. Для работы с волатильными экономическими временными рядами создана авторская исследовательская платформа [189] на базе непрерывно-кусочной концепции. Утверждается, что невозможно с помощью одного только лишь выделенного класса аппроксимирующих функций фиксированного типа («мономодель») однозначно моделировать, давать оценку, визуализировать циклы и выдавать прогноз структурно-изменяющееся во времени социально-экономических и природных процессов, т.е. быть ему идемпотентным. В исследовании пришлось прибегнуть к полиформным моделям (в данном случае под морфизмом следует понимать свойство формы). В настоящем исследовании кубические сплайн-функции выступают в качестве основного инструмента «кусочного» подхода. Согласно теореме Холлидея функция сплайна минимизирует кривизну функции процесса, а производные определяют значение лага переменной. Последнее позволило исследовать эволюцию сложных природно-экономических процессов и систем. Сплайн-подход особенно полезен, когда при неустойчивом социально-экономическом развитии резко изменяется структура экономического сигнала, хаотично и с большим размахом варьируются во времени такие экономические императивы: ставки рефинансирования и налогообложения, тарифы, акцизы, квоты и т. д.

Конкордация Кендалла или коэффициент множественной ранговой корреляции позволил проанализировать взаимосвязи результатов прогнозов, полученных на базе методов нелинейной динамики. На первоначальных этапах задач анализа и прогнозирования возникает необходимость обоснования гипотез о наличии или отсутствии факторных взаимосвязей для изучаемых временных рядов или гипотез о наличии однотипных кластеров. Коэффициент конкордации Кендалла

применяется для определения согласованности мнений экспертов по нескольким факторам:

$$W = \frac{12 \cdot P}{s^2 \cdot (t^3 - t)} \quad (1.1)$$

где t - количество объектов;

s - количество экспертов;

P – сумма квадратов отклонений от средней величины P_{ij} .

Процесс нормировки данных облегчает восприятие информации, а очень часто просто дает возможность в полном объеме использовать методы обработки информации, которая в изначальном виде являлась непригодной для применения этих методов. В качестве коэффициента нормировки обычно используется значение, равное 12, в нашем случае в числителе так, чтобы показатель коэффициента Кендалла (К) изменялся в пределах от 0 до 1:

- $K < 0.2-0.4$ – согласованность прогнозных значений в данном случае считается слабой;

- $K > 0.6-0.8$ – согласованность прогнозов тесная.

Вычисленный в работе коэффициент $K = 0,7$ (на примере данных сектора зернового производства) говорит о сильной согласованности полученных частных прогнозов на базе методов нелинейной динамики.

Оценка явлений и вариантов принятия решения, проведенная группой экспертов, называется экспертизой. Фактически, в качестве измерительного инструмента выступает человек (лицо, принимающее решение) со своей субъективной доминантой. Таким образом, обобщенный прогноз выражается суммарным количественным коэффициентом, частично состоящим из субъективных доминант.

1.2. Вопросы применимости экономико-математических методов прогнозирования волатильных процессов

Проблематика методов анализа и прогнозирования сложных экономических процессов отражена в работах зарубежных учёных таких, как: Т. Андерсон, Р. Винн, Э. Маленво, Дж. Джонстон, Дж. М. Кейнс, М. Дж. Кендэлл,

К. Л. Макконнелл, Б. Б. Мандельброт, М. Осборн, Э. Петерс, Д. Пуарье, П. Э. Самуэльсон, Э. Ф. Сигэл, А. Стьюарт, Г. Тейл, Г. Тинтнер, Е. Федер, А. Дж. Фрост, Г. Хакен, Р. Ф. Харрод, К. Холден, Г. Шустер, И. Шуян, Р. Н. Эллиотт. Развитию теории динамических процессов в экономике посвящены труды ученых: Н. Винера, В. В. Леонтьева, И. Бернара, П. Л. Йейтса, Л. Слейтера, Дж. Фишера, Л. Фишмана, Д. Хейса, А. Хоскинга, Э. Янча, Ж.-К. Колли, Дж. О. Коппока, Г. Ландсберга, Ф. Лиона, Дж. Мартино, Р. Отнеса, М. Песарана.

Футурологические исследования отечественных научных школ известны давно. По своему определению социалистическая экономика, являясь директивно-плановой, безусловно предполагая возможность расчёта, системного анализа, общеотраслевого балансирования, прогнозирования экономического будущего динамики государства на среднесрочный прогноз. Прогнозирование необходимо было реализовывать в планах от 5 до 7 лет. Для указанных сроков получены научные результаты в работах известных отечественных учёных, таких как: Л. И. Абалкин, А. Г. Аганбегян, С. А. Айвазян, Г. В. Горелова, В. В. Давнис, А. Т. Стадник, А. С. Дудов, С. В. Жак, А. Н. Ильченко, В. И. Калиниченко, Л. В. Канторович, В. А. Кардаш, С. В. Крюков, И. А. Наталуха, В. С. Немчинов, А. Н. Ширяев, В. В. Новожилов, Т. В. Огородникова, А. А. Первозванский, А. Ф. Рогачёв, А. В. Рыженков, В. И. Тинякова, Н. Х. Токаев, Н. П. Федоренко, Г. Н. Хубаев, Е. М. Четыркин, С. С. Шаталин, С. П. Курдюмов, В. И. Максименко, Г. Г. Малинецкий, В. А. Долятовский, И. В. Бестужев-Лада, А. Г. Гранберг, В. А. Перепелица, И. Г. Винтизенко, Е. В. Попова, А. М. Кочкаров, Е. Н. Мельникова, Л. Д. Мешалкин, Т. Г. Морозова, И. В. Орлова, А. Л. Новосёлов, Т. А. Салтанова, А. С. Емельянов, И. С. Енюков, Е. В. Устюжанина, Э. Б. Ершов, А. А. Горчаков, Р. А. Фатхутдинов, Л. Н. Ковалёва, В. В. Федосеев и др.

В развитии методологии прогнозирования агро-, финансово-, природно-, социально-экономических показателей, экономико-математических методов и моделей апробации и встраивания в инструментальные средства для повышения качества принимаемых управленческих решений в хозяйствующих субъектах зна-

чительный вклад внесли научные работы отечественных ученых: В. А. Плотников, В. Г. Халин, А. В. Киевич, Л. П. Яновский, Д. Н. Верзилин, О. Н. Кораблева, А. В. Юрков, А. В. Воронцовский, С. А. Вавилов, В. Ф. Минаков, Р. Х. Ильясов, А. А. Зайцев, Д. М. Назаров, 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).

Вопросам средне- и долгосрочного прогнозирования и управления развитием туризма в отдельных макрорегионах России посвящены исследования И. В. Логунцовой, Т. А. Фроловой, А. Д. Чудновского, М. В. Якименко, В. И. Колесник, А. Г. Шарненковой, А. С. Запесоцкого, Г. А. Птичниковой, Т. А. Чернявской, Ю. В. Чернявского, С. А. Дюжева, И. И. Соколова, О. В. Лестевой, А. И. Соколова, Д. А. Бирюкова, Е. В. Поповой, Д. М. Астанина, М. В. Матюниной, Н. Д. Свиридовой и других ученых.

Задачи риск-менеджмента в туристическом бизнесе, опирающиеся результаты долгосрочного прогнозирования социально-экономических показателей отражены в исследованиях Ма Цзыци, А. Д. Хадеевой, А. А. Гудкова, Е. Г. Дедковой, А. Б. Моттаевой, Р. И. Селихова, Г. Б. Багировой, С. М. Агафонова, А. В. Медяник, И. А. Киселевой, М. А. Башкерцевой и других.

Вопросам применения нейронных сетей для прогнозирования сложных процессов в различных сферах человеческой жизнедеятельности посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: А. С. Полякова, У. Н. Круглова, С. С. Бежицкий, С. В. Шелихова, В. Г. Манжула, Д. С. Федяшов [209], Ни Сяньцзюнь [480], В. А. Якимова [406], Е. Г. Андрианова, С. А. Головин, С. В. Зыков [231], Т. Г. Кальдерон, Дж. Чех [411], К. Т. Чиу, Р. Скотт, Ю. С. Шугай [398], Б. Ванстоун, Г. Финни, Г. Сермпинис, Дж. Лоус,

А. Каратанасопулос, К. Л. Дунис [457], А. Baldwin, С. Brown, В. Trinkle [411] и другие.

Прогнозированием элементов зернового производства занимается ряд ученых: К. П. Личко, П. И. Огородникова, В. В. Усик, О. С. Кочегарова, Б. И. Смагин, М. С. Петухова, М. М. Еркин, Е. П. Задворнева, Е. А. Гатаулина, Е. А. Шишкина, В. И. Гайдук, А. А. Ермаков, А. В. Кондрашова, Е. В. Луценко, А. Н. Тарасов, А. П. Потапов, Н. А. Яковлева, А. Г. Мякиньюков, Е. Г. Никитенко, Т. С. Ковалёва, И. Н. Попова и др.

Обоснование прогнозов и перспектив развития зернового производства является гарантией адекватного состояния и фактически реального составления планов, принятия оптимальных управленческих решений. Исследования вышеназванной проблемы позволяют утверждать, что в стране еще не существует единой системы планирования и управления зернового производства. Не решены следующие задачи: установка сроков построения прогнозов, согласованная методология прогнозирования экономических показателей зернового производства. Задачи построения средне- и долгосрочных прогнозов межгодовых колебаний природно-климатических условий, влияющих на показатели зернового производства рассматривались исследователями: Е. Борисенковым, И. Б. Загайтовым, Л. С. Воробьевой, В. Буха, Ю. Витинским, Л. П. Яновским, Г. Муром, Л. Т. Колесниковой, В. Нестеровым, С. И. Яблоновской, Т. Покровской, В. Пасовым, Л. Перекальской, З. А. Шостак, М. Розановым, И. С. Козубенко, О. А. Моториным, М. И. Свищевой, М. Семеновым, Е. В. Абашиной, Р. М. Алексахиним, Г. Ю. Анисимовой, А. Т. Барабановым, Н. Сидоренковым и др. Проблема прогнозирования засух, влияющих на продуктивность и экономическую эффективность сельскохозяйственных культур изучалась О. К. Рычко, М. Байдалом, А. Д. Клещенко, В. М. Лебедевой, Т. А. Гончаровой, Т. А. Найденой, Н. М. Шкляевой, Л. Вительсом, И. П. Болодуриной, А. А. Неверовым, П. Кабановым, В. Е. Тихоновым, В. Михельсоном и др. Динамико-статистические методы получения прогноза цикличности в межгодовых колебаниях урожайности и метеоусловий применяли в своих работах следующие ученые: Т. А. Гончарова,

В. М. Лебедева, Л. В. Федотова, Г. Баскин, Т. А. Найдина, Э. Брикнер, Л. А. Хворова, Н. В. Гавриловская, А. Воейков, О. А. Заяц, М. Давидович, И. Б. Загайтов, В. Г. Раскин, П. Колосков, Л. П. Яновский, С. Н. Дементьев, А. Н. Михайлов, Г. Крафт, В. Е. Тихонов, А. А. Неверов, С. Сергеев, Е. В. Семинченко, С. Струмилин, О. С. Амунова, А. Тарасов, В. Ю. Селиванова, Н. Челинцев, И. А. Семин, Г. А. Зайцева, О. М. Ряскова, Н. Четвериков, Е. С. Маркова, В. Череванин и др.

В работах проведенного обзора по тематике прогнозирования элементов зернового производства предложены математические методы классической статистики [145, 234, 320].

Проблема построения прогноза со среднесрочным лагом экономических показателей зернового производства, который занимает одно из центральных мест в вопросах разработки агропродовольственной политики, как в масштабе государства, так и отдельных макрорегионов, а также целевых программ развития всего агропромышленного комплекса рассматривается в работе [4]. В источнике [145] анализ значимости подобранного уравнения регрессии позволил сделать вывод о верном подборе модели и возможности ее использования для среднесрочного прогноза прибыли сельскохозяйственных предприятий посредством государственной поддержки в виде субсидий.

Россия относится к числу стран, сельское хозяйство которых в максимальной степени зависит от колебаний и изменений климатических условий [18]. В прогнозах, которые построены в последнее время, наблюдаются последствия глобального процесса «изменение климата» для всего агропромышленного комплекса. В источнике [18] говорится, что более 70 % российской территории – это зона рискованного земледелия. Средняя многолетняя частота $x_{avg} = \sum x_i/n$ возникновения ЧС от этих явлений составляет 125 в год. Наибольшую опасность для сельского хозяйства представляют засухи. Прямой ущерб от них колеблется по годам от 1,5 до 2,2 млрд руб., от крупного града – от 0,1 млрд до 4,2 млрд руб. [18].

Научные подходы к определению влияния изменения климатических показателей на урожайность зерновых культур рассмотрены в работах: В. Ф. Балабайкина, К. В. Ёлкина, С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, Н. Е. Евдокимовой, И. П. Боллодуриной, А. А. Неверова, П. Б. Акмарова, О. П. Князевой, И. Н. Бесалиева, В. И. Трухачева, Е. Г. Никитенко и других ученых.

Количественная оценка откликов урожайности и валовых сборов зерновых и зернобобовых культур, как в целом в Российской Федерации, так и в разрезе Федеральных округов и регионов, на возможные климатические изменения в долгосрочном периоде (до 2100 г.) представлена в работе [319].

Опыт проведения космического мониторинга основных зернопроизводящих территорий Казахстана на основе спутниковых систем NOAA/AVHRR и TERRA/MODIS представлен в работе [331].

В работе [93] рассматривается системный подход, основанный на формализованных методах нелинейного программирования, которые позволяют определить основные особенности устойчивого развития предприятий зерновой отрасли с учетом влияния климатических показателей.

В разделе основное внимание уделено теории и практике моделирования, анализа и прогнозирования экономических показателей зернового производства и природно-климатических факторов, влияющих на них методами нелинейной динамики [115, 448, 471]. На рубеже XX и XXI веков в научных методах анализа динамики и прогнозирования стохастических систем произошла смена фундаментальных концепций – на смену линейной (непрерывной) парадигме пришла нелинейная (дискретная) парадигма, выделяющая «долговременную память», фракталы, хаос, базирующаяся на неподчинении многих социальных и экономических процессов (в частности, динамики урожайности зерновых культур) классической статистике и нормальному закону [252]. Из определений фрактальной геометрии – фрактал представляет собой структуру, которая состоит из самоподобных друг другу частей (принцип самоподобия).

В синергетике имеют дело с кооперативным взаимодействием множества подсистем, проявляющимся как самоорганизация общей экономической систе-

мы [412, 466]. Реализовать принципы нелинейной парадигмы в процессе моделирования, анализа и прогнозирования такой сложной системы, как динамика экономических показателей зернового производства можно благодаря использованию методов нелинейной динамики – это фрактальный анализ, фазовый анализ, искусственные нейронные сети, нечёткие системы и генетические алгоритмы. Главное, что утверждается в экономической синергетике – динамически развивающаяся экономическая система в принципе не является равновесной и устойчивой, это подтверждается волатильностью значений экономических показателей зернового производства и реверсивным поведением природно-климатических факторов, влияющих на них. Далее предлагается исследовать природно-климатические факторы, как переменные факторы, меняющиеся год от года. Наличие в них риск-экстремальных значений позволяет их назвать риск-экстремальными факторами (осадки, температура).

Основной постулат линейной парадигмы заключается в том, что любое малое изменение первоначальных условий значений риск-экстремальных факторов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства влечет за собой пропорциональное изменение результата. Тем не менее, для природно-климатических процессов на малые колебания начальных значений возникают нелинейные реакции. Последние означают так называемые «бифуркационные» реакции на воздействие. Еще одной особенностью систем с нелинейным характером динамики является наличие долговременной памяти у показателя урожайности зерновых культур (показатель Хёрста $H \geq 0,7$) и риск-экстремальных факторов, влияющих на них, т. е. значения временного ряда (экономического процесса) в момент t функционально зависит от его значения в предыдущие моменты времени $t-1, t-2, \dots$

Действительно, каждое предшествующее событие влияет на любое наблюдение в момент времени t . «Долговременная память» временного ряда урожайности зерновых культур сохраняется достаточно долго, хотя недавние события, естественно, имеют большее влияние, чем события отдалённые, но остаточное влияние тех или иных событий ощутимо всегда. Учитывая вышеописанное, мож-

но сделать вывод о том, что обладающие долговременной памятью временные ряды экономических показателей зернового производства буквально хранят в себе историю о колебаниях значений риск-экстремальных факторов и их влиянии на урожайности зерновых культур.

В терминах синергетики вместо понятия «глубина памяти» временных рядов [411, 425, 434, 459] экономических показателей зернового производства часто используется понятие «глубина цикла», что означает следующее:

- потеря памяти о начальных условиях и, соответственно, влияние на дальнейшую динамику экономических показателей зернового производства;
- цикл временного ряда экономического показателя зернового производства завершен и происходит его следующая итерация.

«Память» во временном ряде свидетельствует о наличии в процессе ряда существенных факторов, а длина памяти служит основанием для построения прогнозной модели. Фактически это означает, что между текущими и будущими значениями временного ряда будет иметь место долговременная корреляция, что позволяет прогнозировать значения урожайностей на несколько лет вперед так называемыми «циклами» или «блоками». Урожайность зерновых в зонах рискованного земледелия среди многих других природных процессов представляет собой типичное явление сохранения «долгой памяти».

Выявленные фундаментальные свойства нелинейных динамических природно-экономических процессов в рамках фрактального анализа могут иметь численную оценку. Методы, составляющие инструментарий классического прогнозирования экономических показателей зернового производства, можно разделить на три большие группы: статистические, причинно-следственные и комбинированные. Процесс построения прогнозной модели обычно подразумевает использование методов уточнения прогноза, при которых прогнозная модель «самообучается» разными методами.

Изучая реальные процессы межгодовых колебаний значений риск-экстремальных факторов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства в долгосрочной перспективе, можно наблюдать достаточное

количество «выбросных» значений, наличие которых свидетельствуют о неподчинении этих процессов закону Гаусса. Последнее вынуждает исследователя использовать в исследовании реальных стохастических процессов (финансовых, социально-экономических, агроэкономических, природно-климатических и других) новых методов и инструментальных средств. Возникают определенные *проблемы* при изучении этих стохастических процессов. Перечислим основные сложности:

- 1) Проблема малых выборок (короткие временные ряды значений экономических показателей отдельно выбранной отрасли) [339];
- 2) Многокритериальный характер процессов: например, экономических показателей зернового производства и комплекса риск-экстремальных факторов, влияющих на них;
- 3) Нелинейность динамики экономических показателей отдельно выбранной отрасли;
- 4) Нечеткие данные значений экономических показателей отдельно выбранной отрасли экономики;
- 5) Интервальность как входных, так и выходных данных временных рядов значений экономических показателей и риск-экстремальных факторов, влияющих на них.

Все вышеперечисленные проблемы влияют на валидность и точность результатов получения прогноза экономических показателей отдельно выбранной отрасли [183, 198].

Дискретные динамические системы с распределенным управлением [198], а именно модели линейных клеточных автоматов [83, 117], являются адекватным инструментарием в прогнозных и аналитических исследованиях таких временных рядов, как урожайности зерновых культур. Это вполне приемлемый класс алгоритмических моделей, которые используют несложные динамические правила на уровне элементов, которые могут представлять сложное стохастическое коллективное поведение на системном уровне. Впервые идея клеточного автомата реализована Джоном фон Нейманом для воспроизведения функционирования пространственно-протяжённых сложных систем [83]. Прогнозные модели на базе ли-

нейных клеточных автоматов и нечеткой логики разработаны д.ф.-м.н., профессором Перепелицей Виталием Афанасьевичем и впервые опубликованы в 2002 г. в работе [251]. Учениками и представителями научной школы профессора В. А. Перепелицы разработаны в течение двух десятилетий и апробированы прогнозные модели финансово-, агро-, природно-, социально-экономических и других процессов, о чем свидетельствуют защищенные диссертации по развитию достаточно сложного математического аппарата линейных клеточных автоматов [340, 345, 349].

Новая нелинейная парадигма, составляющими которой являются такие элементы, как фрактальный анализ, фазовый анализ, линейный клеточный автомат [171, 180] и т. д., в исследовании агроэкономических процессов, в том числе экономических показателей зернового производства появилась на рубеже 20–21 столетия [143, 193, 255, 357, 365, 400, 434].

Основным достоинством линейных систем является следующий факт: изменение начальных условий пропорционально изменяет значения результатов. Как показывает практика, для социально-экономических, финансовых, валютных и особенно агроэкономических процессов это является скорее исключением, чем правилом [246].

Развитие в настоящее время современной теории рисков связано с внедрением в нее «правил» и подходов нелинейной динамики. Тот факт, что дисперсия или СКО в классической статистике используется как мера риска, становится неочевидным при наличии таких свойств у временного ряда урожайности зерновых культур как самоподобие и неподчинение нормальному закону распределения. Фрактальная размерность ВР экономических показателей зернового производства в рамках теории нелинейной динамики выступает как мера риска, а именно в качестве косвенной оценки. Последняя подразумевает, прежде всего, качественную характеристику, которая используется в разных аспектах: лингвистических, описательных, сравнительных и других. Величина фрактальной размерности отражает меру риска: с увеличением (уменьшением) значения – мера риска убывает (возрастает) [410, 433, 438, 439, 445].

В науке особа роль эволюционных экономических процессов, приложение к ним математического аппарата подробно описано у А. Н. Колмогорова [81].

Учитывая современные условия в анализе сложных экономических процессов игнорирование маловероятных причин приводит к «опасным» ошибкам на выходе (крах, дефолт и т.д.). Надо учитывать тот факт, что анализ экономической ситуации любой глубины всегда приближителен. Оценить эту приближительность, возможно только изучив оставшиеся факторы или причины. Если нам удастся сделать такой анализ, то риск исчезает, так как о развитии ситуации мы будем знать всё наперёд. Другими словами, определяя риск и причины его появления, мы тем самым «удаляем» этот риск, т. е. сам риск исчезает.

Определение циклов и их динамику во временных рядах урожайностей зерновых культур – следующая задача, возникшая перед исследователем. Первые шаги в данном направлении сделаны В. А. Тартаковским, который описал циклы и их причинно-следственные связи, как и с точки зрения философии, так и с точки зрения математики. Именно В. А. Тартаковским обоснован «принцип синхронизма», позволяющий определять долю спектрального состава «вторичного» фактора (урожайности зерновых культур) от некоторого «первичного» источника [343, 344]. Существенными «первичными» источниками природно-климатических условий могут быть Солнце, солнечная активность (инсоляция), ее цикличность или числа Вольфа, а также цикличность основных природных процессов, в том числе количества выпавших осадков, температуры воздуха, поздних весенних заморозков.

Количество осадков. Поскольку полученные в исследовании длины циклов урожайности озимой пшеницы (3–9 лет) заметно меньше 11-летних длин астрономических циклов солнечной активности, то это следует объяснить тем, что в последние десятилетия урожайность зерновых культур «сбилась» с солнечного цикла. Она в большей степени стала обязана цикличной интенсивности выпадения осадков осенью, зимой и весной, в оптимальные для урожайности озимых посевов сроки. Столь же заметным стало влияние на цикличность урожайности зерновых культур цикличности температуры почвы и окружающей среды [174].

Частные случаи этой многокритериальной зависимости использует, например, известный гидротермический коэффициент (K) Селянинова (расчет ведется со второй декады апреля до текущего момента):

$$K = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{0,1 \cdot \sum T_i}, i = \overline{1, N}, \quad (1.2)$$

где P – сумма осадков за определенный период, мм;

T – суммарная температура периода, $^{\circ}\text{C}$.

Если гидротермический коэффициент в пределах 1-2, то условия естественного увлажнения считаются удовлетворительными, если меньше 1 – недостаточными. Классификация зон увлажнения по гидротермическому коэффициенту: влажная – 1,6-1,3; слабозасушливая – 1,3-1,0; засушливая – 1,0-0,7; очень засушливая – 0,7-0,4; сухая – $< 0,4$. Колебание значений гидротермического коэффициента для зон неустойчивого увлажнения значительны и связаны с неравномерностью выпадения осадков.

Трудности новых вызовов природно-климатической и экономической эволюции ставят задачи перед исследователем по развитию и совершенствованию как математических, так и информационных составляющих, самой методологии и теории исследования этих процессов. Такие характеристики природных и социально-экономических процессов как возрастание неопределенности, турбулентности, волатильности послужили основой для появления авторской математической и информационной парадигмы и методологии. Наличие многих различающихся, взаимно независимых, но и взаимодополняющих инструментов из принципиально различных непрерывных и дискретных классических и фрактальных математических разделов, требует их анализа, согласования при работе с одним и тем же исходным статистическим материалом, агрегирования и обобщения результатов. Особую актуальность в анализе поведения природных временных рядов зернового производства приобретает предложение новой прогнозирующей системы с обоснованием структуры и состава исследовательской экономико-математической «платформы». Необходимы новые подходы, набор принципиально новых экономико-математических моделей, комплекс современных математи-

ческих и инструментальных конструкторов для мониторинга природной среды, моделирования, визуализации, анализа и прогнозирования урожайности в сельскохозяйственном (зерновом) производстве, что в настоящее время сопряжено с постоянным усложнением и формализацией этих процессов. Модели в своем комплексном взаимодействии, работая с одними и теми же первоначальными данными позволяют адаптировать и улучшить алгоритмы и математические модели процессам данным отдельно выбранных секторов экономики. Обработка социальных и природно-экономических временных рядов в новых условиях требует интеллектуальных, «тонких» и сложных математических и инструментальных технологий.

Предложена исследовательская платформа, содержащая комплекс взаимно дополняющих математических моделей и инструментальных средств, с помощью которых возможно проведение цельного исследования от мониторинга до обобщенных выводов.

Предлагается перечень новых взаимодополняющих моделей, разработка которых улучшила репрезентативность алгоритмов к современным природным процессам в трансформационных (переходных) рыночных экономиках.

Разработанные математические модели опираются на одни и те же исходные данные. Особую актуальность в анализе поведения природных временных рядов [171, 180] теперь приобретает системный выбор комплекса разноплановых, взаимозависимых моделей:

- непрерывные Фурье-модели синхронизма (по В. А. Тартаковскому) для определения роли и объёма доминирующего процесса (солнечной активности, влажности, количества осадков, температуры окружающей среды) в процессах вторичных (например, интересен такой важный показатель, как урожайность озимой пшеницы) [166];

- дискретные двухуровневые (предпрогнозные и прогнозные) модели нелинейного (фрактального) прогнозирования;

- непрерывные сплайновые кусочно-аппроксимационные модели полиформного вида, релевантные внезапным изменениям структуры процессов любого «временного класса» или смеси этих классов;
- системно обобщающие модели конкордации Кенделла для значений прогнозов, вычисленных разными методами и подходами.

Для достижения целей исследования предлагается применять спектр инструментов в виде системы компьютерной математики *MAPLE 19.0* (с аналитическими преобразованиями, работой с рациональными числами без погрешностей округления, с аппаратом сплайнов, работой в фазовых пространствах, с Фурье-преобразованиями, многомерной графикой) и линейного клеточного автомата и алгоритмов методов нелинейной динамики. Причем авторская исследовательская платформа дает возможность комплексного использования вышеописанных инструментов [150].

Таким образом, существующие методы прогнозирования значений экономических показателей зернового производства (математические методы классической статистики, стохастические модели, методики сценарного прогнозирования, системный подход, мониторинг на основе спутниковых систем, глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана) не предусматривают возможности получения среднесрочного прогноза (свыше 1 года) расчетным способом в условиях неопределенности, вызванные резко изменяющимися значениями риск-экстремальных факторов.

Всё более и более конъюнктуры мировой экономики, процессы в социальных, природных, погодных и биологических системах усложняются, всё более в них на передний план выходят стохастика, неопределённость, турбулентность, нелинейность, эффекты «долговременной памяти». Если мы хотим исследовать эти процессы точно, научно, и математически строго («В каждом знании столько истины, сколько математики» – И. Кант), то навстречу нелинейности природных явлений и общественных отношений должны выйти многомерность и многокритериальность исследовательской «платформы». В опубликованных работах Виктора Алексеевича Кардаша [123, 124] особое внимание уделено «рваным» процес-

сам мировой экономики. В статьях они названы «составные», «агрегированные», «условно-элементарные», иногда в литературе можно встретить также определения составного процесса, обобщённого процесса. Благодаря сетевым связям возникают сложные зависимости между социально-экономическими, финансовыми и другими процессами, которые невозможно отобразить в виде классической одномерной модели.

Можно кратко перечислить современные методы прогнозирования, для которых характерна особая забота о «тонкой» структуре и форме экономического процесса, о его спектральном составе, обо всём том, что новые методы бережно сохраняют в процессе 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; линейные клеточные автоматы; нейронные сети; вейвлет-анализ; методы машинного обучения и др.

На практике возникают определенные сложности при исследовании стохастических процессов: короткие ряды, многокритериальный характер социально-экономических процессов, нелинейность динамики, нечеткие данные, интервальность как входных, так и выходных данных, влияющие на валидность и точность результатов. Прогнозирование таких «проблемных» временных рядов экономических показателей, с риск-экстремальными значениями, является актуальной темой. Авторская классификация методов прогнозирования экономических показателей волатильного процесса представлена на рисунке 1.1.

Велики и трудности при использовании спектра новых подходов. Первая – «проблема малых выборок», в реальных ситуациях удаётся провести лишь несколько десятков наблюдений оцениваемого параметра, в то время как для нор-

мальной статистики их должно быть несколько тысяч. Вторая – при исследовании сложной системы необходимо принимать во внимание несколько целей одновременно, которые невозможно описать одним показателем и приходится обращаться к альтернативному множеству «подходящих решений» Парето. Третья – эволюционирование таких систем является нелинейным, а нелинейность порождает хаос решений. Четвёртая – приходится прибегать к теории нечётких множеств и нечётких систем с лингвистическими переменными, нечёткими высказываниями и нечёткими алгоритмами, конструктам математически более сложным и неточным. Пятая – логичный переход к интервальному анализу и интервальной арифметике с различными минимаксными (гарантированными) подходами, этот анализ, обладая целым рядом преимуществ, сталкивается с проблемой точности получаемого результата.



Рисунок 1.1 – Классификация экономико-математических методов прогнозирования волатильных процессов

*Составлено автором

На рисунке 1.2 представлены особенности временных рядов экономических процессов. Для процессов зернового производства характерно наличие риск-экстремальных значений (например, заморозки, засуха).



Рисунок 1.2 – Особенности временных рядов сложных процессов

Сфера туризма обусловлена высокой волатильностью значений экономического показателя – величина туристического потока, которая в свою очередь зависит от событийных составляющих. В работе исследована лишь часть финансового рынка России, временные ряды которой относятся к большим данным (мощность выборки $N > 200$ точек). Зачастую, на практике сталкиваемся с пересечением перечисленных трудностей и особенностей во временных рядах исследуемых процессов. Для исследования сложных процессов привлекается арсенал не только методов классической статистики, но и методы нелинейной динамики, генетического алгоритма, машинного обучения и т. д. На рисунке 1.3 представлена схема исследования сложных экономических процессов.

В настоящее время, любой экономический процесс претерпевает так называемую «эпоху перемен» – время вызовов, эпоха джокеров и событий с низкой вероятностью, но с масштабными эффектами. Игнорирование слабых сигналов чревато тяжелыми последствиями и возможной ограниченностью ресурсов времени для их своевременного устранения. В условиях многокритериальной приро-

ды риска наиболее эффективным является комплексный подход в исследовании сложных волатильных процессов.



Рисунок 1.3 – Комплексный подход в исследовании сложных процессов

Касаясь вопросов применимости экономико-математических методов классической статистики исследования волатильных процессов, можно отметить, что часто на практике применяют такой метод, как использование эконометрических моделей, которые учитывают изменчивость данных и могут предсказывать будущие тенденции. Ниже представлен результат апробации регрессионного анализа, где в качестве результирующего показателя выступают данные урожайности озимой пшеницы по Старовольскому краю за период с 1977 г. по 2021 г., в качестве входного параметра рассмотрены данные метеофакторов: значения чисел Вольфа (x_1 , солнечные пятна), среднемесячных температур воздуха в мае месяце (x_2) и количества выпавших осадков в апреле месяце (x_3) (Приложение 3).

Для 55 точек наблюдения имеем низкое значение множественного коэффициента корреляции $R = 0,32$. Вычисленный параметр R-квадрат равный 0,1 означает то, что изменчивость значений переменной Y около линии регрессии состав-

ляет $1 - 0,1 = 0,9$ от исходной дисперсии, т. е., 10 % от исходной изменчивости могут быть объяснены, а 90 % остаточной изменчивости остаются необъясненными.

Согласно полученным результатам проведенного анализа имеем уравнение множественной регрессии: $y = -0,04x_1 - 1,14x_2 + 0,04x_3 + 45,82$ (рисунок 1.4).

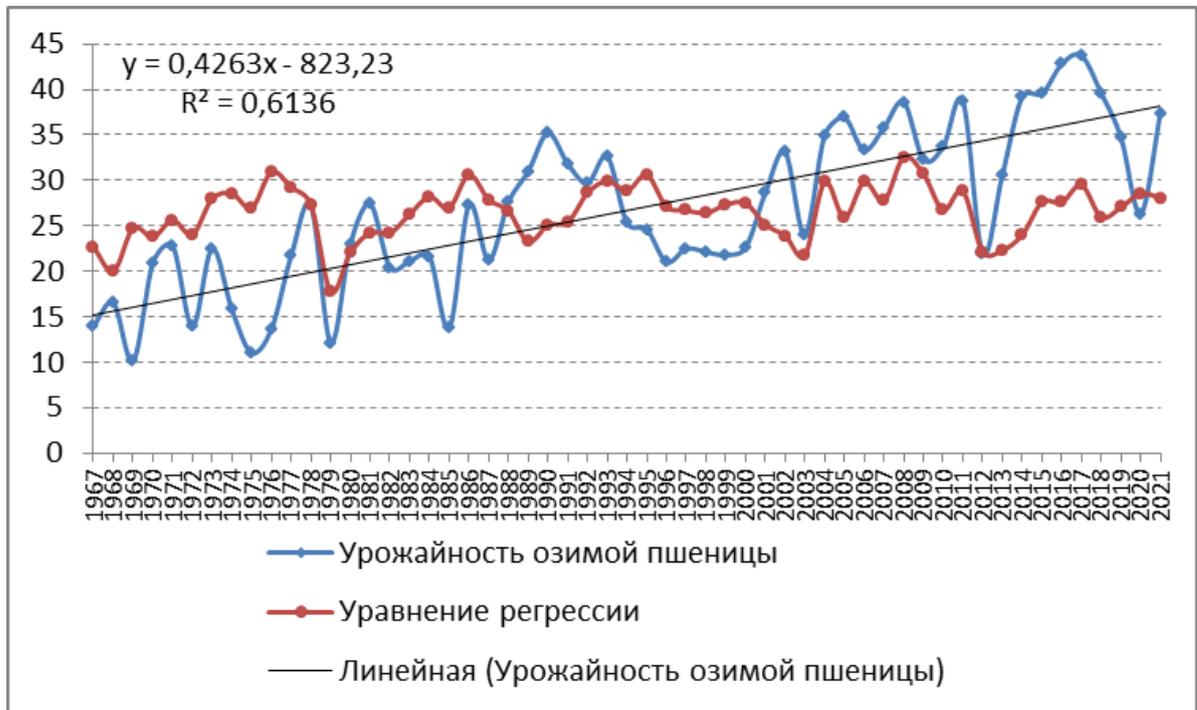


Рисунок 1.4 – График регрессии для исследуемого процесса динамики урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае

Наличие неотрицательного значения В-коэффициента означает то, что связь рассматриваемых переменных x_1, x_2, x_3 с зависимой переменной положительна.

В целом, применение этих и других методов классической статистики помогает лучше понять и анализировать волатильные процессы, что в свою очередь позволяет принимать более обоснованные решения.

1.3. Математические образы последовательных и параллельных экономических рисков

Современная экономика – либерализующаяся, ускоряющаяся и усложняющаяся – через турбулентность и стохастичность экономического процесса демонстрирует растущую рискованность своих конъюнктур. Глобализация и противоречивость экономических отношений, переход в мировой экономике к сетевым

структурам, возросшая роль экономической рекурсивности вызывают повышенный интерес к вносимым возмущениям в «тонкий» состав её динамики, приводят к повышенной рискованности активов, проектов и процессов на этапах жизненного цикла. Эти особенности создают питательную среду для роста амплитуд, частот проявления, умножения (мультиплицирования), интерференции, перемещения рисков по цепочкам проектов или внутри параллельных конгломератов с ростом тяжести рисковых последствий. Они же приводят к большим и неожиданным потерям, к трудностям предсказания поведения экономического процесса. Наука о рисках – рискология – начинает выходить на передний план экономического знания.

Термин «риск», зачастую, имеет за собой количественную характеристику стоимости, что позволяет его рассчитать, найти изменения стоимости того актива или проекта, на который риск действует, в состав которого входит и там обнаруживается. Всё это весьма актуально в современной экономической архитектонике. В рамках многочисленных проблем рискологии риски часто декларируют, «не поверяя их мерой и счётом» (царь Соломон), а надо исследовать проблему строгого и точного математического (аналитического, графического и количественного) представления стоимости столь сложной и многогранной категории, как экономический риск.

Возможность наступления (реализации) рисков во многих случаях не позволяет с достаточной для решения практических задач уверенностью предвидеть наступление каких-либо экономических событий [59]. Действительно, если есть возможность с достаточной степенью уверенности «предвидеть» – это означает, что имеется способ поиска, оценки и, следовательно, алгоритм минимизации риска. «Риск» – это «измеримая неопределённость», а также «страхуемая неопределённость». Такое определение «риска» ещё вначале прошлого столетия предложил один из основателей науки рискологии Ф. Х. Найт [220]. В противовес этому термин «риск», используемый в управленческом экономическом лексиконе на практике, это, согласно источнику [220], – «неизмеримая неопределённость» или «нестрахуемый риск», вероятность наступления такого неблагоприятного собы-

тия, последствия которого чреваты появлением различного уровня экономических (финансовых) потерь, образующихся «на выходе» сложных экономических процессов [56, 57]. По Ф.Х. Найту же величина полученной прибыли от предпринимательской деятельности представляет награду за возложенную ответственность на себя «нестрахуемого риска», при проявлении которого происходит количественное изменение доходов, стоимостей, прибылей и т. д. [384].

Рискология изучает в большинстве своих подходов одиночные риски, можно сказать, что она «наполнена» одиночными, локальными, простыми рисками. Как правило, при анализе риска стараются всевозможными способами свести его к простому виду риска. Одиночные риски оценивают вероятность или вариативность одного события, явления, проекта. В основании этого стремления лежит предложение американского эксперта Б. Берлимера (B. Berlimer) [37], в анализе рисков использующее некоторые аксиоматические допущения:

- потери от риска независимы друг от друга;
- потеря по одному виду деятельности или направлению из «портфеля рисков» не обязательно увеличивает вероятность потери по-другому (за исключением форс-мажорных обстоятельств);
- максимально возможный ущерб не должен превышать финансовых возможностей участника.

Локальный (простой, одиночный) риск, связанный с проектом, характеризуется тремя факторами:

- событие, связанное с риском;
- вероятность риска;
- средства, подвергаемые риску.

Однако любой проект или процесс можно декомпозировать на совокупность работ, этапов, проектов, каждый со своим локальным риском. Получение глобального риска всего проекта или процесса – новая интересная задача современной рискологической теории. Рассматривая проблему риска с точки зрения последствий его воздействия на проект, актив, событие, явление, процесс, мы при-

ходим к следующей схеме классификационного разделения рисков на одиночные и составные.

Составные, глобальные, полные, обобщённые риски последовательных и параллельных проектов, поэтому становятся всё более важными объектами рискологического анализа. Раз риски классифицируются как одиночные и составные, то они могут быть последовательными, параллельными и последовательно-параллельными. Составные риски определяют окончательное значение риска нескольких следующих друг за другом или одномоментных происходящих явлений, событий, проектов, процессов, каждый со своим собственным локальным риском. Обобщённые риски могут появиться «на выходе» некоторой последовательной, параллельной или последовательно-параллельной метасистемы событий, явлений, проектов, процессов. Для перехода к анализу сложных обобщённых рисков последовательных логистических цепочек или параллельных конгломератов проектов, каждый из которых отягощён локальным риском, сначала рассмотрим известные математические правила, по которым взаимодействуют степени, оценки, индексы, величины или уровни локальных рисков. Ограничением применения этих формул будут формы риска, оцениваемые только по вероятностям их появления.

Что поможет нам в этом? Широко известное институциональное положение, что все науки образно можно разделить на два класса – аналитические и синтетические. В источнике [384] отмечается, что экономика, несмотря на все прилагаемые усилия математиков за последние несколько десятков лет, своей большей частью всё ещё пребывает в поле синтетических наук, а изменение экономических законов с конструированием деривативов разного толка приобрело катастрофический размах.

Поэтому в рискологии стоит двинуться по аналитическому пути. К одной из интереснейших количественных оценок риска стоит обратиться вслед за Г. Марковицем, Нобелевским лауреатом – риск как дисперсия или среднее квадратичное отклонение (стандарт) переменной, отягощённой локальным риском [40]. В

названии статьи Е. Устюжаниной прекрасен лозунг, который можно выносить в название некоторых рискологических работ – «Риски имеют стоимость» [361].

Мы стараемся придерживаться более точного, строгого и практически полезного определения риска – риск как мера ухода показателя от прогнозируемого, планируемого уровня в ту или иную сторону. Ключевыми словами в характеристике риска становятся «возможность отклонения от цели» и «в ту или иную сторону». Тут риск, как качественный аспект экономической категории, определяющий возможность смещения от спланированного, вероятного исхода, приобретает направление и количественную характеристику.

Обратимся к словам «последовательных и параллельных экономических рисков» заголовка, что предполагает более сложные конструкции, состоящие из рисков. Эти слова обозначают усложнение рискового фона, отправляющего нас от единичного риска к нескольким рискам, одновременно действующим на разные части системы проектов. Разделение рисков на одиночные и составные приводит к необходимости моделировать составные риски последовательными цепочками векторов и параллельными конгломератами кватернионов в пространствах Клиффорда.

Риск, с точки зрения своей экономической сущности, при количественном расчёте должен опираться на «финансовую основу», воздействуя на которую, он либо «поглощает» ее, порождая негативные эффекты, либо «мультиплицирует» ее, порождая позитивные экономические эффекты. С риском связаны две стоимости, которые подлежат оцениванию при управлении риском. Первая («обыкновенная») – это начальная стоимость актива или проекта, а также остаточная стоимость, которая формируется после реализации риска. Это – статичный по своей природе показатель. Вторая («рискованная») – это стоимость актива или проекта, пропадающая или возникающая после воздействия риска. Т.е. это динамический показатель риска. «Обыкновенная» стоимость детерминирована, она фиксируется на конкретный момент времени. «Рискованная» стоимость стохастична, виртуальна, не определяется в текущем времени и проявляется в будущем [384].

В работе поиск стоимостной оценки риска предлагается изыскивать через векторные образы, реализуя их математически точными подходами к исследованию экономических процессов в абстрактном векторном пространстве. Теперь риск, как вектор, получает не только величину, но и произвольное направление. Множество последовательных рисков, растянутых во времени, укладывается в диадическое пространство, где удобно моделировать последовательные логистические цепочки рисков проектов. Множество параллельных рисков требует для своего погружения четырёхмерных операционных пространств, наиболее яркими представителями которых являются пространства Клиффорда, где удобно моделировать риски одновременно протекающих параллельных экономических процессов некоторого сложного метапроекта. Конечно же, построение диадических и четырёхмерных оценок составных рисков в «рисковом» пространстве опирается на анализ, расчёт и визуализацию «обыкновенной стоимости» одиночных рисков, когда актив, элементарное событие или операция отягощены своими локальными рисками. В новых моделях трёхмерные векторы «рискованной стоимости» и двумерные векторы «обыкновенной стоимости» интерферируют, определяя кватернион обобщённой стоимости риска всего метапроекта.

Во всех случаях полезно рассмотрение многомерности рисков. Многомерность стоимости рисков в экономике возникает из-за того, что на риск одновременно действует много разнонаправленных причин. Риск во время принятия решения вероятен вследствие неумещающейся неопределённости политической ситуации, неустойчивости экономической среды, отсутствию гарантии получения ожидаемого результата, возможности предотвращения потерь самого разного сорта – временных, качественных, финансовых. Многомерный риск стоит преобразовывать аналитически, рассчитывать количественно, строить геометрически векторными операциями в ансамбле с той экономической переменной, на часть стоимости которой действует риск и которая теряется или появляется после его проявления. Поэтому стоимость актива комплексно зависит как от стоимости «основы», отягощённой риском («обыкновенная стоимость»), так и от величины ухода

составной части риска – «рискованной стоимости» – от нулевого значения. Теперь риск выступает как новая экономико-математическая категория.

Существующие двумерные модели рисков логистических цепочек последовательных проектов и четырёхмерные модели параллельных конгломератов проектов позволяют далее синтезировать количественно риски сколь угодно сложных последовательно-параллельных собраний проектов, активов, находя отдельно их ортогональные векторные составляющие. Многомерные модели успешно вписываются в задачи страхования риска, в поиск «рискованной стоимости» решением обратных задач, в расчёты обобщённого риска портфеля ценных бумаг – как собраний параллельных рисков – и пр.

Предлагается ввести в рискологию концепцию геометрического направления риска и находить его обобщённый образ в виде вектора на квазикомплексной плоскости через диадическое представление локальных рисков из цепочек последовательных проектов. Более сложным оказывается четырёхмерное представление глобального риска ансамблей параллельных проектов, в каждом из которых проект раним своим локальным риском. К исследованию рисков оказывается возможным привлечь такие непривычные для экономики методы, как теория аналитических преобразований, геометрическая концепция направления, операции в векторной алгебре, абстрактная алгебра, теория комплексных и векторных пространств, численные методы. Отметим редко используемый в традиционных экономических и финансовых приложениях аппарат фазовых пространств, теорию сплайнов, а в рискологии – четырёхмерные векторные пространства и преобразования Г. Грассмана (Hermann Grassman), числа и алгебры У. К. Клиффорда (William Kingdom Clifford), спиноры, кватернионы. Инструментальный конструкт составили профессиональные системы компьютерной математики (система MAPLE 19).

Потери или приобретения – количественная характеристика категории «риск» [40]. Суть предлагаемых методов состоит в одновременном представлении не только оценок возможностей риска, но и задание «направления», в котором движется риск, с определением чётких оценок величины риска в натуральном де-

нежном выражении. Это вызывает желание усложнить описание риска для учёта всех его сторон, которые проявятся в рискологическом анализе при системном подходе со стороны «бурлящей» экономики. В работе [345] находим: «Алгебра Клиффорда ... расширяет систему вещественных чисел путём использования геометрической концепции направления. Это – система ориентированных чисел».

Разрешение значительно сложной проблемы – изложение обстоятельств, таких предшественников, которые, по сути, выступили катализаторами в экономических процессах образования «настоящих», количественных, многомерных векторных рисков с их переменными стоимостями в непредсказуемом будущем – всё ещё достаточно дискуссионное. В конечном счёте, через изучение рисков и через исследование их новых многомерных характеристик стоимости возможно проникновение в понимание механизмов действия экономических законов мира и России.

Заметим, что при прогнозировании временных рядов определенные способы и алгоритмы могут «хорошо работать» на одних отрезках этих ВР, и иметь абсолютно неудовлетворительный результат на других. В связи с этим фактом, в прогностике возрос интерес к так называемым свойствам «прогнозируемости» и трендустойчивости временного ряда. Именно таким образом рассчитывается лаг прогноза, причем отдельно задается погрешность и состав процесса, что и определяет будущую «прогнозируемость» экономического процесса. Фактически «прогнозируемость» – это многовариантное свойство, которое зависит от таких фрактальных характеристик, как: цвет шума, персистентность, антиперсистентность, «долговременная» память или трендустойчивость, а также от ряда показателей, используемых в классической статистике (СКО, коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса).

«Горизонт будущего», его продолжительность является одним из ключевых показателей в области прогнозирования. Он определяет приемлемую точность прогноза. Под указанным «горизонтом» понимают временной интервал, в пределах которого прогнозное и истинное значение прогнозируемой переменной различаются на величину, не превышающую наперед заданной погрешности $\pm \varepsilon$. Бо-

лее корректно со статистической, вероятностной точки зрения следовало бы пользоваться интервальными оценками точности прогнозирования, однако для экспресс-оценок использование инструментария погрешностей $\pm \varepsilon$ также дает приемлемый результат. Как правило, на практике при вычислениях используется «умолчание», что ε равняется 10 %, что для прогнозируемых процессов дает приемлемую точность [382].

Отметим, что получение среднесрочного прогноза на базе квазигенетического алгоритма линейного клеточного автомата, связано с такими сложностями, как:

1) авторская модель самообучения предполагает нахождение такого варианта раскраски и подбора отправных точек, при которых достигается наименьшая ошибка прогноза $\varepsilon_{\text{ЛКА}} \rightarrow \min$;

2) трудоемкость задачи перебора всех существующих комбинаций и нахождения оптимального варианта раскраски временного ряда, оцениваемая количеством времени на одну итерацию (прогон алгоритма ЛКА), достаточно велика, что предполагает NP-полноту задачи [306, 308].

Авторская модель самообучения прогнозной модели линейного клеточного автомата (рисунок 1.6) состоит в виде последовательности следующих действий:

1. Для каждого уровня исследуемого временного ряда определяется возможное количество значений из множества допустимых решений (МДР) уровней для вхождения в одно из множеств: Н, С или В.

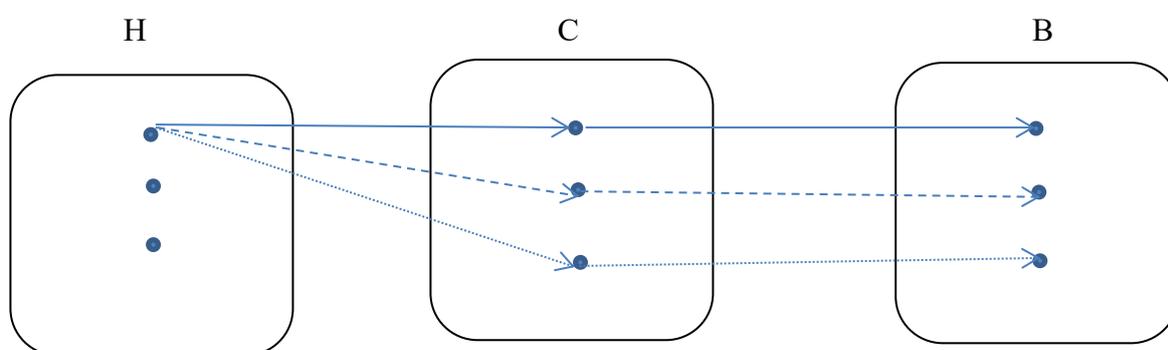


Рисунок 1.5 – Множество допустимых решений при выборе отправных точек огибающих ломанных (I этап линейного клеточного автомата)

2. Рассматриваются всевозможные варианты составления цепочек $H \rightarrow C \rightarrow B$ (рисунок 1.5).

3. Вычисляются ошибки прогноза при разных комбинациях раскраски лингвистического временного ряда и выбирается тот вариант, при котором достигнута наименьшая ошибка прогноза $\varepsilon_{ЛКА} \rightarrow \min$.

В современных условиях решение по увеличению «горизонта» прогноза на основе выявленных свойств «прогнозируемости» временных рядов необходимо подтвердить развернутым вычислительным экспериментом. Математические модели и методы, используемые в процессе этого эксперимента должны иметь такие алгоритмы, которые исследователь может реализовать в известных инструментальных средствах или системах компьютерной математики.

Вопрос о разработке новой синергетической методологии среднесрочного прогнозирования волатильных процессов с учетом цикличности и нелинейности влияющих на него факторов будет рассмотрен в главе 2.

Для исследования положений первой главы использованы авторские программы для ЭВМ, которые подтверждены свидетельствами о регистрации программного обеспечения, приведены в Приложении В.

Положения первой главы могут быть использованы при реализации и корректировке: Национальных проектов РФ (Цифровая экономика, Наука и университеты, Малое и среднее предпринимательство); документов и проектов (Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, Цифровое сельское хозяйство).

1.4. Выводы

1. Существующие методы прогнозирования волатильных процессов (системные и многокритериальные) обладают двойственной природой. Во-первых, полученные разными подходами, способами и инструментальными средствами прогнозы социально-экономических процессов – это фактически философская методология векторного сравнения и обобщения полученных решений. В качестве

«первичных» рассматриваются внешние факторы с риск-экстремальными значениями, а, соответственно, в качестве «вторичных» – экономические показатели отдельно выбранного сектора экономики.

2. Касаясь проблем изучения стохастических процессов с учетом сетевого характера и цикличности современной экономики, можно выделить следующие трудности входных параметров: проблема малых выборок (короткие временные ряды); многокритериальный характер процессов: значения экономических показателей и комплекса риск-экстремальных факторов, влияющих на них; нелинейность динамики исследуемого стохастического процесса; нечеткие данные; интервальность как входных, так и выходных данных временных рядов экономических показателей и риск-экстремальных факторов, влияющих на них.

3. Многомерный риск стоит преобразовывать аналитически, рассчитывать количественно, строить геометрически векторными операциями в ансамбле с той экономической переменной, на часть стоимости которой действует риск, и которая теряется или появляется после его проявления. Поэтому стоимость актива комплексно зависит как от стоимости «основы», отягощённой риском («обыкновенная стоимость»), так и от величины ухода составной части риска – «рискованной стоимости» – от нулевого значения. Теперь риск выступает как новая экономико-математическая категория. Через изучение рисков и через исследование их новых многомерных характеристик стоимости возможно проникновение в понимание механизмов действия экономических законов мира и России.

Глава 2. Методология прогнозирования эволюционных процессов

2.1. Методы и инструментальные средства визуализации волатильных процессов

В развитии экономико-математических и эконометрических моделей, их использования для анализа экономических процессов, в работе предложена авторская интерпретация комбинированной диаграммы структурированных данных [164, 302]. На рисунке 2.1 представлено графическое изображение проблемы масштабирования таких диаграмм. Представляет научный интерес исследовать динамику пропорций структурных данных экономических процессов (например, в сфере туризма – ежедневный туристический поток, состоящий из декомпозированных временных рядов по дням недели [423]; в страховании – данные по заключенным договорам страхования в разрезе мужчины/женщины [472]; в здравоохранении – учет поступивших пациентов по отделениям и пр.).

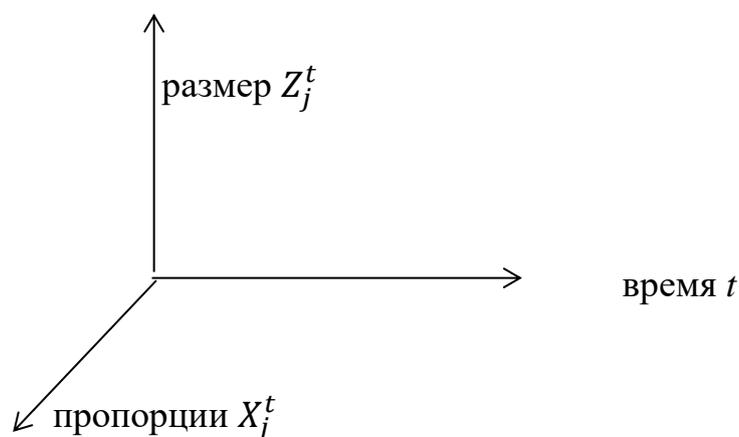


Рисунок 2.1 – Измерение масштабирования с учетом времени и размеров пропорций структурных данных экономического показателя j

Для ретроспективной оценки состояния и динамики волатильных экономических процессов в современных условиях хозяйствования необходимо обозначить *требования* к проектированию и практическому применению инструментального средства «PieChart». Сложность построения таких диаграмм состоит в масштабировании значений экономических показателей, в которых:

- 1) параметр «Время» представляет период исследуемого экономического процесса;
- 2) параметр «Размер» соответствует динамическому масштабированию значений экономического показателя во времени;
- 3) параметр «Пропорции» показывает динамику структурных составляющих всей величины экономического показателя для каждого узла исследуемого процесса. Согласно теореме (формула полной вероятности) имеем: величина всех пропорций должна представлять собой полную систему событий (должна равняться сумме произведений вероятностей гипотез на условные вероятности события, вычисленные соответственно при каждой из гипотез).

Рассмотрим набор структурированных данных в виде двудольного ориентированного графа $G = (V_1, V_2, E)$, где множество вершин V_1 и V_2 представляет набор значений временного ряда, состоящее из следующих групп значений: низкие, средние, высокие (рисунок 2.2). Множество терм переходов обозначим через $\mu = \{H, C, B\}$. Отметим, что в качестве вершин двудольного графа рассматриваются структурные значения исследуемого процесса в виде доли/долей от всей величины уровня временного ряда (например, величина госсубсидирования РФ по годам в разрезе федеральных округов [52]). Для определения множества вершин двудольного графа необходима предварительная подготовка значений временного ряда. Группировка данных происходит простым разделением на равные части. В качестве весов рассмотрим приращения временного ряда $y_i = x_i - x_{i-1}$ (цепной абсолютный прирост). Вызывает практический интерес наличие и частота переходов состояний: $H \rightarrow B$ и $B \rightarrow H$.

Как правило, наличие ненулевых переходов ($H \rightarrow B \neq 0$ и $B \rightarrow H \neq 0$) характеризует исследуемый процесс как волатильный, с выделяющимися реверсами спад/подъем. На рисунке 2.3 представлена графическая визуализация полного двудольного ориентированного графа $G = (V_1, V_2, E)$, где $V_1\{v_1, v_2, v_3\}$, $V_2\{v_4, v_5, v_6\}$, $|V_1| = |V_2| = 3$, $E = (e_1, e_2, \dots, e_9)$, $|E| = 9$ для анализа волатильных экономических процессов (на примере временного ряда значений всей посевной площади страны и ее структурной составляющей под зерновые

культуры). Отметим, что в представленной модели (далее в ее программной реализации) нет ограничения на внутренние разделения. Детальная раскраска более шести цветов становится неинформативной.

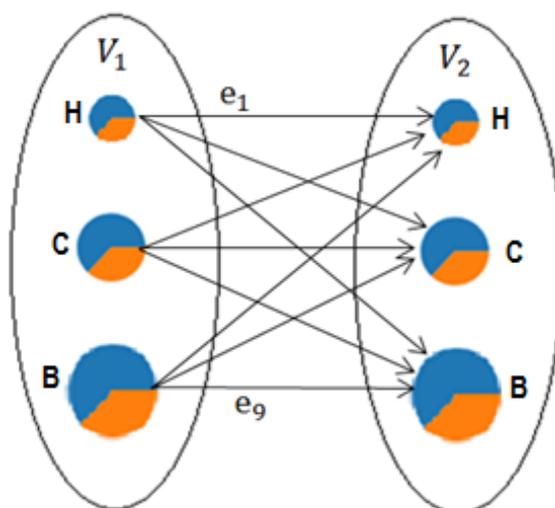


Рисунок 2.2 – Пример представления временного ряда со структурированными значениями в виде двудольного графа $G = (V_1, V_2, E)$

Выявление *риск-экстремальных значений* временного ряда происходит на этапе вычисления конфигураций $H \rightarrow B$ и $B \rightarrow H$. Отметим, что чаще всего, высокие значения при комбинации реверсов $H \rightarrow B \rightarrow H$ (или $B \rightarrow H \rightarrow B$) характеризуют периоды дефолта и краха. Составленная матрица смежности $A = \|a_{ij}\|$ позволит выявить *закономерности*, присущие исследуемому процессу. Представленная модель визуализации и анализа данных реализована в работе в виде комбинированной диаграммы структурных данных [302]. На рисунке 2.2 представлено общеэкономическое описание ситуации, а ее характеристики необходимы для моделирования сложных процессов отдельно выбранных секторов экономики.

В параграфе, для примера показана динамика зернового производства страны и макрорегионов, которая отличается многовекторностью и многофакторностью [50, 54]. Особенно это проявилось в последние годы, когда вследствие регулярных макроэкономических шоков экономическое развитие стало более турбулентным и неустойчивым [225], а деятельность экономических субъектов – более рискованной [66]. Россия, как страна, в состав которой входит значительное число

регионов, существенно отличающихся по своим характеристикам, в своем развитии во многом зависит от того, по каким траекториям будут эволюционировать входящие в ее состав региональные экономические системы.

Устойчивое развитие зернового комплекса России и соответственно укрепление лидирующих позиций зернового рынка на данный момент являются глобальными процессами, и их динамика зависит от многих факторов, в том числе от микроуровней иерархии экономических показателей зернового производства. Грамотное управление на всех микро- и макроуровнях позволит повысить экономические показатели отечественного зернового производства в условиях санкций:

- увеличение экспортного потенциала пшеницы и меслин (зерновой смеси);
- внесение значительного вклада в обеспечение страны продовольствием;
- импортозамещение зерновой продукции.

Зерновое производство каждой страны характеризуется своими особенностями: агроклиматическими ресурсами, научно-технологическим потенциалом, экономическим развитием, управлением на всех этапах получения высококачественной зерновой продукции.

Одним из необходимых условий применения авторского инструментального средства [302] является рассмотрение *полной системы событий*. В качестве величины пропорций узлов волатильного процесса рассмотрены (счетное количество событий) экономические показатели зернового производства России в разрезе Азиатской (A_1) и Европейской частей (A_2). Можно отметить, что события A_1 и A_2 являются несовместными их объединение $\bigcup_{i=1}^n A_i$ образует пространство элементарных исходов.

Согласно источнику [489] в Азиатскую часть России (АЧР) входят зернопроизводящие территории Сибирского, Дальневосточного федеральных округов, а также отдельно Тюменская область Уральского федерального округа [184].

Соответственно, динамика экономических показателей зернового производства Европейской части России (ЕЧР) складывается из значений показателей Центрального, Северо-Западного, Южного, Северо-Кавказского, Приволжского, Уральского федеральных округов.

Таблица 2.1 – Динамика значений экономических показателей зернового производства в России
 Авторские расчеты на основе: <https://www.fedstat.ru/>

Показатель экономической эффективности зернового производства	1990	1991	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Изм. 2021 г. к 1991 г. (%)	Изм. 2021 г. к 2001 г. (%)	Изм. 2021 г. к 2011 г. (%)	Изм. 2021 г. к 2020 г. (%)	Спарклайны
Валовой сбор в ЕЧР (100 тыс ц)	9,94	7,22	5,11	6,65	4,61	7,71	6,01	7,53	8,99	10,35	11,74	9,60	10,41	11,61	10,14	40,55	52,40	50,62	-12,68	
Валовой сбор в АЧР (100 тыс ц)	1,73	1,69	1,43	1,85	1,49	1,71	1,08	1,71	1,53	1,71	1,81	1,75	1,71	1,73	2,00	17,97	7,79	1,07	15,33	
Посевная площадь в ЕЧР (тыс га)	48,93	47,84	34,32	36,11	32,69	32,59	33,48	34,88	35,10	35,73	36,62	36,37	36,77	37,69	36,83	-23,00	2,00	15,66	-2,27	
Посевная площадь в АЧР (тыс га)	15,04	14,86	11,35	11,76	10,51	10,99	10,97	10,87	11,06	10,88	11,08	10,15	9,89	10,21	10,17	-31,55	-13,51	-7,16	-0,36	
Урожайность в ЕЧР (ц/га)	20,31	15,08	14,63	18,43	13,81	23,15	17,59	21,12	25,13	24,41	31,47	26,94	29,82	30,30	29,11	93,02	57,99	30,88	-3,91	
Урожайность в АЧР (ц/га)	11,49	11,40	12,62	15,76	14,15	15,59	9,86	15,73	13,81	14,53	16,35	19,30	20,10	19,63	22,85	100,48	44,97	25,94	16,38	

Рассмотрим детально основные *экономические показатели* зернового производства России – *урожайность, валовой сбор и посевную площадь* зерновых и зернобобовых культур [486] в разрезе Европейской и Азиатской частей России (в соответствии с таблицей 2.1).

Для удобства визуализации последний столбец таблицы 2.1 содержит в себе так называемые спарклайны (инфолинии), которые отображают динамику анализируемого диапазона данных. Зелеными и красными маркерами отмечены соответственно максимумы и минимумы значений экономических показателей зернового производства. Графические изображения нормированных значений экономических показателей зернового производства для ЕЧР и АЧР за период с 1990 г. по 2020 г. представлены на рисунках 2.3–2.5.

Основные зернопроизводящие территории России находятся в Европейской части России, что подтверждается данными таблицы 2.1 в виде динамики значений экономических показателей зернового производства. В целом для России снижение территории посевной площади под зерновые и зернобобовые культуры за период 1990–2018 гг. демонстрирует устойчивый рост значений показателей урожайности. В процентном соотношении наблюдается практически одинаковый рост значений урожайности зерновых и зернобобовых культур у Европейской и Азиатской частей России в сравнении 2021 г. с 1991 г.

Значительное сокращение посевной площади для Азиатской части России влечет за собой низкий прирост показателей валового сбора зерновых и зернобобовых культур, например, в сравнении 2021 г. с 1991 г. (более 30 %).

Уменьшение засеиваемой территории посевной площади под зерновые и зернобобовые культуры наблюдается в Азиатской части России, тогда как для Европейской части зафиксировано увеличение посевной площади, начиная с 2000 г.

Несмотря на уменьшение посевной площади, можно отметить рост значений показателя урожайности зерновых и зернобобовых культур для Азиатской части России.

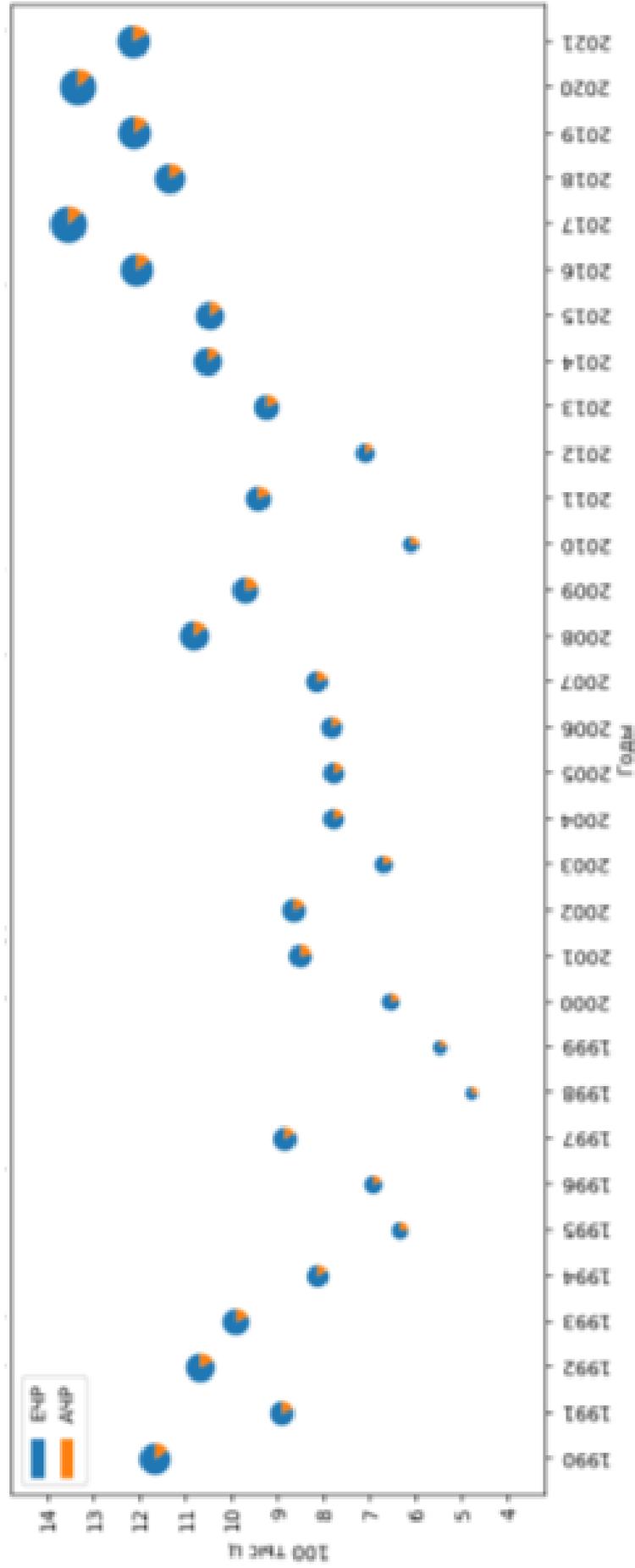


Рисунок 2.3 – Динамика значений валового сбора зерновых и зернобобовых культур в разрезе Европейской (синий цвет) и Азиатской (оранжевый цвет) частей России для хозяйств всех категорий (на 100 тыс. центнеров)

В разрезе рассматриваемой градации зернопроизводящих территорий России, рекордный объем валового сбора зерновых и зернобобовых культур собран в 2017 г. (1 355 387 тыс. ц), минимум зафиксирован в 1998 г. и равен 477 709,39 тыс. ц (рисунок 2.3). Доля вклада валового сбора АЧР составляет диапазон от 13 до 25 % в динамике данного экономического показателя зернового производства.

По данным Росстата, за исследуемый диапазон 1990–2021 гг. размах величины посевной площади $R(X_i) = X_{max} - X_{min}$ составил 20 996,1 тыс. га, где наибольшее значение соответствует 1990 г., а наименьшее – 2003 г. (рисунок 2.4).

Доля занимаемой посевной площади АЧР варьируется в интервале от 21 до 26 % в динамике данного экономического показателя зернового производства. Размеры посевных площадей сократились в 1,5 раза по сравнению с 1990 г. Рассмотрим детально процедуру представления структурных данных для дальнейшего анализа и исследования сложных процессов (на примере визуализации рисунков 2.3–2.4). *Отличительными признаками* представленного авторского инструментального средства является площадь окружности, которая в свою очередь представлена градацией составных элементов (количество пропорций – неограниченно, но более 6 – неинформативно).

Введем обозначения:

Пусть X_j^i – исследуемые экономические показатели зернового производства России, где $i = 1$ – значения валового сбора, $i = 2$ – значения посевной площади, $i = 3$ – значения урожайностей зерновых культур; j – год наблюдения за рассматриваемый период, $j = \overline{1,31}$ (1990–2021 гг.);

Y_j^i – исследуемые экономические показатели зернового производства Европейской части РФ;

Z_j^i – исследуемые экономические показатели зернового производства Азиатской части РФ.

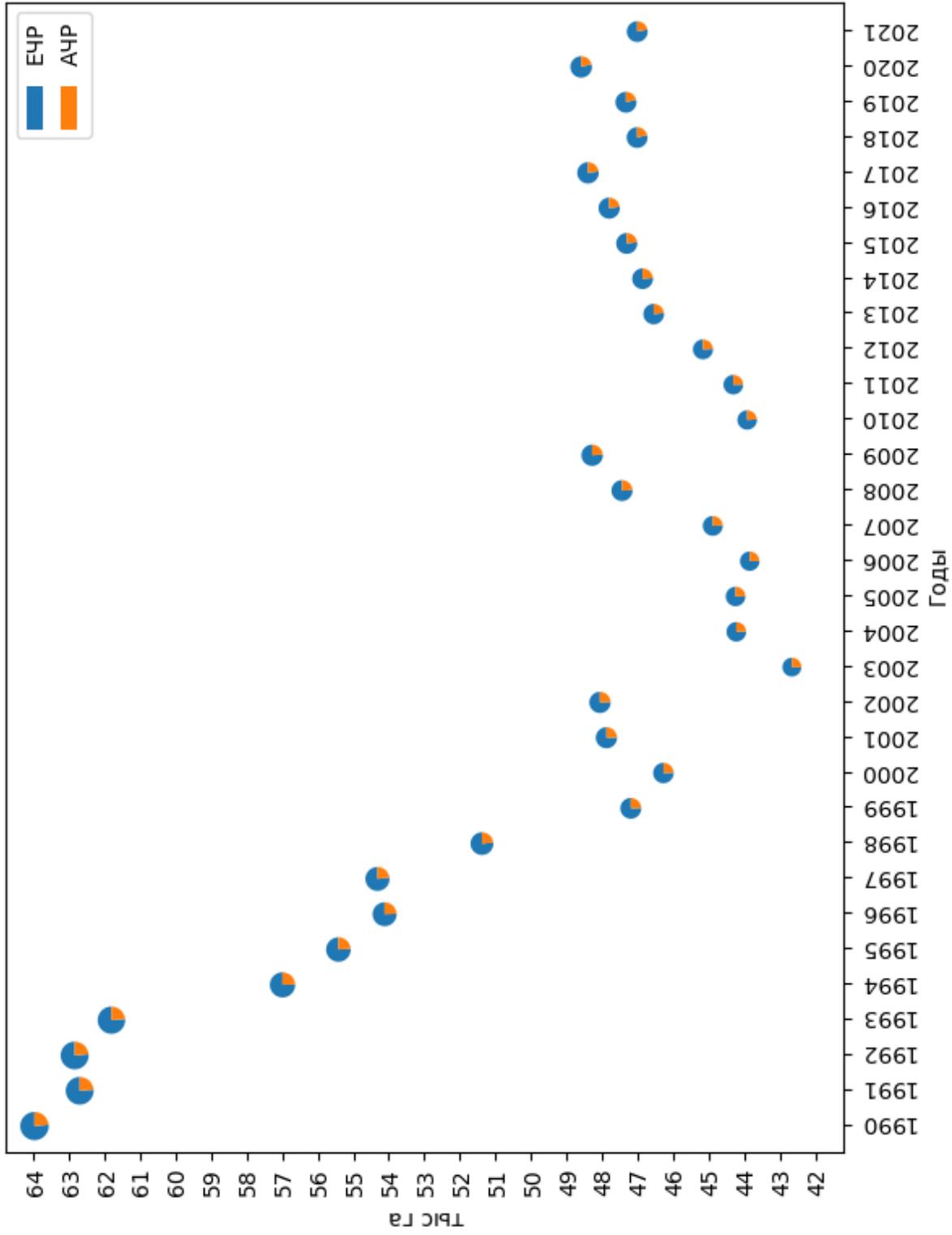


Рисунок 2.4 – Динамика значений посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в разрезе Европейской (синий цвет) и Азиатской (оранжевый цвет) частей России для хозяйств всех категорий (тыс. га)

Долевое значение (пропорции) указанных переменных формируется согласно соотношению:

$$X_j^i = Y_j^i + Z_j^i \quad (2.3)$$

где суммарная величина X_j представляет собой 100 % для каждого индикатора исследуемых показателей зернового производства.

При обозначении через S_j^i – размеры площадей каждой окружности, имеем следующее соотношение для исследуемого процесса:

$$|S_j^i| \neq |S_{j+1}^i|, \text{ для } \forall j, j \in [1, 31]. \quad (2.4)$$

Свойство волатильности также присуще и временному ряду значений показателя урожайности зерновых и зернобобовых культур (размах значений $R(X_i) = X_{max} - X_{min}$ равен величине 17,3 ц/га): локальный максимум достигнут в 2017 г. и составил 26,7 ц/га, локальный минимум зафиксирован в 1998 г. и равен 9,5 ц/га (в соответствии с рисунком 1.6). Доля вклада урожайности зерновых и зернобобовых культур АЧР составляет диапазон от 32 до 52 % в общую динамику данного экономического показателя зернового производства. По сравнению с прошедшим десятилетием, значение показателя урожайности зерновых выросло в 2 раза.

Таким образом, согласно представленным гармоникам сложных стохастических процессов зернового производства (рисунки 2.3–2.5), считаем, что на резкие перепады в значениях показателей отечественного производства зерна влияют большое количество факторов.

Далее перечислены основные ключевые показатели, влияющие на значения экономических показателей зернового производства России:

- по данным ФАО в 2019 г. территория посевной площади пшеницы (озимой и яровой) в России по отношению к мировым размерам составила 12,75 % (27 558 617 га РФ к 216 млн га в мире) [446];

- в России сосредоточено около 40 % от мировой площади черноземных почв [1];

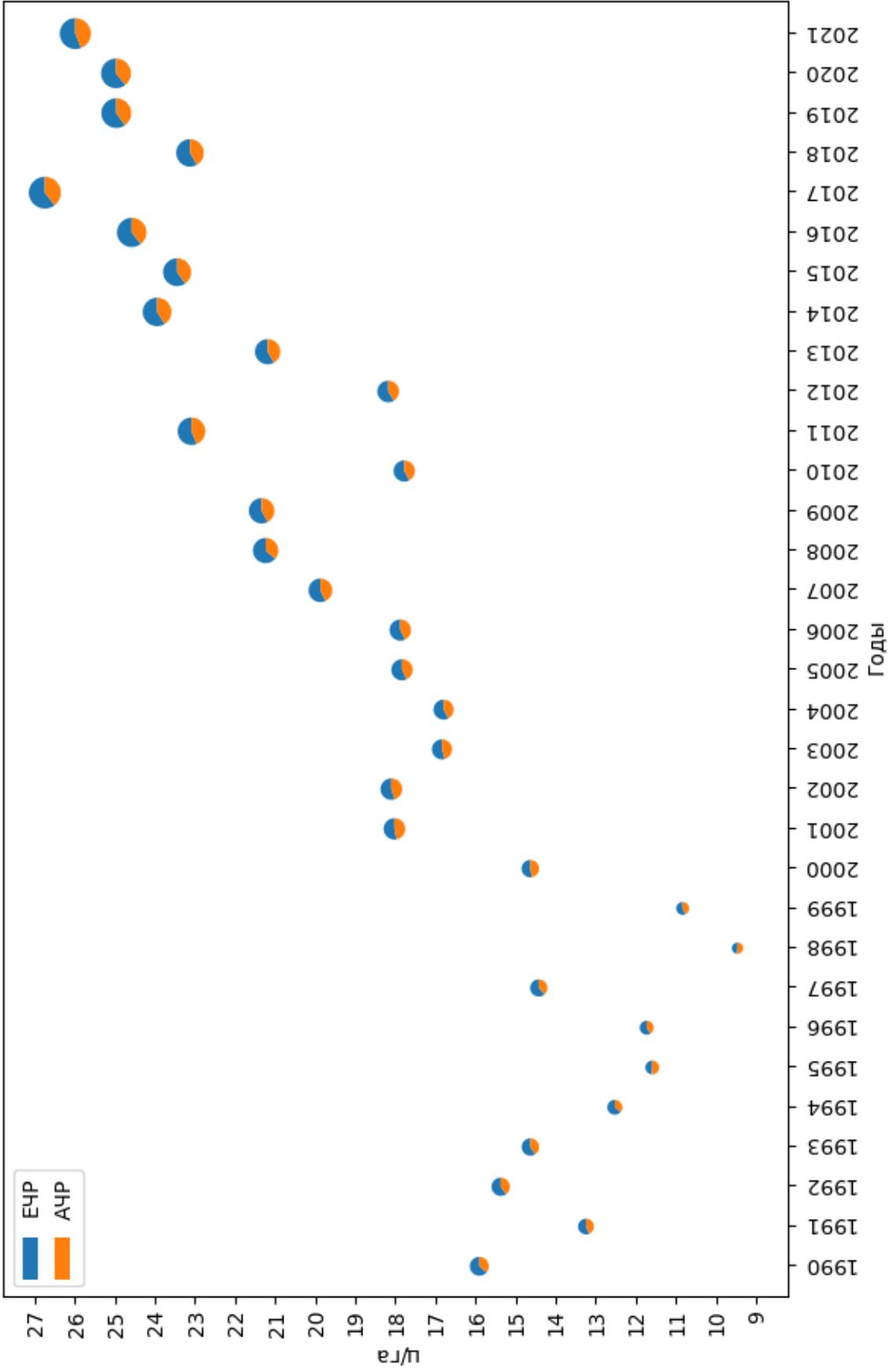


Рисунок 2.5 – Динамика значений урожайностей зерновых и зернобобовых культур в разрезе Европейской (синий цвет) и Азиатской (оранжевый цвет) частей России для хозяйств всех категорий (ц/га)

- лидирующими регионами России по производству зерна являются следующие федеральные округа России: Южный, Центральный, Поволжский, Сибирский, Северо-Кавказский. В целом по России наблюдается стабильный рост значений урожайностей зерновых и зернобобовых культур, за последнее время не снижающийся отметки 25 ц/га;

- первенство, как по засеянной посевной площади, так и по объемам валового сбора озимой и яровой пшеницы, принадлежит Ростовской области (ЕЧР). В разрезе рассматриваемого списка регионов-лидеров, рекордный объем валового сбора собран в 2017 г. (61 979,5 тыс. т. по стране), минимум зафиксирован в 2012 г. и равен 25 585,6 тыс. т.;

- доля производства зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации среди стран мира составила около 4 %;

- вся посевная площадь в России в 2020 г. приблизилась к отметке 80 млн га и составила 79 948 га, под зерновые и зернобобовые культуры засеяно 47 899,85 га;

- по данным Министерства сельского хозяйства на 1 января 2020 г., площадь неиспользуемой пашни в РФ составила 20,1 млн га;

- значительную часть структуры зернового производства составляет пшеница (озимая и яровая), далее: ячмень, кукуруза на зерно и другие культуры. Положительной тенденции роста производства зерна способствует усиление мирового спроса на зерновые культуры. Резкие перепады значений (спады 2010, 2012, 2018 гг.) сопряжены с множеством факторов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства России;

- начиная с 2000 г. можно отметить тенденцию планомерного роста среднего показателя $x_{avg} = \sum x_i / n$ урожайности зерновых и зернобобовых культур, максимум достигнут в 2020 г. и равен 32,4 ц/га;

- самообеспечение страны зерном позволяет вести внешнюю торговлю с другими государствами, активно с 2002 г.

В последние годы наблюдаем рост основных экономических показателей зернового производства России [327]. Это связано с использованием технологий интенсивного земледелия, а также предложенными мерами государственной поддержки агропромышленного комплекса. За период с 2000 г. по 2020 г. в России наблюдается тенденция планомерного увеличения показателей урожайности зерновых и зернобобовых культур. Среднее значение объемов валового сбора зерновых культур $x_{avg} = \sum x_i/n$ за последнее время перевалило отметку более 100 млн т.

Можно отметить, что динамика представленных графиков экономических показателей зернового производства демонстрируют волатильные процессы. Межгодовые колебания значений экономических показателей зернового производства ЕЧР и АЧР реверсируют резкими перепадами спад/подъем. Несмотря на уменьшение размера посевной площади, можно отметить рост значений показателя урожайности зерновых и зернобобовых культур для Азиатской части России.

Относительно применимости представленного инструментального средства «PieChart» можно отметить, что необходимым условием является наличие входного параметра в виде полной системы событий. Далее, в качестве примера демонстрации исследована динамика объемов продаж питьевой воды условной торговой сети – как временного ряда с сезонной компонентой.

Социально-ориентированный продукт – питьевая вода является невзаимозаменяемым продуктом. Краснодарский край обладает высокой обеспеченностью водными ресурсами, но в то же время здесь низкое качество питьевой воды. Факторов, влияющих на качество питьевой воды очень много, в том числе и проблемы водоснабжения и водоотведения коммунальных служб [264].

Согласно данным, предоставленным в Паспорте Федерального проекта «Чистая вода» доля населения Российской Федерации, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения с 2018 г. до

2024 г. будет расти с 87,5 % до 90,8 % всей страны¹. Увеличение значения данного показателя планируется за счет привлечения муниципалитетов, которые могут стать участником программы и получить на модернизацию систем водоснабжения и водоочистки часть из общего бюджета в 245 млрд руб.².

Вопросам применения эффективных инструментов для успешной реализации стратегии развития индустрии бутилированной питьевой воды посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: В. Л. Квинт, Н. И. Сасаев, А. С. Хворостяная [126], А. В. Смолов, Г. Казанова, Дж. Абудувайли, Г. Ен Сяо [477], Ф. Фольц [425], О. Б. Петрова, Е. В. Попова, Д. Н. Савинская [272] и другие.

В работах [61, 141] рассматривают вопросы повышения конкурентоспособности розничной торговой организации и эффективности ее финансово-хозяйственной деятельности за счет управления ассортиментом продукции, а также приведены особенности и результаты реализации креативной предпринимательской идеи организации региональной торговой сети по продаже питьевой воды.

Для анализа данных в малом бизнесе применяются следующие методы и инструментальные средства визуализации:

- диаграммы (круговые, гистограммы, линейные графики);
- интерактивные дашборды – это инструменты, которые позволяют аналитикам быстро просматривать информацию и отслеживать ключевые показатели производительности. Они могут быть настроены для отображения данных в режиме реального времени и могут включать детальные отчеты и графики [147, 150];
- географические карты – это визуальное представление данных на карте, которое помогает аналитикам понимать, где происходят события и какие регионы

¹ Паспорт федерального проекта «Чистая вода» [Электронный ресурс]. – URL: http://oldgkh.krasnodar.ru/_files/docs/2019/paspor_fp_chistaia_voda.pdf (дата обращения: 27.03.2022).

² Все что нужно знать о федеральной программе «Чистая вода» [Электронный ресурс]. – URL: <http://gidros.org/blog/vse-chto-nuzhno-znat-o-federalnoy-programme-chistaya-voda/> (дата обращения: 27.03.2022).

(территории) являются наиболее важными для бизнеса. Они могут быть использованы для анализа продаж, клиентской базы и других данных;

– инфографика – это графическое представление информации, которое помогает аналитикам быстро и эффективно понимать данные. Она может быть использована для представления сложных (структурированных) данных в простой и понятной форме.

Перечисленные методы и средства помогают аналитикам быстро и эффективно понимать информацию и принимать обоснованные решения для развития бизнеса. Методология исследования включает в себя ретроспективную оценку рынка питьевой воды на примере объема продаж бутилированной продукции «Пилигрим» и «Кубай» (19 л).

В работе представлена демонстрация авторской разработки «PieChart» [302] для визуализации структурных данных. *Отличительной особенностью* представленного инструментального средства является анализ и визуализация структурированных данных одновременно в трех плоскостях: временной, территориальной, по выбранному показателю, что позволяет более полно учитывать специфику исследуемой предметной области в условиях изменения глобальных трендов и тенденций. В качестве примера рассмотрим показатели объемов продаж питьевой воды условной торговой сети по трем локациям: Краснодар, Сочи, Новороссийск (в соответствии с таблицей 2.2).

Таблица 2.2 – Объем продаж питьевой воды в динамике за период с 2018-2020 гг.

Месяц	г. Краснодар			г. Новороссийск			г. Сочи		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Январь	37615	40105	39900	9450	9450	9450	7317	7505	7500
Февраль	38067	40730	40950	10500	10500	10500	7842	8531	8500
...
Ноябрь	38000	40950	42000	9975	10500	10500	7875	9500	10000
Декабрь	42000	43050	43050	7880	10500	10500	9899	9500	10000
Спарклайны									

Динамика продаж по годам в виде графической визуализации в нижней итоговой строке (спарклайны) дает возможность аналитику видеть тенденции для сравнительного анализа всего периода с 2018–2020 гг. Для удобства конечного пользователя, отмечены маркером соответственно наименьшие и наибольшие величины объемов продаж питьевой воды.

Для наглядности и визуального восприятия табличных данных предложено использовать инфографику (таблица 2.3). За основу окраски ячейки таблицы берется максимальная величина объемов продаж за исследуемый период (во всех трех точках сети – август 2020 г.).

В соотношении значений 2020 г. к величинам объемов продаж 2018 г., имеем неотрицательные приращения для всех трех точек торговой сети: Краснодар, Новороссийск, Сочи соответственно в диапазонах (2,44; 11,9); (0; 27,27); (1,01; 42,25) %. Последнее означает, что размах значений, показателей объемов продаж питьевой воды варьируется в пределах года от 11,9 % до 42 %. Самой высокой вариативностью обладает временной ряд объемов продаж питьевой воды для торговой точки г. Сочи.

Согласно динамике представленных спарклайнов, можно говорить о многокритериальной природе риска недополучения прибыли в торговой сети продаж питьевой воды [181]. Исследование динамики объемов продаж в разрезе календарного года для рассматриваемых точек торговой сети является актуальным вопросом с точки зрения развития бизнеса. Визуализация динамики данных в спарклайнах позволяет сделать вывод о том, что все временные ряды продаж питьевой воды являются волатильными, подвержены резким перепадам ежемесячных значений. Наиболее реверсивным поведением обладает временной ряд продаж торговой точки сети, расположенной в г. Новороссийск (курортная зона). Для последнего зафиксированы низкие значения приращения объемов продаж: 0; 0,61; 3,57 (%). На рисунке 2.6 представлена авторская разработка для анализа и визуализации выбранных показателей и данных одновременно в трех плоскостях: временной, территориальной, по объемам продаж питьевой воды точек условной торговой сети [302].

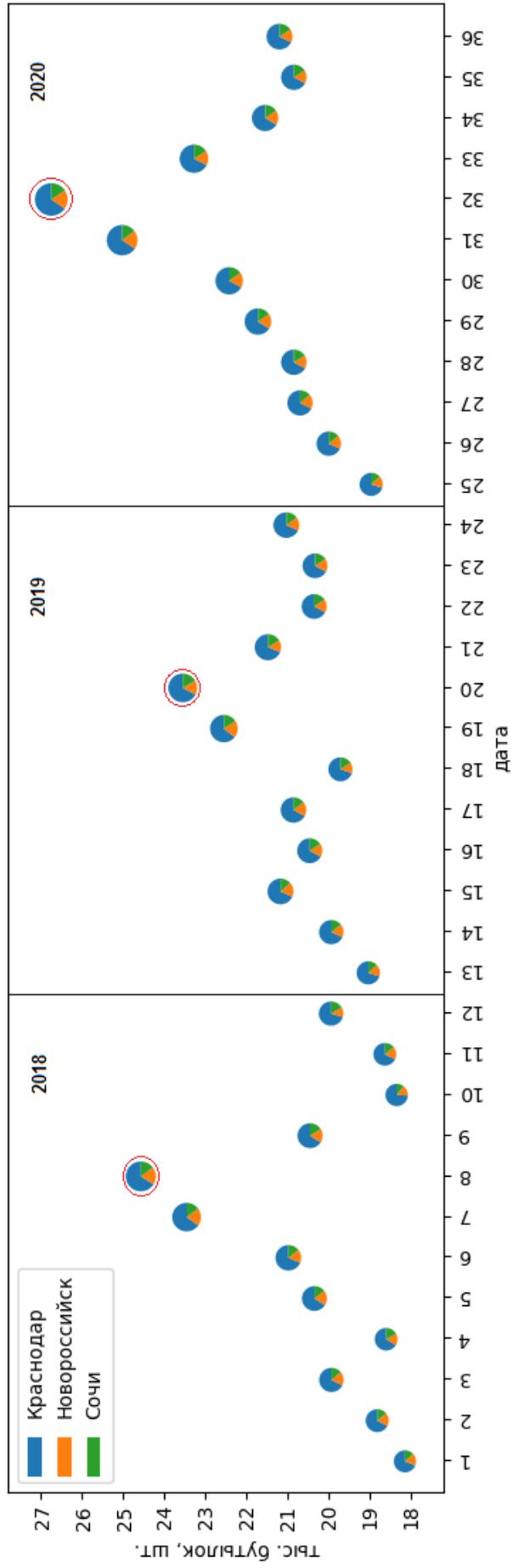


Рисунок 2.6 – Круговая диаграмма значений объемов продаж питьевой воды в разрезе точек условной торговой сети

Для удобства визуализации, наибольшие значения по годам выделены на рисунке 2.6. Суммарное значение объемов реализованной продукции по всем торговым точкам в доле градации позволяет определить аналитику лидера и аутсайдера продаж. Согласно рисунку 2.6, максимальное значение продаж достигается в августе месяце исходя из климатической особенности региона.

Таблица 2.3 – Изменение в процентном соотношении показателя объемов продаж питьевой воды 2020 г. к 2018 г.

Изм. 2020 г. к 2018 г. (%), г. Краснодар	Изм. 2020 г. к 2018 г. (%), г. Новороссийск	Изм. 2020 г. к 2018 г. (%), г. Сочи
5,73	0,00	2,44
7,04	0,00	7,74
3,53	4,55	3,41
11,90	10,00	6,94
6,48	0,61	12,67
4,21	13,04	8,46
7,27	3,57	5,44
7,03	7,22	14,01
14,35	4,55	10,73
5,20	27,27	42,25
9,52	5,00	21,25
2,44	24,95	1,01

Низкие объемы продаж зафиксированы в январе для каждой точки торговой сети. Резкое увеличение/уменьшение в объемах продаж наблюдается в июле/сентябре каждого года, о чем свидетельствуют значительные разрывы и изменение размера круговой диаграммы между месяцами июнь–июль и август–сентябрь соответственно. В целом, можно говорить о том, что временной ряд значений объемов продаж питьевой воды имеет положительную тенденцию роста при сравнении ежемесячных данных в годовых циклах.

На рисунках 2.7–2.8 представлены результаты апробации авторского инструментального средства [302] для экономического показателя сферы туризма за период с 24.06.2017 г. по 04.11.2017 г. в горнолыжный пос. Домбай.

Более информативным является рисунок 2.7, так как градация пропорций для отдельного значения круговой диаграммы более 6 делений является неинформативным. Преимуществом авторской разработки является выбор градаций для исследуемого показателя. Величины круговой диаграммы для 11 и 13 недели примерно равны друг другу, но с разным внутренним составом (рисунок 2.7).

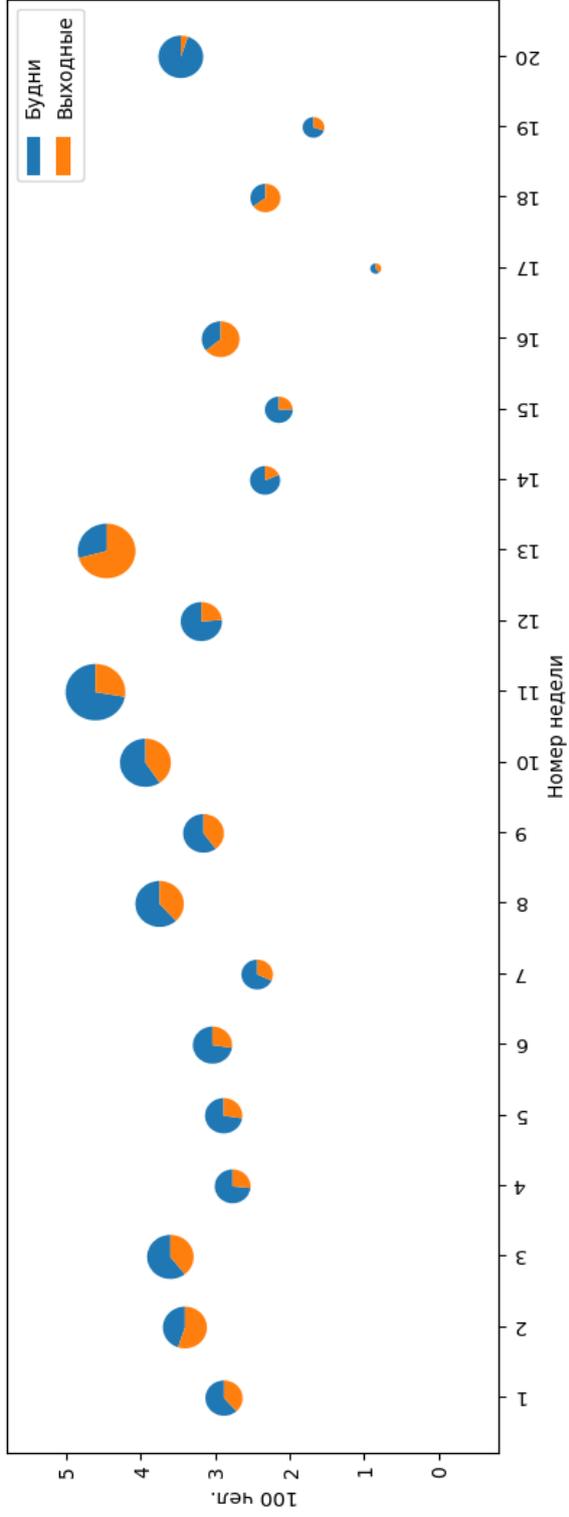


Рисунок 2.7 – Круговая диаграмма ежедневных значений туристического потока в разрезе данных будни/выходные

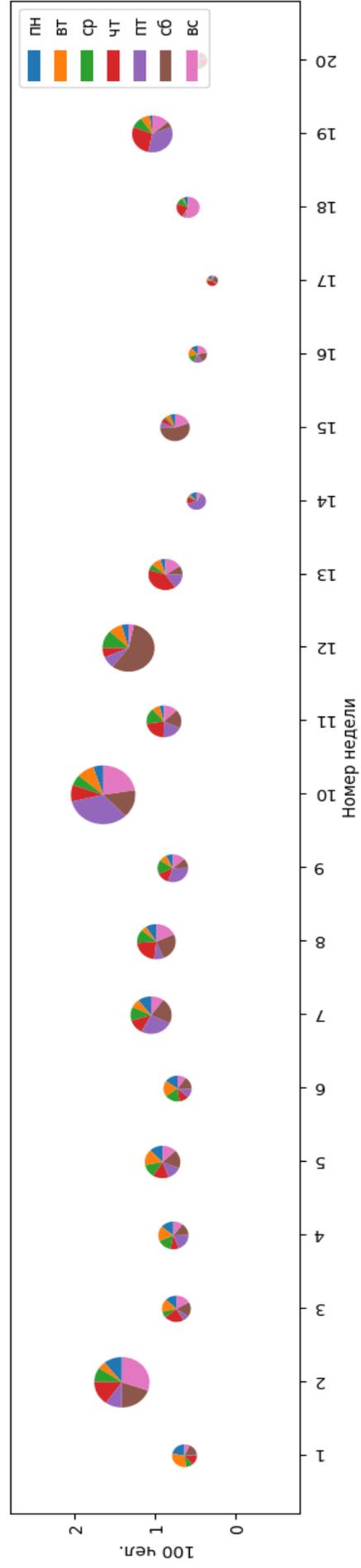
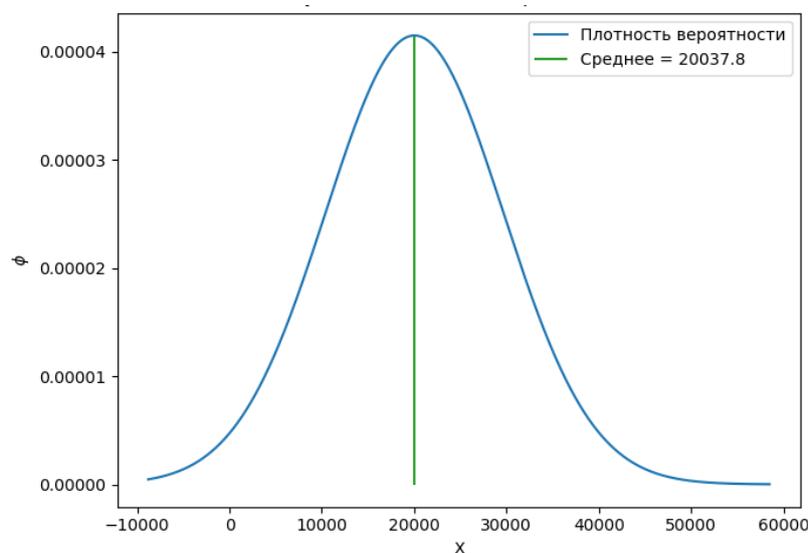


Рисунок 2.8 – Круговая диаграмма ежедневных значений туристического потока в разрезе данных по дням недели

Демонстрация пропорциональных значений для 11 и 17 недели демонстрируют масштаб значений туристического потока в разрезе $\max x_i$ и $\min x_i$ для исследуемого процесса. Применение инструментальных средств при визуализации и анализе структурированных данных позволяет получить оперативную информацию для принятия управленческих бизнес-решений в нечетких условиях.

Проведенный анализ показал достаточно высокую вариацию данных по значениям экономических показателей отдельно выбранных секторов экономики, что требует дальнейших исследований с помощью методов классической статистики и нелинейной динамики.

Исследуем временной ряд ежемесячных значений объемов продаж питьевой воды условной торговой сети за период с 01.05.2006 г. по 01.06.2021 г. На рисунке 2.9 представлены эмпирическая функция распределения и статистические показатели.



$$M(x_i) = 20037.7$$

$$D(x_i) = 92398679.8$$

$$\sigma = 9612.4$$

$$V(x_i) = 48 \%$$

$$A(x_i) = 0,84$$

$$E(x_i) = 0,83$$

Рисунок 2.9 – Основные статпараметры в исследовании ВР объемов продаж питьевой воды

Для исследуемого временного ряда с выраженной сезонной компонентой имеем $\max x_i = 52\,500 < 48875.03$, где последнее значение выражает величину $M(x_i) + 3 \cdot \sigma$. В связи с невыполнением условия подчинения нормальному закону распределения, исследуем исходный ВР методами нелинейной динамики (рисунки 2.10–2.14) [248, 255].

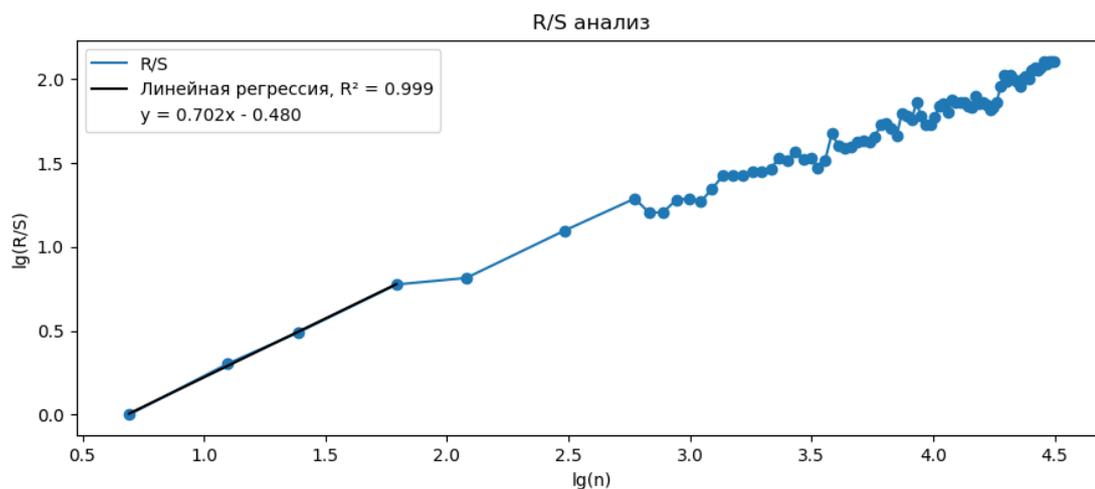


Рисунок 2.10 – R/S-траектория ВР значений объемов продаж питьевой воды

На рисунке 2.10 представлена R/S-траектория ВР объемов продаж питьевой воды. Согласно рисунку 2.10 имеем трендоустойчивый ряд, где показатель Хёрста ($H > 0,7$) принадлежит диапазону черного шума, что характеризует его как персистентный и трендоустойчивый ВР (рисунок 2.11) [254], такие ряды обладают долговременной памятью.

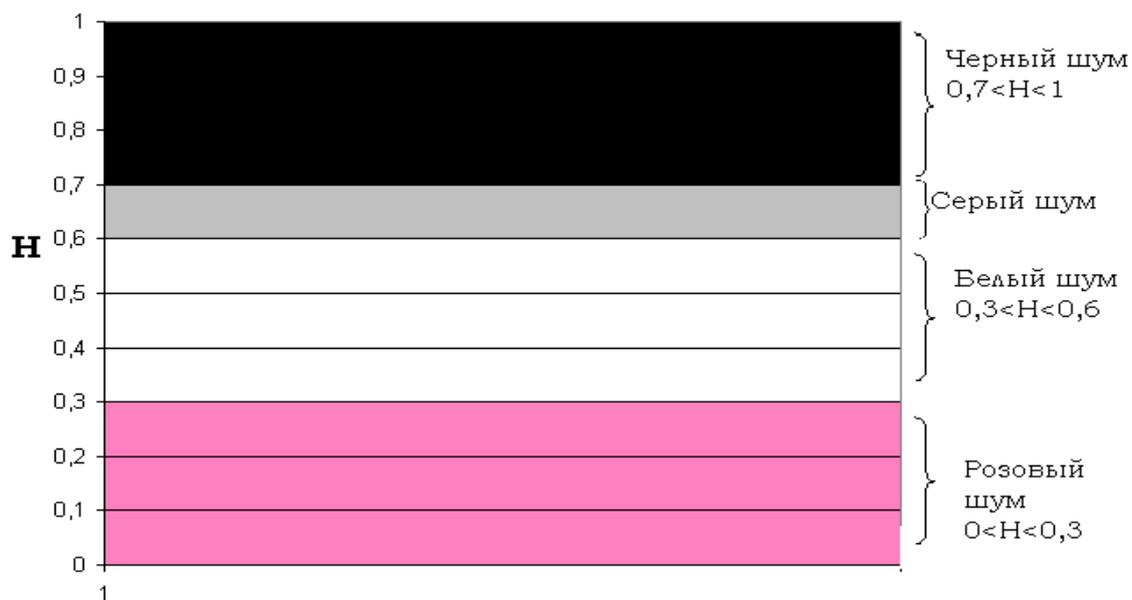


Рисунок 2.11 – Классификация значений показателя Херста (цвет шумов)

Одним из эффективных методов в поиске и выявлении длин квазициклов в персистентных рядах зарекомендовал себя фазовый анализ [59, 252].

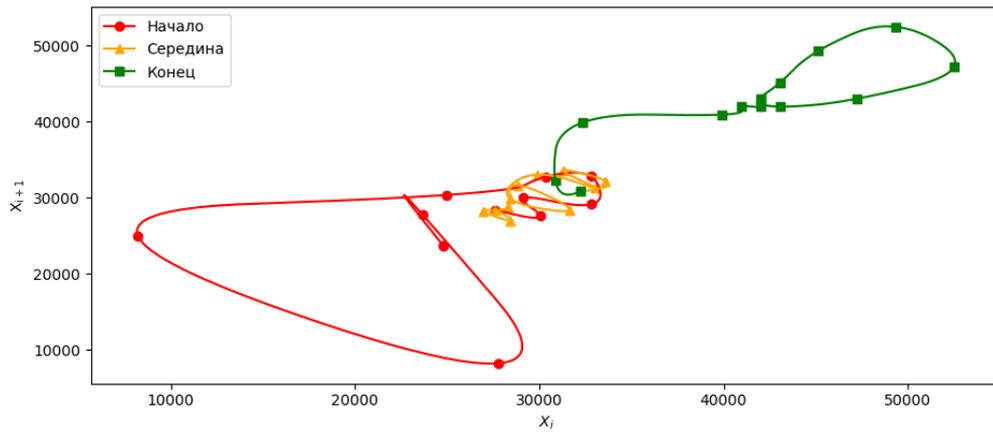


Рисунок 2.12 – Фазовая траектория ВР значений ежемесячных объемов продаж питьевой воды за период с января 2018 г. по декабрь 2020 г.

С целью демонстрации построим фазовую траекторию для фрагмента ВР ежемесячных значений объемов продаж питьевой воды за период с января 2018 г. по декабрь 2020 г. Для экономической интерпретации, исходный ВР разделен на три равных подпериода (года), а значения каждого диапазона окрашены в соответствующие цвета: начало ряда – красным, середина ряда – желтым, конец ряда – зеленым. Визуализация фазового портрета исследуемого ВР (рисунок 2.12) говорит о наличии аттрактора, включающего в себя последние значения данных I подпериода, полностью все данные II подпериода и несколько начальных данных III подпериода.

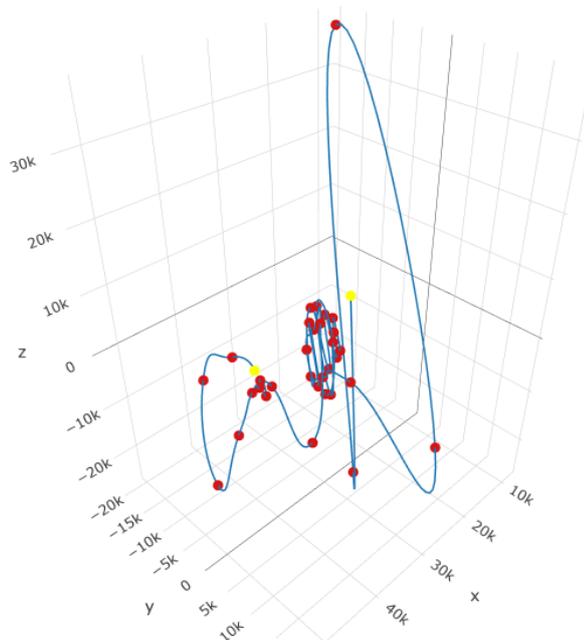


Рисунок 2.13 – Фазовая траектория в трехмерном пространстве ВР значений ежемесячных объемов продаж питьевой воды за период с января 2018 г. по декабрь 2020 г.

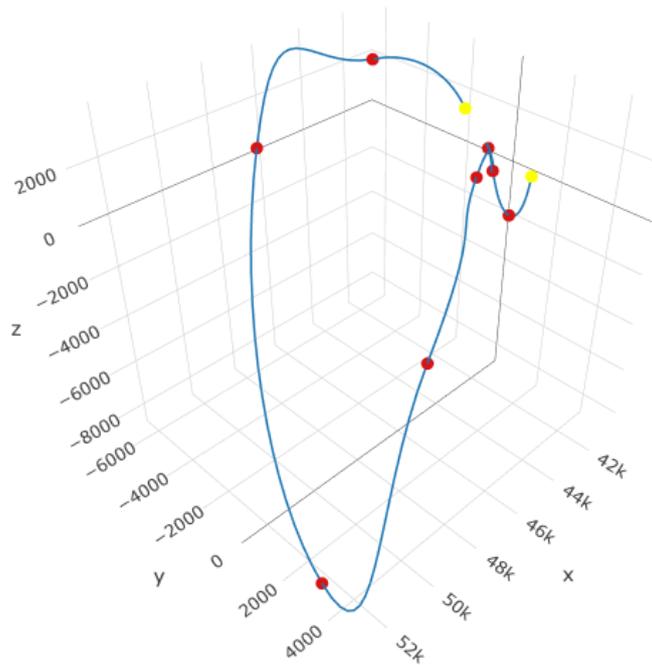


Рисунок 2.14 – Фазовая траектория в трехмерном пространстве ВР значений ежемесячных объемов продаж питьевой воды за период с января 2020 г. по декабрь 2020 г.

Группирование значений (наличие аттрактора) можно заметить в центре рисунка 2.13. Отдельно выделенный фазовый портрет исходного временного ряда объемов продаж питьевой воды за календарный 2020 г. представлен на рисунке 2.14, который представляет собой полный квазицикл с лагом. Расщепление исследуемого экономического процесса на циклы, квазициклы, а также перечисленные ранее сложности при использовании стохастических подходов (рисунок 1.1) вызывает научный и практический интерес в создании такой исследовательской платформы, которая будет определять предпрогнозные характеристики ВР, в том числе и неподчиняющихся нормальному закону распределения.

Основным вопросом методологии создания единого комплекса инструментов является среднесрочное прогнозирование социальных, финансовых и агро-экономических процессов. Отличие авторской платформы состоит в использовании нетрадиционного синергетического анализа и синтеза прогнозов с одновременным взаимодействием нескольких взаимодополняющих алгоритмов экономико-математических методов, что позволяет исследовать многомерную зависимость, а также строить частные прогнозы с их обобщением в один прогнозный показатель.

Детальнее остановимся на первой характерной части многокритериального прогнозирования. Чтобы обобщённый прогноз системно учитывал разные первопричины воздействия внешних условий на экономический показатель (например, на урожайность), надо использовать различные алгоритмы прогнозирования с последующим сведением множества прогнозных характеристик к единому обобщённому показателю. Каждый из новых алгоритмов находит, в конечном счёте, синхронизм «вторичной» реакции – урожайности – с объясняющим её возмущающим «первичным» воздействием. Предлагаемые методы оказываются более *релевантными* процессам в социальных, финансовых и агроэкономических системах, они приносят в прогноз экономического показателя инновационные и обобщающие элементы, отсутствующие в методологии наименьших квадратов.

Кластер 1 новых методов. Как новый инструментарий для работы с временными рядами экономических показателей на примере данных отдельных секторов экономики, не удовлетворяющих условиям эконометрического анализа, в работе используются модели линейных клеточных автоматов, методы фрактального анализа, методы фазового анализа, разложение фазовых портретов на циклы или квазициклы.

В последние годы клеточные автоматы привлекают большое внимание во многих областях науки и технологии и как средство для вычислений и как концептуальная конструкция.

Фрактальный анализ получает характеристики циклов временного ряда экономического показателя с помощью фазового анализа, единственного способа получить новые, ранее неизвестные знания об этом квазипериодическом эволюционном экономическом процессе.

В результате во фрактальном анализе получается согласованность и непротиворечивость качественных оценок всех предпрогнозных характеристик динамики рассматриваемых экономических временных рядов.

В исследовании предложено использовать клеточно-автоматную прогнозную модель, которая оперирует не числовыми значениями измеряемых наблюда-

ний, а их качественными (лингвистическими, вербальными) оценками при характеристике динамики рассматриваемого процесса.

Кластер 2 новых методов составили аналитические модели на базе «кусочной» концепции. Представление этой концепцией экономической и природной эволюции более полно соответствует особенностям современной «рваной» динамики с нестационарными стохастическими возмущениями, что проявляется через нестабильность социально-экономической действительности при спонтанной и достаточно быстрой смене институциональных правил, влияющих на экономическое развитие [60].

Реализация «кусочной» концепции базируется на сплайн-аппроксимационном аппарате со сплайн-функциями в качестве рабочих инструментов. Сплайн-аппарат принципиально выделяется своей точностью, т. к. он пересекает все точки временного ряда, улучшая как качество интерполяции и анализа внутри отчётного периода, так и надёжность экстраполяции в прогнозном продолжении. Строятся гладкие непрерывные аналитические ансамбли – полиформные сплайнмодели унифицированного временного класса – с явным получением и использованием производных процесса. Если «тонкий» состав экономической или природной конъюнктуры претерпевает изменения при переходе от одного временного фрагмента к другому, то аппарат производит автоматически и оптимально операцию гладкой непрерывной «сшивки» частей модели в ансамбль, математически выдерживая положение о непрерывности экономических процессов, известное вот уже 125 лет от Альфреда Маршалла: «*Natura non facit saltum*» – «Природа не делает скачков» [60]. Но сами экзогенные условия, часто и спонтанно меняющиеся в экономическом законодательстве, типичны для переходных экономик. Можно сказать, что сплайны, как математический аппарат, оказываются адекватными системе российской государственности.

«Куски» сплайна фракталоподобны (самоподобны), имеют одну математическую форму, но разные по величине коэффициенты, Они могут единообразно аналитически, графически и численно преобразовываться и реализовываться, образуя после «сшивки» единый аппроксимирующий ансамбль.

В источнике [60] сказано, что сплайн-функции оказались эффективными как при согласовании встречи соседних фрагментов внутри отчётного горизонта, так и при организации «стыка» между окончанием отчётного состояния процесса и началом его прогнозной части. Вход в горизонт прогноза стал точнее при экстраполяции не только показателей модели, но и их производных.

Свойство минимальности «нормы» или «кривизны» сплайнов (теорема Холлидея) заставляет их графические образы проходить от узла к узлу с минимальной кривизной, что гарантирует модель от появления в ней так называемой «ложной цикличности» (эффект Слуцкого-Юла). Статистика процесса стала более точно переноситься из прошлого в будущее, решения в горизонте прогноза в наибольшей степени сохранили статистические свойства процесса, присущие ему внутри отчётного периода [60].

Исследование призвано найти место и роль обобщённых прогнозных решений в сложных мега-, макро-, мезо-, микро- и наноэкономических социальных, финансовых, агроэкономических системах. Исследовательская платформа, базирующаяся на многокритериальном прогнозировании, может существовать как самостоятельный комплексный инструмент экономической науки, институционально объясняющий существование глобальных свойств решений в континууме разнопричинной системной неустойчивости и хаотичности антиперсистентного социального, финансового, агроэкономического и иного поведения [60]. Проведённые исследования составили системную, теоретическую, математическую, методологическую, инструментальную и практическую основу актуального научного направления, важного, в том числе для прогнозирования социальных, финансовых, агроэкономических процессов, обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого экономического развития России.

2.2. Исследовательская платформа прогнозирования сложных процессов на базе экономико-математических методов

Синергетическая методология прогнозирования – это подход к прогнозированию, который использует концепции синергетики для анализа сложных систем.

Опираясь на принципы системного анализа, эта методология учитывает не только отдельные компоненты системы, но и их взаимодействие и *возможные эффекты*, которые возникают *в результате синтеза их взаимодействия*. Синергетическая методология прогнозирования особенно полезна для анализа систем с нелинейными связями и, как результат, для прогноза сложно предсказуемой динамики их взаимовлияния. Она также может быть полезна как для диагностики поведения самой системы в различных условиях, так и для выявления наилучших стратегий управления этой системой в развитии [167, 170, 184, 188].

Развитие компьютерной математики и методов имитационного моделирования позволило изучать реальные различные процессы человеческой жизнедеятельности буквально на мониторе ПК. Факторы глобализация мировой экономики и ускорение ее экономической динамики привели в конце XX столетия к появлению новой «нелинейной парадигмы» и науки синергетики, состоящей из таких новых направлений, как новая *R/S*-статистика Херста, фрактальный анализ, фазовый анализ, теория детерминированного хаоса.

Понятие «нелинейная парадигма» можно определить следующим образом: на практике, для большинства экономических процессов незначительное изменение значений «параметра порядка» приводит к изменению динамики развития системы. Отличительной особенностью «нелинейной» и «линейной» парадигм является то, что в экономике, природе, биологических системах и сельскохозяйственном производстве временные ряды основных показателей, имеют «долговременную память», что в свою очередь позволяет сделать вывод о неподчинении эмпирической функции распределения этих ВР закону Гаусса. Используя современные средства компьютерной математики в динамике исследуемых ВР выявлены такие характеристики, как персистентность, имеющая классификацию от белого до черного шума, наличия циклов и квазициклов.

Сочетание слов «синергетическая методология» о прогнозировании экономических процессов (эквивалентами могут служить слова «многомерная», «многокритериальная», «системная» методология) использует известный дуализм: во-первых – как частное определение слова «синергетика», что в переводе с грече-

ского – «содействие», «совместная деятельность», «сотрудничество», «соучастие», во-вторых – как определение нелинейной технологии прогнозирования с конструктивным формализмом, предсказательностью, определённой кругом новых стохастических нелинейных идей и алгоритмов. Нужно заметить, что процессы синергетического объединения элементов теории, поиска частных решений и их агрегации в обобщённый результат идут непрерывно на всех уровнях организации материального мира – в природе, науке и обществе. Они определяются императивами, называемыми «механизмами сборки». Поэтому будем одномоментно говорить о синергетике как о концепции (хотя не забываем, что в общем виде синергетика – «теория сложных систем, изучающая общие закономерности явлений и процессов в сложных неравновесных системах, включая экономические и биологические»), так и о новой анализирующей и прогнозирующей технологии.

Рабочим инструментом в непрерывном анализе, прогнозировании, в анализе циклов становится сплайн-аппроксимация. Под аппроксимацией понимается замена одной «неудобной» для описания и расчетов функции другой, «удобной», непрерывной, имеющей аналитическое описание и производные, так, чтобы «уклонение» («расстояние») между функциями было наименьшим. Далее определим основную математическую задачу теории аппроксимации и введем следующие обозначения:

Пусть ω – точечное множество из пространства произвольных чисел переменных. Во множестве ω заданы следующие функции: $f(K)$ и $F(K; B_1, B_2, \dots, B_N)$, причем последняя задана от точки $K \in \omega$, а также она зависима от перечисленных параметров B_1, B_2, \dots, B_N , которые в свою очередь необходимо определить следующим образом: отклонение во множестве ω функций $f(K)$ и $F(K; B_1, B_2, \dots, B_N)$ должно быть минимальным. В данном случае под отклонением также понимают интервал между этими значениями двух функций. Определим, что $f(K)$ – это «решетчатая» функция на N точках (например, таблица урожайности по годам), $F(K; B_1, B_2, \dots, B_N)$ некоторый полином N -ой степени с параметрами B_1, B_2, \dots, B_N , полученными опытным путем.

Основное отличие сплайна от степенного многочлена при N точках наблюдений – единый степенной полином $N-1$ -го порядка («мономодель») заменяется сплайном или многозвенником, состоящим из N отрезков «кусочного» степенного полинома меньшего порядка (обычно третьего) с автоматической и оптимальной сшивкой фрагментов в узловых точках (кусочно-аппроксимационная «полиформная модель»). Таким образом, непрерывный сплайн S_Δ состоит из отдельных фракталоподобных частей на разных временных отрезках или подмножествах «узлов» «сетки» с единым математическим описанием, но различными коэффициентами при фрагментах, он единственный будет моделировать поведение всего процесса. Многозвенная модель представляет собой в конечном итоге один гладкий, аналитический ансамбль, части которого «сшиты» оптимальным образом.

Из всех рассмотренных сплайн-систем, в работе чаще используются кубические сплайн-функции или сплайны третьего порядка, что основывается на их исследованных и доказанных преимуществах. Кубический сплайн и его три производные (1D, 2D, 3D) запишем:

$$\begin{aligned} \text{SPL}(x) := & \frac{1}{6} \frac{M_{j-1} (X_j - x)^3}{h_j} + \frac{\frac{1}{6} M_j (x - X_{j-1})^3}{h_j} \\ & + \frac{\left(Y_{j-1} - \frac{1}{6} M_{j-1} h_j^2 \right) (X_j - x)}{h_j} + \frac{\left(Y_j - \frac{1}{6} M_j h_j^2 \right) (x - X_{j-1})}{h_j} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\text{SPL1D}(x) :=$$

$$-\frac{1}{2} \frac{M_{j-1} (X_j - x)^2}{h_j} + \frac{\frac{1}{2} M_j (x - X_{j-1})^2}{h_j} - \frac{Y_{j-1} - \frac{1}{6} M_{j-1} h_j^2}{h_j} + \frac{Y_j - \frac{1}{6} M_j h_j^2}{h_j}$$

$$\text{SPL2D}(x) := \frac{M_{j-1} (X_j - x)}{h_j} + \frac{M_j (x - X_{j-1})}{h_j} \quad (2.6)$$

$$\text{SPL3D}(x) := -\frac{M_{j-1}}{h_j} + \frac{M_j}{h_j} \quad (2.7)$$

где h – «шаг» «сетки», $h_j = X_j - X_{j-1}$;

$M_j = SPL2D(X_j) = S_{\Delta}''(Y;X_j)$ ($j = 0..N$) – согласно установленным канонам «механических сплайнов», M_j определим, как «моменты»;

$SPL1D = S_{\Delta}'(Y;X)$ – в узловых точках X_j будут «наклонами».

Значения функции $S_{\Delta}(Y;X_j - 0) = S_{\Delta}(Y;X_j + 0) = Y_j$ также, как значение производной этой функции $S'_{\Delta}(Y;X_j - 0) = S'_{\Delta}(Y;X_j + 0)$;

$S''_{\Delta}(Y;X_j - 0) = S''_{\Delta}(Y;X_j + 0)$ обеспечивает так называемую «сшивку» узловых точек сплайн-траектории $\{X_j, Y_j\}$ ($j = 1..N$) следующим образом: функции $S_{\Delta}(Y;X)$, $S'_{\Delta}(Y;X)$, $S''_{\Delta}(Y;X)$ становятся непрерывными по дискретной сетке $\{E = X_1, \dots, X_N = F\}$. Непрерывность $N-2$ обеспечивается правилами соединения сплайн-траектории с обеих сторон от координат точек $\{X_j, Y_j\}$ ($j = 1..N$). Таким образом, достигается непрерывность функций $SPL2D = S_{\Delta}''(X)$ и $S_{\Delta}(X)$ на интервале $[E, F]$, а учитывая свойство непрерывности функции $SPL1D = S_{\Delta}'(X)$ в точках $\{X_j, Y_j\}$ ($j = 1..N$) имеем:

$$\frac{h_j}{6} M_{j-1} + \frac{h_j + h_{j+1}}{3} M_j + \frac{h_{j+1}}{6} M_{j+1} = \frac{Y_{j+1} - Y_j}{h_{j+1}} - \frac{Y_j - Y_{j-1}}{h_j}, j = 1..N-1. \quad (2.8)$$

Предложенное сплайн-построение полностью согласуется с утверждением теоремы Холлидея о минимизации интеграла:

$$E = \int_a^b [f''(X) - S_{\Delta}''(X)]^2 dX \rightarrow \min \quad (2.9)$$

Именно это свойства кубического сплайна минимизирует (оптимизирует) кривизну, сохраняя при этом «память» кривой (процесса) для увеличения точности прогноза, а при геометрических построениях узлы (точки) соединяются линией с минимальной кривизной как в двумерном, так и в трехмерном пространстве, что делает сплайн «гладким» и «приятным для глаза».

В экономических и природных процессах обнаруживается три десятка принципиальных достоинств сплайн-аппроксимации. Главные из них: сплайны «подвижные и гибкие» [23, 59], непрерывные и гладкие вместе со своими производными, эффективные, всегда существуют, единственны, сходятся быстро и равномерно, аналитичны, мал порядок аппроксимирующего полинома, адекватно представление ими систем с переменной структурой, инвариантна внутренняя

структура, удобная замена рядов Фурье при моделировании периодических движений, сохранение временного показателя каждого дискретного отсчета, прохождение сплайна точно через узловые точки делает его точность абсолютной, отменяет операцию минимизации в методе наименьших квадратов. Для сплайна характерны простота вычислений, сплайн хорошо проявил себя в фазовом анализе и параметрическом построении взаимосвязей, он не критичен к величине и вариативности шага, восстанавливает пропущенные значения, не реагирует на «ложную цикличность» или «эффект Слуцкого-Юла».

Следующим этапом исследования становится выяснение причин, вызывающих циклические движения урожайности. Философские и математические способы описания паттернов причинно-следственных связей мы находим у В. А. Тартаковского, который впервые предложил «принцип Фурье-синхронизма», позволяющий определять долю спектрального состава «вторичного» (урожайности, например) от состава некоторого «первичного» источника. В его работах по дендрохронологии полагается, что внешнее вынуждающее воздействие инициирует, регулирует и синхронизирует природно-климатические процессы. Солнце вносит решающий вклад в сложную пространственную структуру, комплексной характеристикой его активности служат числа Вольфа. Природно-климатические и биологические процессы на Земле в каком-то смысле имманентны изучаемой системе, традиционные же подходы не являются очевидными.

Синхронность, согласованность составляющих выделяется как сущностный фактор солнечно-земных связей, что подтверждает опыт. Цикличность движений в солнечной системе проявляется на Земле в постоянной смене времен года, дневного прогрева и ночного охлаждения. Эти изменения отражают детерминизм, обусловленный конструкцией солнечной системы, он частично определяет климат на некотором временном интервале. Синхронность процессов проявляется в совпадении или несовпадении гармонических составляющих их существенных признаков. Синхронность получает конструктивное определение, которое положено в основу декомпозиции сигналов.

Например, в представленном исследовании существенными «первичными» природно-климатическими источниками, влияющими на урожайность, кроме Солнца, солнечной активности (инсоляции), чисел Вольфа и цикличности инсоляции рассмотрены: количество осадков, цикличность количества осадков или относительной влажности воздуха; цикличность температуры окружающей среды и поверхности земли, включая возможные периодические возвраты заморозков [181].

Фазовые траектории описываются такой наукой, как экономическая цикломатика, которая позволяет разделить на циклы сложную многослойную эволюцию агроэкономических процессов [406].

Прогноз, предсказание будущих состояний социально-экономической системы, в частности, урожая зерновых, его поиски, вычисление, валидация во все времена было актуальным занятием, поскольку от будущего урожая зависела жизнь человека, процветание стран и народов, а зачастую и продолжение человеческого рода. Среди прогнозов многих социально-экономических показателей прогнозы урожайности зерновых культур составляют основу последующего экономического программирования, это и вычисление ожидаемых объёмов сбора зерна, стоимости урожая, себестоимости и прочих экономических показателей зернового хозяйства. Всё это в значительной мере относится к прогнозам урожайности озимой пшеницы, одной из древнейших, важнейших и наиболее распространённых продовольственных культур на земном шаре. Являясь высокоурожайной культурой, по содержанию белка озимая пшеница превосходит все зерновые, уступая лишь рису. Полученная продукция имеет низкую себестоимость, поэтому экономически выращивание озимой пшеницы выгодно. Составляя большую часть сельскохозяйственного производства России, она определяет продовольственную безопасность страны, поставляется в значительной части на сельскохозяйственный экспорт, что важно в период низких цен на нефть и международных санкций.

В чём же состоит современная волатильность протекания природных процессов и явлений, важных для прогнозирования урожайности зерновых, особенно

если речь идёт о южных областях страны – Волгоградская область, Адыгея, Карачаево-Черкесия, Кабардино-Балкария, края Краснодарский и Ставропольский. Прежде всего, это начавшееся с 1860 г. повышение средней температуры атмосферы $x_{avg} = \sum x_i/n$, водной среды и поверхности Земли, что привело к увеличивающемуся съёму водяного пара с просторов океанов, морей, озёр и рек. Избыток воды в атмосфере приводит к более частым и обильным (часто катастрофическим) осадкам, что особенно рельефно замечается в тех местах, где раньше ощущался недостаток влаги, свирепствовали частые засухи с полной потерей урожая озимых культур.

В исследовании обозначена проблема о необходимости разработки конструктивного метода для получения предпрогнозной информации ВР в рамках развивающейся в данное время тенденции применения так называемых комплексных и графических тестов в процессе моделирования природно-экономических систем методами нелинейной динамики [174]. Суть применения графических и комплексных тестов сводится к тому, чтобы выявить такие неустойчивые квазипериодические циклы (фазовые квазициклы [208, 299]), в том числе, когда весь фазовый портрет содержит в себе странный аттрактор [190, 208, 313].

Резюмируя, с учетом влияющих на него природно-климатических факторов, обладающих риск-экстремальными значениями и свойством нелинейности.

В работе предложено решение основной проблемы математического моделирования механизмов предвидения и прогнозирования в современных социально-экономических условиях с учетом природно-экономических временных рядов данных, а именно, наличия в этих рядах редких риск-экстремальных значений (событий) и в некоторых случаях работа с ограниченными данными в виде малых выборок (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Экономико-математическая исследовательская платформа прогнозирования волатильных процессов на базе синергетической методологии (на примере зернового производства)

*Составлено автором

Первая особенность исследования состоит в разделении спектра предлагаемых подходов на непрерывные и дискретные. Вторая особенность – во времени или по длине горизонта прогноза будем различать 3 вида прогнозов экономических показателей отдельно выбранного сектора экономики [166]. Определим первый вид – «прогноз-1» – это «внутригодовое» прогнозирование социально-экономического фона, например, суждение о будущем размере урожая зерновых культур генерируется внутри прогнозируемого года, по текущим характеристикам «отчётного периода». Он расширяется по мере приближения ко времени уборки

зерна. «Горизонт прогноза экономических показателей зернового производства», наоборот, при этом сужается. Чем ближе мы находимся к моменту сбора урожая, тем точнее следует ожидать данные «прогноза-1».

«Прогноз-2» – это «годовое» прогнозирование экономических показателей, прогноз определяется при постоянной длине «горизонта прогноза» в один, два, реже три и более года, при этом длина «отчётного периода» временного ряда входного параметра превышает длину «горизонта прогноза» в несколько десятков раз. Это наиболее известная методология, когда по характеристикам значений предшествующих лет определяется прогноз в искомом году, следующим за последним годом «отчётного периода».

«Прогноз-3» – «длительное», «длинное», «блочное» или «циклическое» прогнозирование экономических показателей, которое определяет будущее значение на несколько лет вперёд в «горизонте прогноза» некими обобщёнными характеристиками траектории исследуемого процесса за предшествующие годы [382]. Такими обобщёнными характеристиками в исследовании выступают: циклы урожайности зерновых культур, так что прогноз экономических показателей зернового производства удаётся рассчитать вперёд, по крайней мере, на длину очередного цикла (3 глава); значение цен на акции и котировок выбранных элементов финансового рынка (4 глава); величина туристического потока (5 глава).

Кажется, что «прогноз-3» оказывается более трудным и принципиально неточным процессом предвидения экономического будущего из-за нестационарности, турбулентности, стохастики внешних факторов (например, риск-экстремальных процессов, влияющих на экономические показатели зернового производства) и повышающейся с каждым годом их волатильности, из-за сложной архитектоники мирового рынка, быстроты современной усложняющейся и ускоряющейся динамики внешних условий, способов хозяйствования в условиях глобальной экономики, сетевой экономики, экономики услуг. Однако если признать, что цикличность есть некоторое всеобщее свойство материи, то имеет смысл продолжать прогнозирование именно по циклическим траекториям, стабильность характеристик которых гораздо выше, чем стабильность повторяемо-

сти отдельных точек процесса. Тем более, что в прошлом, в «отчётном периоде», мы уже получали аналитически, графически и численно набор циклических траекторий. Такое «блочное» прогнозирование в сочетании с другими подходами позволяет находить и уточнять среднесрочный прогноз экономических показателей отдельно выбранных секторов экономики [166].

Циклические закономерности многих экономических параметров, в частности, урожайности зерновых культур и других показателей зернового производства успешно выявляются фазовыми методами, которые могут быть использованы как в непрерывном, так и в дискретном анализе и прогнозировании экономических показателей.

Наблюдаемые сейчас циклы урожайности представляют из себя странную и сложную взаимосвязь сезонных периодических колебаний, имеющих некоторое «солнечное» обоснование и известную инерционность, с периодическими движениями, не имеющими заранее определённых длин периодов и причин (назовём их «истинными» циклическими процессами), с частями остаточного стохастического «шума» и событийными составляющими динамики. Все они реагируют на указанный выше спектр природно-климатических влияний. В то же время урожайность зерновых культур неперiodически зависит в основном от таких факторов, как: способы хозяйствования на полях, качество семян продукции, технологическое оснащение, календарные сроки и многое другое.

Предложенная блок-схема синергетической методологии прогнозирования волатильных временных рядов (на примере данных сектора зернового производства) во второй главе замыкается на исследовании сложных процессов.

Это направление изучает взаимосвязанные процессы одновременно с разных точек зрения, системно сочетая частные показатели прогнозов экономических показателей в одном глобальном решении (отдельно выбранного сектора экономики). Областью применения многокритериального прогнозирования являются эволюционные процессы, обладающие «долговременной памятью», характерных как для агроэкономических, так и для финансовых, социальных временных рядов [176]. Предлагаемая методология призвана облегчить усилия исследо-

вателей при поиске прогнозов значений экономических показателей в сложных, стохастических, многокритериальных системах в многомерном операционном пространстве [15, 160]. Характерные части этого научного направления представлены на рисунке 2.15 (на примере сектора зернового производства). По мере движения к обозначенной на рисунке 2.15 цели («Варианты управленческих решений»), появлялись частные задачи, решение которых внесло свой вклад в достижение этой цели. Далее перечислены эти задачи:

Первая – с целью реализации новой методологии многокритериального прогнозирования с большим числом взаимодействующих математических и инструментальных конструктов выявилась потребность в создании единой математической исследовательской «платформы»;

Вторая – в рамках новой «платформы» потребовалось исследовать и найти законы «первичного» воздействия внешней среды с её увеличивающейся в последнее время волатильностью и турбулентностью на «вторичный» показатель – экономический показатель отдельно выбранного сектора экономики (например, урожайность зерновых культур в отрасли АПК или туристический поток в сфере туризма).

Платформа системы поддержки управленческих решений для получения среднесрочного прогноза экономических показателей отдельно выбранного сектора экономики на базе синергетической методологии включает в себя алгоритмы работ таких методов нелинейной динамики, как: R/S -анализ, фазовый анализ, показатель Ляпунова, линейный клеточный автомат запрограммированы в виде приложения «Методы нелинейной динамики» (свидетельство регистрации № 2020611841 Российского агентства по патентам и товарным знакам), язык программирования – Python 3.0, среда проектирования графического интерфейса приложения – QT Designer 5.11.2 [305]. Свидетельство регистрации программы для ЭВМ представлено в Приложении В. *Отличительной особенностью* представленной разработки является комплексное использование перечисленных методов нелинейной динамики в исследовании экономических процессов. Экранные

формы в режиме конструктора и диаграмма классов разработанного инструментария представлены соответственно в Приложениях Г и Д.

Прогнозная модель считается адекватной, если ошибка прогноза не превышает 20 %. В противном случае необходимо применить другой вариант раскраски временного ряда.

Далее перечислены функциональные возможности программы «Линейный клеточный автомат»:

- Импорт/экспорт данных в формате .xls;
- Получение прогноза в виде лингвистической переменной и в числовом виде;
- Оформление результатов процедур верификации и валидации в виде таблиц с последующей выгрузкой данных в приложение Microsoft Office;
- Графическое изображение терм-множества, мгновенное отображение на экране после изменения лексем в лингвистическом временном ряду;
- Расчет прогнозных значений на ближайший период времени (согласно исчисленной глубине памяти).

Апробация авторского инструментария [305] проведена на базе временного ряда ежегодных значений минимальных майских температур (2.2), влияющих на экономические показатели зернового производства. Данные сняты за временной интервал с 1960–2022 гг. в м/с «Зеленчукская» в Карачаево-Черкесской Республике. Обозначен далее, как «Заморозки_КЧР» (в соответствии с рисунком 2.16).

Для верификации метода фазового анализа на базе ВР «Заморозки_КЧР»:

$$X = \{x_s\}, i = \overline{1, n}, \quad (2.10)$$

где s – количество точек временного ряда.

Согласно источникам [254, 447] в качестве построения фазового пространства для ВР (2.10) использован следующий вариант [276, 303, 359]:

$$F_\rho(X) = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{s-\rho+1}\}, i = \overline{1, s - \rho + 1}, \quad (2.11)$$

где ρ – размерность фазового пространства, примем $\rho = 2$ [254].

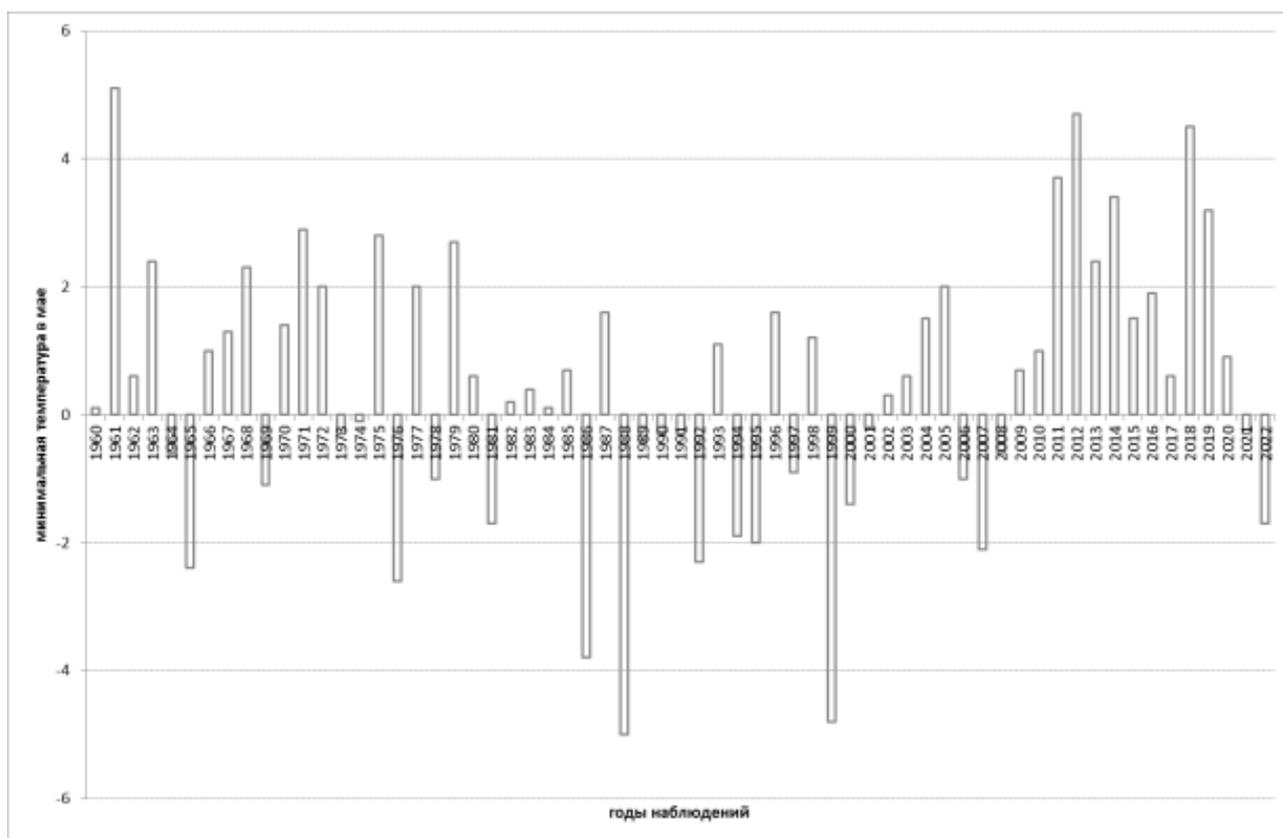


Рисунок 2.16 – Графическая интерпретация временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР»

Алгоритм фазового анализа начинает работу с нахождения и построения квазициклов в исследуемом временном ряде. Каждому квазициклу K_i соответствует набор кортежей $(x_i^j; y_i^j)$, $i=\overline{1, m}$, $j=\overline{1, d}$, где d – длина квазицикла, как предпрогнозная информация для выявления закономерностей в поведении временного ряда риск-экстремальных факторов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства. Выявленные квазициклы временного ряда «Заморозки_КЧР» представлены на рисунке 2.17.

На рисунке 2.17 на квазициклах маркером отмечены годы с весенними заморозками на территории предгорного района Карачаево-Черкесии. Практически в каждом квазицикле находится значение риск-экстремума – заморозка (кроме второго и девятого). Отдельно отметим, что согласно построенных квазициклов для исследуемого временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР» имеются направления звеньев против часовой стрелки, в отличие от классического варианта построения квазициклов в работах [190, 272]. Например,

для квазицикла q_4 имеем направление против часовой стрелки между 4 и 5 узлами, аналогично для квазицикла q_7 имеем противоположное направление траектории у 2 и 3 узлов.

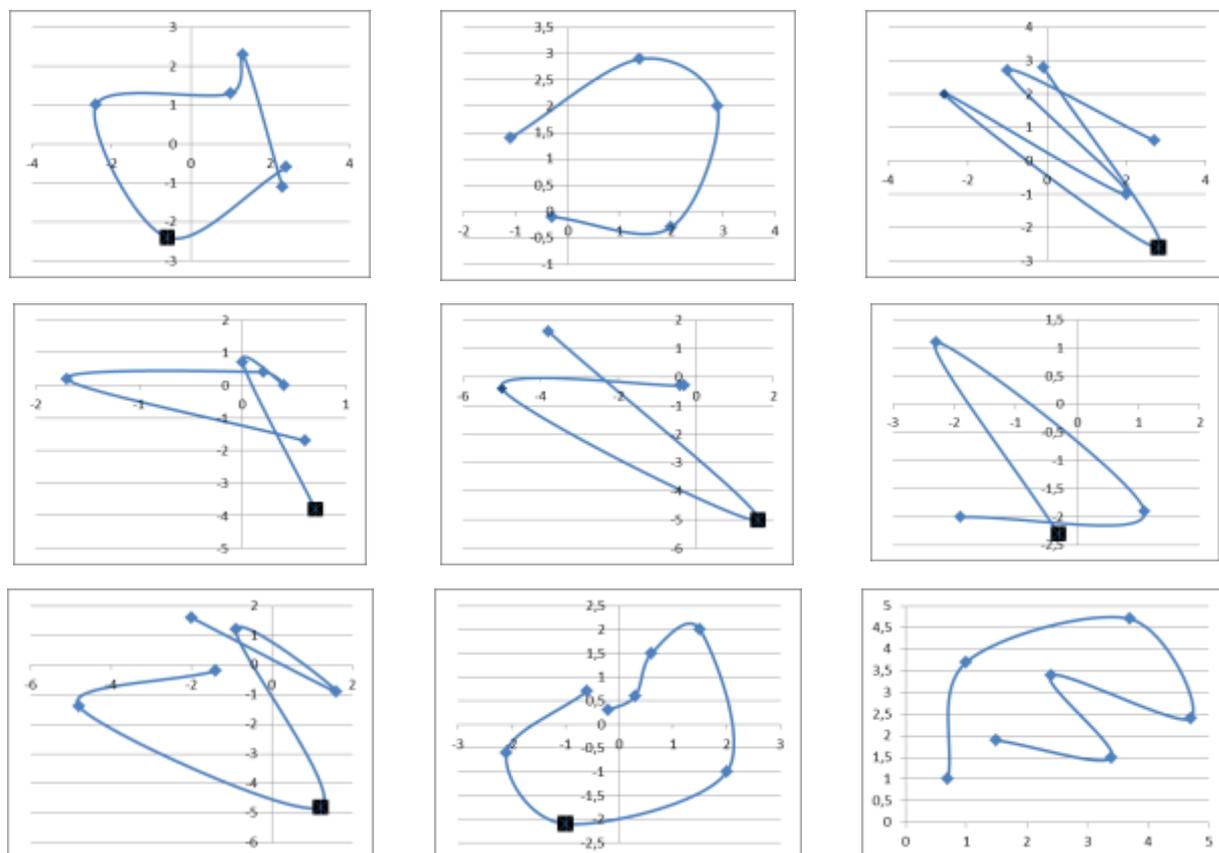


Рисунок 2.17 – Фазовые квазициклы (1–9) временного ряда «Заморозки_КЧР» (значения минимальных майских температур отображены по осям координат)

Данный факт обуславливает хаотичность данного природно-климатического процесса и определенную степень затрудненности получения предпрогнозной информации. Все заморозки находятся в III и IV ортантах декартовой системы координат, причем чаще всего, заморозку IV ортанты предшествует звено из II ортанты. Предшественниками заморозков III ортанты являются звенья из IV ортанты. На рисунке 2.18 представлен фазовый портрет (2.11) временного ряда «Заморозки_КЧР» (2.10). Температурный размах находится в диапазоне $(-5; +5,1)$ °C. Группирование данных наблюдается в диапазоне -2°C до $+2^{\circ}\text{C}$, что является характерным для зоны рискованного земледелия зернового производства.

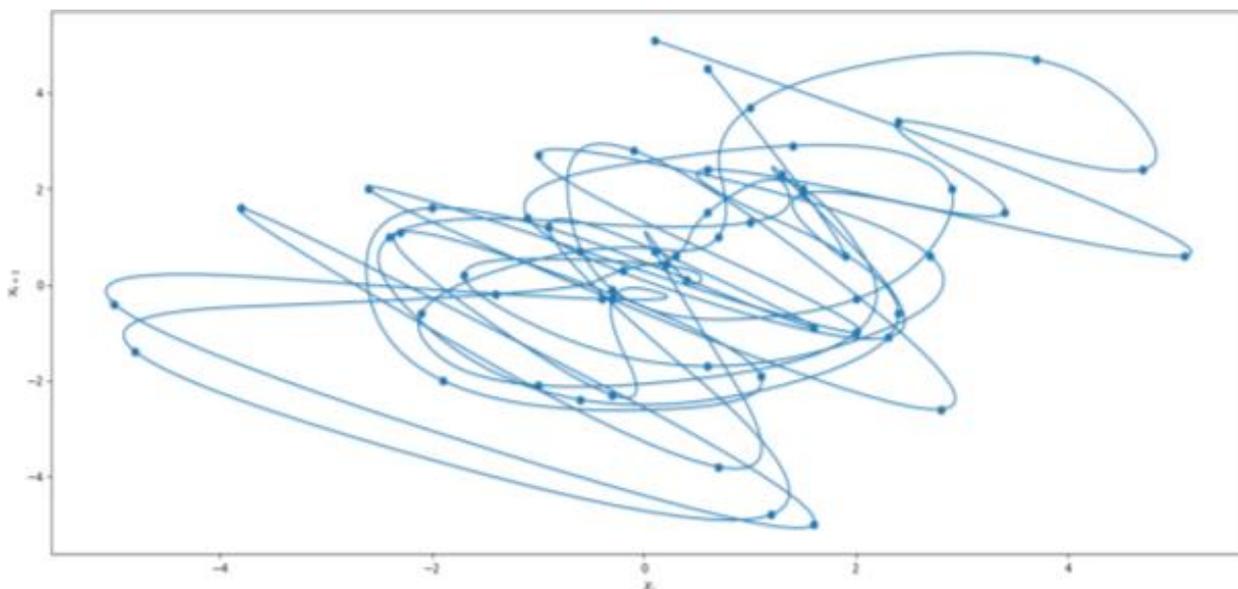


Рисунок 2.18 – Фазовый портрет (размерности $\rho = 2$) временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР», влияющих на значения экономических показателей зернового производства

Разделение всего фазового портрета (формула 2.11) на отдельные фазовые квазициклы (рисунок 2.17) происходит посредством визуализации и определения геометрической интерпретации циклов по всей траектории.

Частота появления квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР» представлена в виде гистограммы на рисунке 2.19.

Таблица 2.4 – Длины квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР», влияющих на значения экономических показателей зернового производства

Длины квазициклов d_i	4	5	6	7	8
Частота m_i	1	2	4	1	1

В таблице 2.4 представлены длины квазициклов K_i , пронумерованных индексом i ($i = \overline{1, m}$), $m = 9$. Количество звеньев, вошедших в построенный квазицикл, называют длиной квазицикла. Согласно полученным частотам длин квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР» можно определить длины квазициклов с наибольшей частотой. Для исследуемого ВР риск-экстремального фактора длина такого квазицикла равна 6. Данная информа-

ция является предпосылкой и ориентиром в определении глубины долговременной памяти при работе с линейным клеточным автоматом.

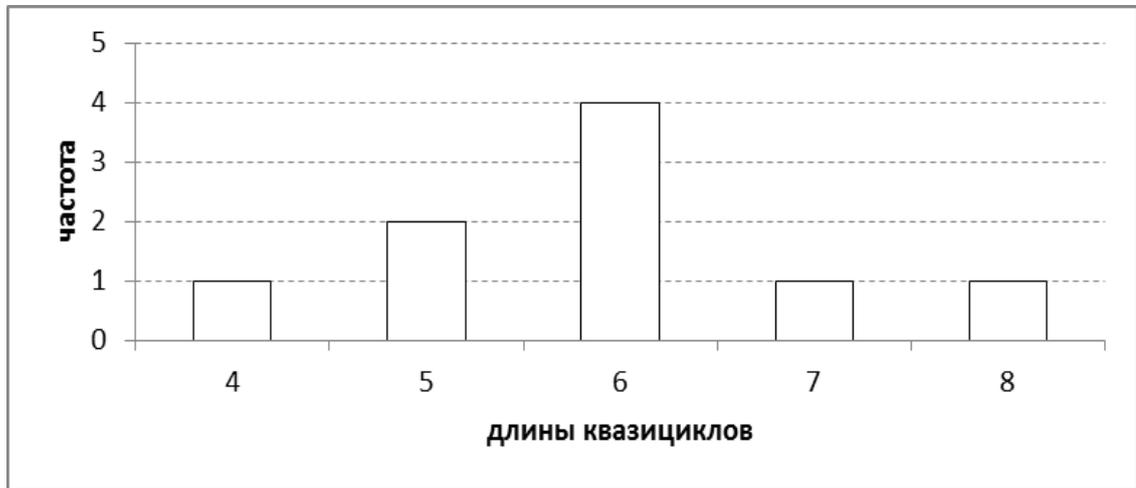


Рисунок 2.19 – Гистограмма частот длин квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР», влияющих на экономические показатели зернового производства

Следующим шагом алгоритма фазового анализа является построение габаритных прямоугольников S_i (2.12) по значениям временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР». Габаритные прямоугольники, включающие в себя квазициклы, вычисляются согласно соотношению (2.12):

$$S_i = (\max_j x - \min_j x) \cdot (\max_j y - \min_j y), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, d}. \quad (2.12)$$

Визуализация графического изображения движения размеров площадей (рисунок 2.20) говорит о наличии циклической компоненты с нарастающим трендом. Динамика значений вычисленных площадей свидетельствует о наличии большого размаха весенних температур по абсолютной величине внутри одного квазицикла.

Следующим действием алгоритма работы фазового анализа [116] является нахождение центров квазициклов и построение графика (рисунок 2.21). Координаты центров квазициклов $O_i(x_i; y_i)$ вычисляются согласно следующих соотношений:

$$x_i = ((\max_j x - \min_j x)/2) + \min_j x$$

$$y_i = ((\max_j y - \min_j y)/2) + \min_j y, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, d}. \quad (2.13)$$



Рисунок 2.20 – Движение размеров площадей габаритных прямоугольников квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР», влияющих на зерновое производство

Исходя из визуализации рисунка 2.21, можно отметить увеличение температуры в мае месяце, так как центр последнего квазицикла $O(9)$ находится в окрестности температуры $+3^{\circ}\text{C}$. Размах движения центров находится в диапазоне $(-1,7; +2,7)^{\circ}\text{C}$ и равен 4,4 по абсолютной величине.

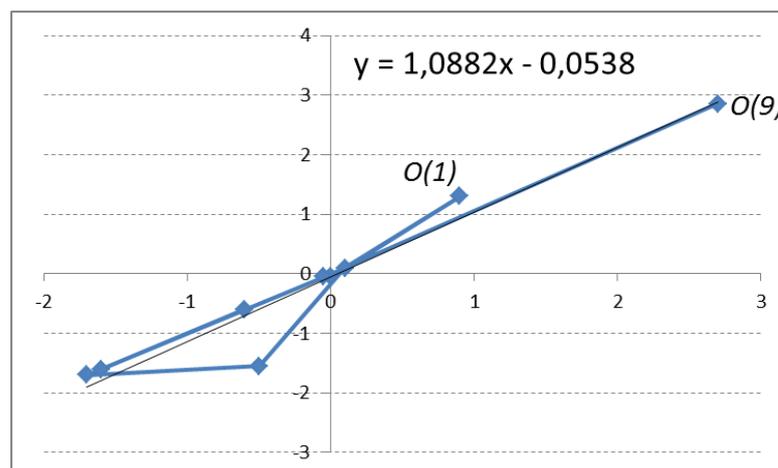


Рисунок 2.21 – Движение центров габаритных прямоугольников построенных квазициклов для временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР» (значения минимальных майских температур, влияющих на зерновое производство отображены по осям координат)

Аналогичное исследование проведено для временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_СК» (значения минимальных температур по

Ставропольскому краю). Гистограмма данного ВР риск-экстремального фактора, влияющий на показатели урожайности зерновых культур представлена на рисунке 2.22. Температурный размах равен от $-2,3$ до $+10,1^{\circ}\text{C}$.

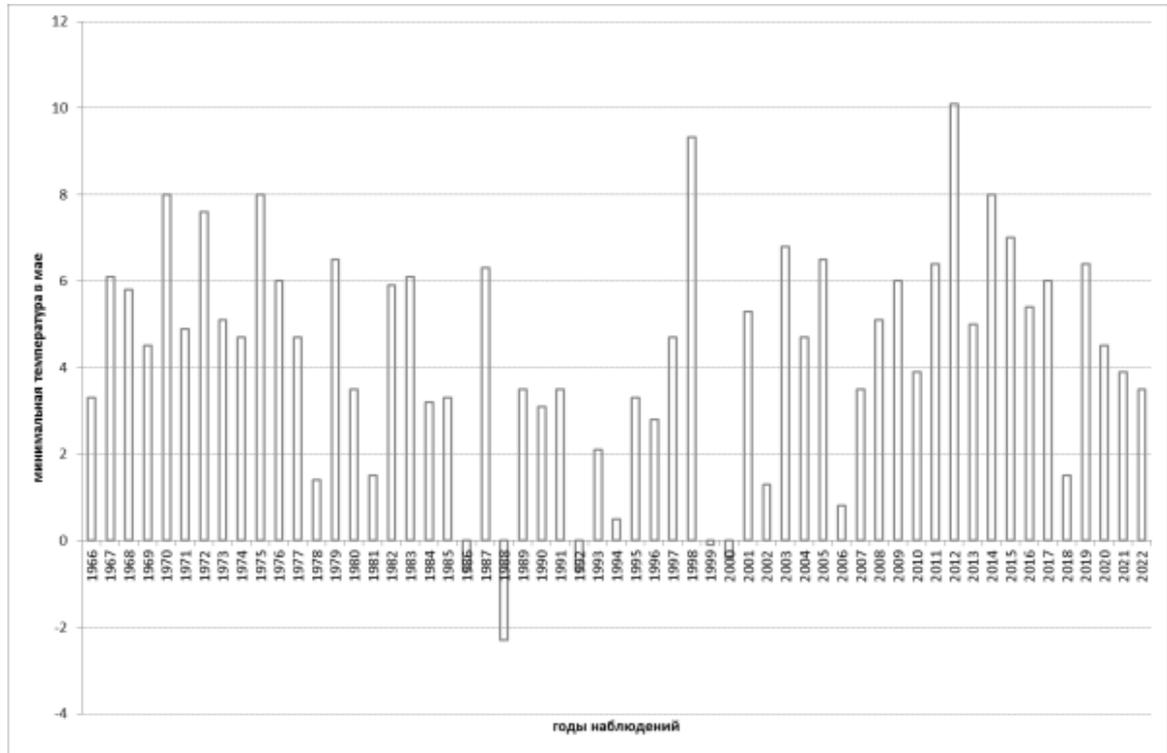


Рисунок 2.22 – Графическая интерпретация временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_СК»

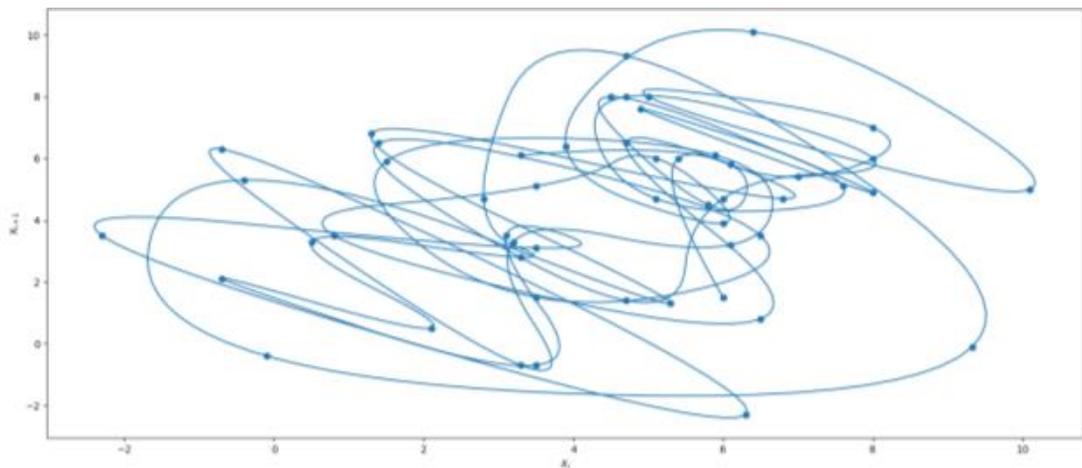


Рисунок 2.23 – Фазовый портрет (размерности $\rho = 2$) временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_СК»

Интервалом с наиболее вероятными значениями температур является диапазон от $+2$ до $+6,5^{\circ}\text{C}$, что является характерным для Ставропольского края – одного из лидеров-поставщиков зерна в России. Выделенные квазициклы временно-

го ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_СК» представлены на рисунке 2.24.

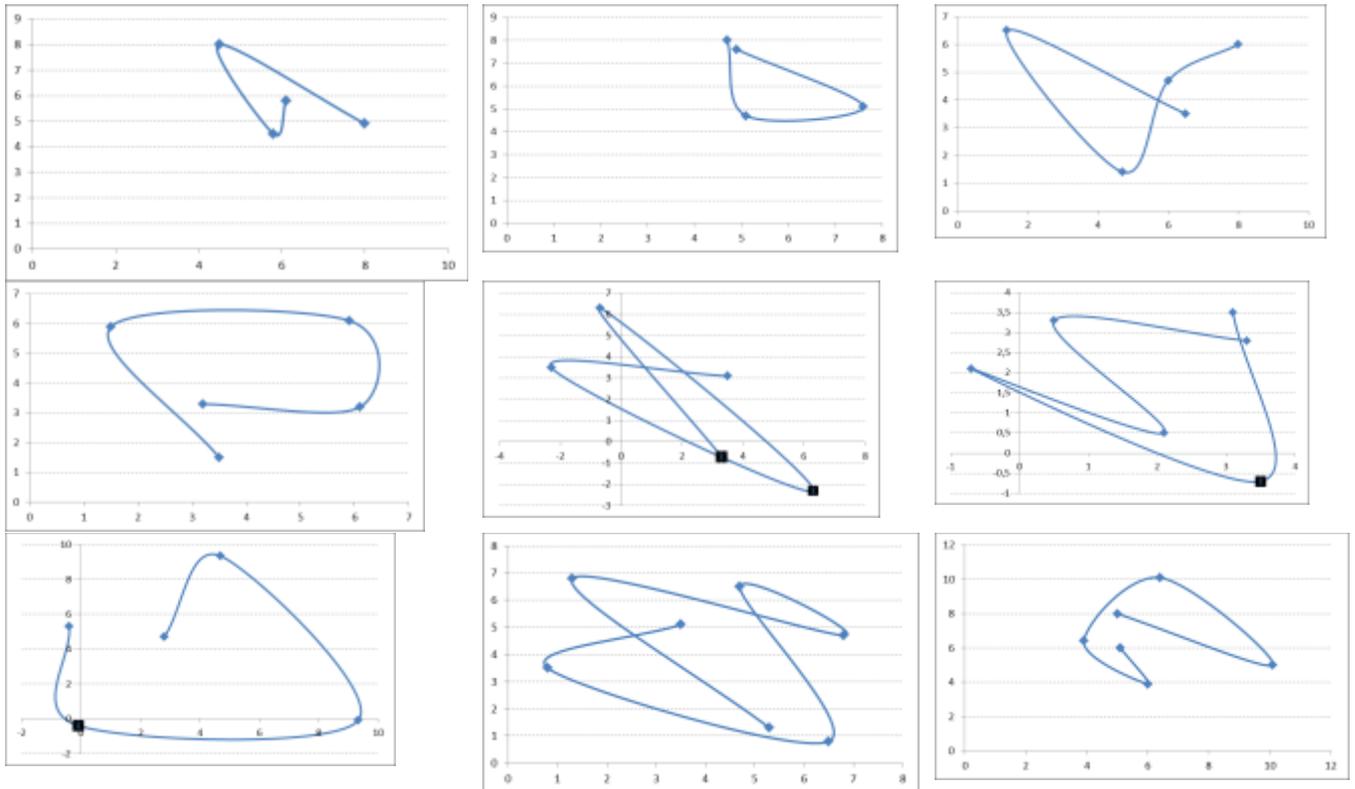


Рисунок 2.24 – Фазовые квазициклы (1–9) временного ряда «Заморозки_СК» (значения минимальных майских температур отображены по осям координат, маркером отмечены критические значения температур)

Временному ряду «Заморозки_СК» присущи замкнутые самопересекающиеся квазициклы. Для исследуемого временного ряда риск-экстремального фактора имеем: длина квазицикла с наибольшей частотой $d_s = 5$, где значение частоты $s = 4$ (в соответствии с рисунком 2.25).

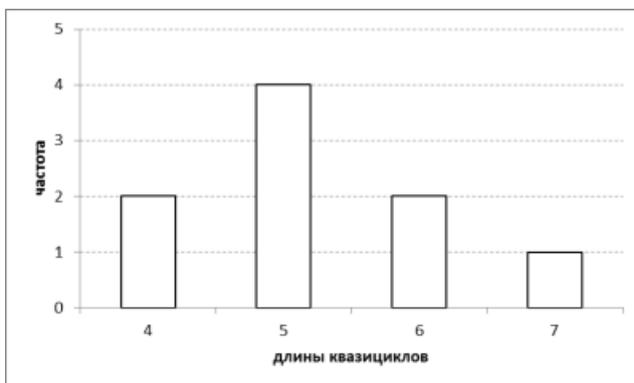


Рисунок 2.25 – Гистограмма частот длин квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора

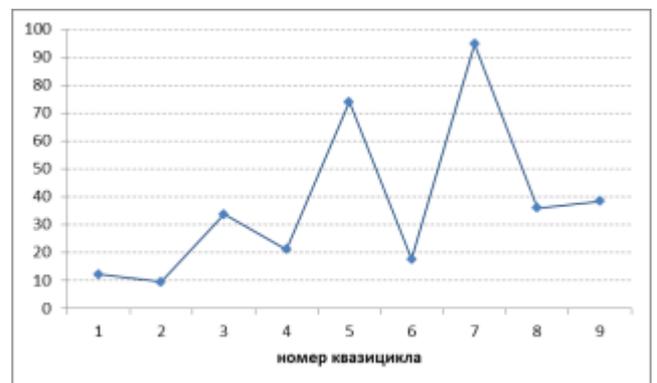


Рисунок 2.26 – Движение значений занимаемых площадей квазициклов временного ряда риск-экстремального фактора

На рисунке 2.26 представлена динамика движения размеров габаритных прямоугольников временного ряда риск-фактора «Заморозки_СК», для которого также характерно свойство цикличности с возрастающим трендом.

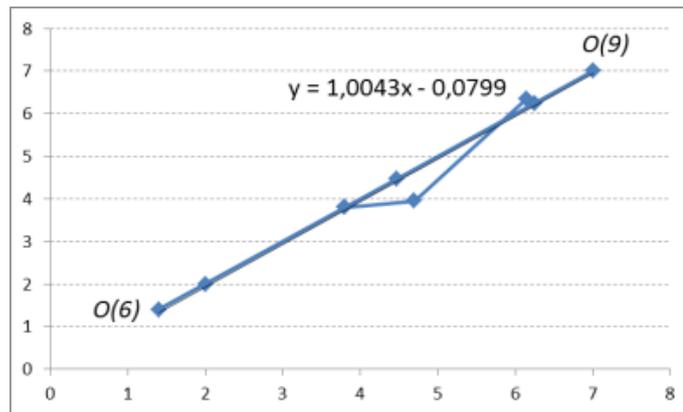


Рисунок 2.27 – Движение центров габаритных прямоугольников построенных квазициклов для временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_СК» (значения минимальных майских температур отображены по осям координат)

Расположение центра построенного последнего квазицикла $O(9)$ на биссектрисе говорит о том, что в последние годы наблюдается увеличение температуры в мае месяце (в соответствии с рисунком 2.27). Размах движения центров находится в диапазоне (+1,4; +7) °C и равен величине 5,6.

В качестве инструментария для анализа и прогнозирования временных рядов социально-экономических показателей, включая урожайность озимых зерновых культур, не удовлетворяющим условиям эконометрического анализа, в работе используются модели линейных клеточных автоматов – дискретных динамических систем с распределённым управлением [186, 352]. Это подходящий класс алгоритмических моделей, использующих простые динамические правила на уровне элементов, которые могут демонстрировать необычайно усложненное и сложно непредсказуемое коллективное поведение на системном уровне [35].

В ходе выполнения развернутого вычислительного эксперимента при апробации авторской исследовательской платформы прогнозирования экономических

показателей отдельно выбранного сектора экономики, автором сформулированы следующие утверждения:

Утверждение 2.1. Глубина долговременной памяти временного ряда экономического показателя зернового производства, полученная на базе линейного клеточного автомата, всегда принадлежит множеству значений длин квазициклов исследуемого временного ряда:

$$l_{\text{ЛКА}} \in \{d_i\}, i = \overline{1, m} \quad (2.14)$$

Утверждение 2.2. Длина квазицикла d с максимальной частотой определяет нижнюю границу вероятного значения глубины долговременной памяти временного ряда экономических показателей, исчисленной на базе линейного клеточного автомата.

$$d_s \leq l_{\text{ЛКА}}, s = \max_i m, i = \overline{1, m} \quad (2.15)$$

где m – количество квазициклов исследуемого временного ряда.

Результаты, полученные на базе методов фазового анализа и линейного клеточного автомата подтверждаются утверждением 2.1.

Связь результатов методов фазового анализа (предпрогнозный анализ) и линейного клеточного автомата (получение прогноза экономических показателей) подтверждаются утверждениями 2.1–2.2.

Утверждение 2.3. Номер точки, которая характеризует «потерю памяти» или «срыв с тренда» в R/S-траектории принадлежит множеству значений выявленных длин квазициклов $T \in \{d_i\}, i = \overline{1, m}$ и определяется следующим соотношением:

$$T \leq l_{\text{ЛКА}}, \quad (2.16)$$

где T – номер точки срыва с тренда в R/S-траектории.

Связь результатов методов R/S-анализа (предпрогнозный анализ) и линейного клеточного автомата (получение прогноза экономических показателей) подтверждается утверждением 2.3.

Для временного ряда риск-экстремального фактора «Заморозки_КЧР» по итогам фазового анализа имеем: $d_s = 6, s = 4$. Последнее означает, что чаще все-

го (4 раза) встречаются циклы из 6 точек, т.е. полный цикл реверса «спад/подъем» значений минимальных температур воздуха, влияющих на значения экономических показателей зернового производства повторяется примерно через каждые 6 лет. Данная информация является предпрогнозной и будет использована при построении прогнозной модели экономического показателя зернового производства в следующем разделе.

В данном разделе описываются особенности спектра природно-климатических условий, воздействующих на экономические показатели, рост и урожайность зерновых (озимой пшеницы) на юге России [166].

Первая группа природно-климатических условий, воздействующих на урожайность зерновых – это солнечная активность, влажность или количество осадков, температура окружающей среды (температура поверхности земли) [166].

Например, в литературе утверждается, что озимая пшеница лучше использует осенние и зимние осадки, увеличение их объёма, как и объёма ранних весенних осадков в прежде засушливых областях России, кардинально увеличивает урожайность, становясь генератором новых параметрических закономерностей. Известны четыре критических периода полива озимой пшеницы, которые наиболее сильно повышают её урожайность: осенний полив, весенние поливы в фазе выхода в трубку, в период колошения и в начале налива зерна. В этих условиях классические модели прогнозирования становятся попросту неадекватными природным условиям, их трудно приспособить для работы. Однако процессы влияния осадков на урожайность успешно прогнозируются с помощью нелинейных методов и клеточных автоматов. Природно-климатические условия можно описать временными рядами, аналитически, графически и численно, и оперировать с ними при фрактальном построении прогнозов.

Вторая группа условий – технологические. В технологии земледелия существуют три основных характеристики: плодородие почвы, оценка экономической эффективности разных вариантов земледелия, оценка грунта и сельхозпродукции с точки зрения экологической составляющей [166, 390]. Все перечисленные составляющие не представляется возможным представить в виде

одного показателя. Например, состояние плодородия почвы определяется следующими показателями: наличие гумуса в процентном соотношении; содержания удельного количества таких химических элементов, как азот, фосфор, калий; а также таких параметров почвы, как влажность, комковатость, кислотность и другие [349]. Данная часть технологического воздействия на экономические показатели агрокультуры не имеет системного порядка, т. е. в математическом виде нет возможности представить эту часть временными рядами. Исходя из этого следует очевидный вывод: сколь-нибудь адекватное построение глобальной агро-экономико-математической модели должно основываться на многофакторном подходе, в этом случае возникает необходимость решать существенно многокритериальные задачи всего спектра моделирования, анализа и прогнозирования, задачи количественного определения рисков и задачи векторной оптимизации [166].

Главной составляющей многокритериального подхода с прямыми методами поддержки принятия решений по безопасности инвестиций в АПК является комплекс экономических математических моделей. Исходя из классических методов статистики, значение урожайности является величиной случайной. С другой стороны, амплитуда размаха значений урожайности основных сельскохозяйственных культур напрямую влияет на изменчивость ожидаемого дохода [166]. Статистический подход автоматически приводит нас к понятию риска. Вербальный риск, как качественная часть экономической теории риска, лингвистически выражающая будущие потери при хозяйствовании, теперь принято заменять количественным риском с новой конечной характеристикой – вероятностью отклонения величины практического инвестиционного дохода от намеченного, ожидаемого результата [166]. Опираясь на постулаты рискологии, известно, что инвестиции с большим риском должны в результате дать высокую прибыль, т.е. учет отношения между риском и доходностью показывает, дают ли гарантию рискованные инвестиции на получение высокого дохода [166, 171]. В последнее время математическое моделирование и поиск социально-экономических и сельскохозяйственных рисков изучается весьма интенсивно, привлекая всё новые и новые методы, в частности, статистические.

Характеристиками риска и экономической волатильности в непрерывных подходах стали статистические моменты первого и второго порядка: математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации. К указанным статистическим моментам добавим коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса. Говоря об экономическом содержании коэффициентов, отметим следующее: увеличение значения показателя асимметрии показывает нам наличие положительной тенденции, т.е. растет вероятность благоприятного исхода события (в виде высокой урожайности), которая превосходит значение математического ожидания («правый хвост»), убывание её означает проявление неблагоприятной тенденции с увеличением вероятности проявления убывающих значений доходности («левый хвост»). Уменьшение значений эксцесса приводит к приплюснутому и растянутому графику, что расширяет область ожидаемой прибыли в обе стороны от значения математического ожидания. При увеличении значения коэффициента эксцесса график эмпирической функции распределения (случайной величины доходности) изображается вытянутым вверх, возрастает вероятность получения доходности, близкой к средней. А в подходах фрактальных прямыми и косвенными характеристиками риска становятся: персистентность (трендоустойчивость) и антиперсистентность рядов, неклассическая статистика Херста, R/S -траектории и траектории показателя Херста [166, 171].

Кроме статистических распределений при работе с непрерывными стохастическими показателями урожайности приходится иметь дело с резкими выбросами (засуха, например). В исследовании прогнозирования природно-экономических процессов зернового хозяйства под влиянием ранних осадков такого рода катаклизмы можно увидеть на примере прогноза катастрофического уровня стока горных рек – как источника кумулятивных сведений о кризисных осадках, новом показателе средней насыщенности почвы влагой и об этом влиянии на параметры цикличности урожайности зерновых культур [166].

Прогноз и риск связаны обратной зависимостью. Чем выше качество прогноза, тем меньше риск, чем выше риск, тем хуже прогноз. Во времени или по длине горизонта прогноза обычно различается три вида прогнозов: «внутригодо-

вое» прогнозирование природно-экономического фона, при этом суждение о будущем размере урожая генерируется внутри прогнозируемого года, по текущим характеристикам «отчётного периода». Он расширяется по мере приближения к времени уборки, «горизонт прогноза», наоборот, при этом сужается. Чем ближе мы находимся к моменту сбора урожая, тем точнее следует ожидать данные такого прогноза [166].

Далее следует «годовое» прогнозирование, прогноз определяется при постоянной длине «горизонта прогноза» в один год, при этом длина «отчётного периода» временного ряда урожайности должна превышать длину «горизонта прогноза» в несколько десятков раз. Это наиболее известная классическая методология, когда по характеристикам урожайности предшествующих лет определяется прогноз в искомом году, следующим за последним годом «отчётного периода» [166].

Многолетнее «фрактальное», «длительное», «длинное», «блочное» или «циклическое» прогнозирование определяет будущую урожайность на нескольких лет вперёд в «горизонте прогноза» через некие обобщённые характеристики траекторий урожайности за предшествующие годы. Такими обобщёнными характеристиками в исследовании выступают циклы урожайности, так что прогноз удаётся рассчитать вперёд, по крайней мере, на длину очередного цикла, а это 2-9 лет. Кажется, что это прогнозирование – более трудное и принципиально неточное предвидение экономического будущего из-за сложной архитектоники мирового зернового хозяйства; быстроты, нестационарности, турбулентности, стохастичности современной усложняющейся и ускоряющейся динамики природно-климатических процессов и повышающейся с каждым годом их волатильности; из-за изменения технологии зернового хозяйствования в условиях глобальной экономики, сетевой экономики, экономики услуг [166]. Однако если признать, что цикличность есть некоторое всеобщее свойство Материи и Природы, то имеет смысл продолжать прогнозирование именно по циклическим траекториям, их стабильность характеристик в зерновом производстве гораздо выше, чем стабильность повторяемости отдельных точек процесса. В прошлом, в «отчётном перио-

де», мы уже получали аналитически, графически и численно набор точных циклических траекторий. «Блочное» прогнозирование в сочетании с нелинейными фрактальными подходами находит и уточняет среднесрочный прогноз.

2.3. Методы нелинейной динамики в исследовании волатильных процессов (на примере данных сектора зернового производства)³

Методология исследования основана комплексным применением 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 [176].

В Федеральном законе от 28 июня 2014 г. N 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 [242] 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;

³ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Плотниковым В.А., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Кумратова А. М. Построение долгосрочного прогноза зернового производства для задач риск-менеджмента / А.М. Кумратова, О.И. Шапошникова и др. // Современная экономика: проблемы и решения. – 2022. – № 6 (150). – С. 20–31.

– 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 защищённых диссертаций и литературных источников по проблемам получения прогнозной информации с наименьшей ошибкой прогноза настолько велик, что говорит об актуальности представленной работы.

В параграфе представлена демонстрация разработанной информационной системы (ИС) получения прогноза динамики агроэкономических процессов на базе методов нелинейной динамики (рисунок 2.28).

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 прогнозные модели, 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 инструментальном средстве запрограммированы такие алгоритмы методов нелинейной динамики [254], как: фазовый анализ, R/S-анализ, расчет показателя Ляпунова, линейный клеточный автомат. В работе представлены результаты вкладок «Линейный клеточный автомат» и «Показатель Ляпунова».

Для получения предпрогнозной информации представляет практический интерес вычислить для исследуемого временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю за период с 1913 по 2021 гг. старший показа-

тель Ляпунова [166, 447], с помощью которого можно измерить растяжение или размах точек в фазовом пространстве [468].

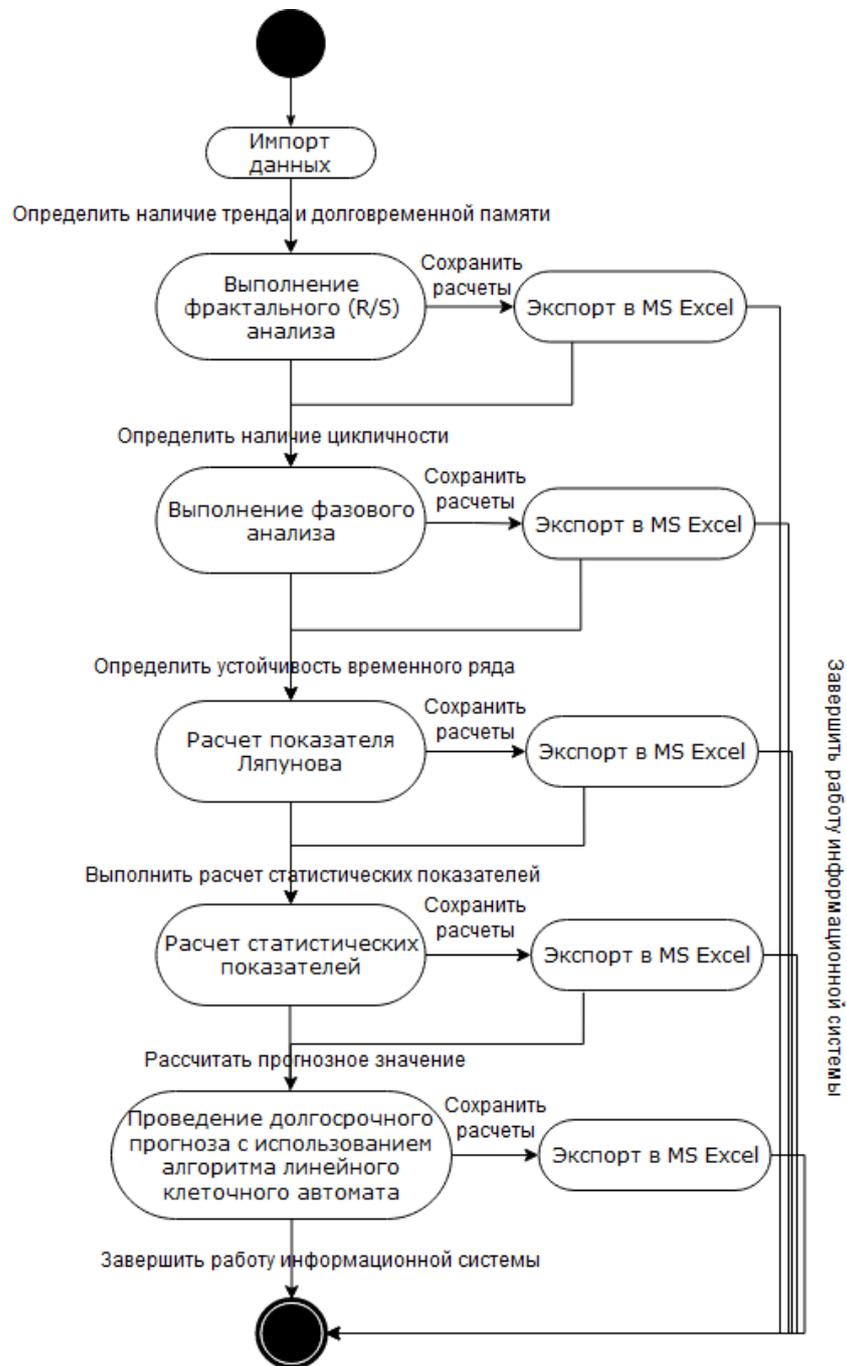


Рисунок 2.28 – Блок-схема авторской информационной системы среднесрочного прогнозирования экономических показателей методами нелинейной динамики

На рисунке 2.29 представлен график устойчивой сходимости значений старшего показателя Ляпунова $\lambda(y_i)$ к величине 0.037 бит в год. Последнее озна-

чает то, что теряется предсказательная мощность исследуемого процесса со скоростью 0.037 бит/год или 27 (лет).

Спектр показателей Ляпунова [431] 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 для вычисления показателя Ляпунова рассматривается исторический временной ряд урожайностей зерновых культур за период с 1913 по 2021 гг., который состоит из значений, относящихся к разным эпохам в разрезе, как возделывания зерновых культур, так и технической оснащённости всего зернового комплекса.

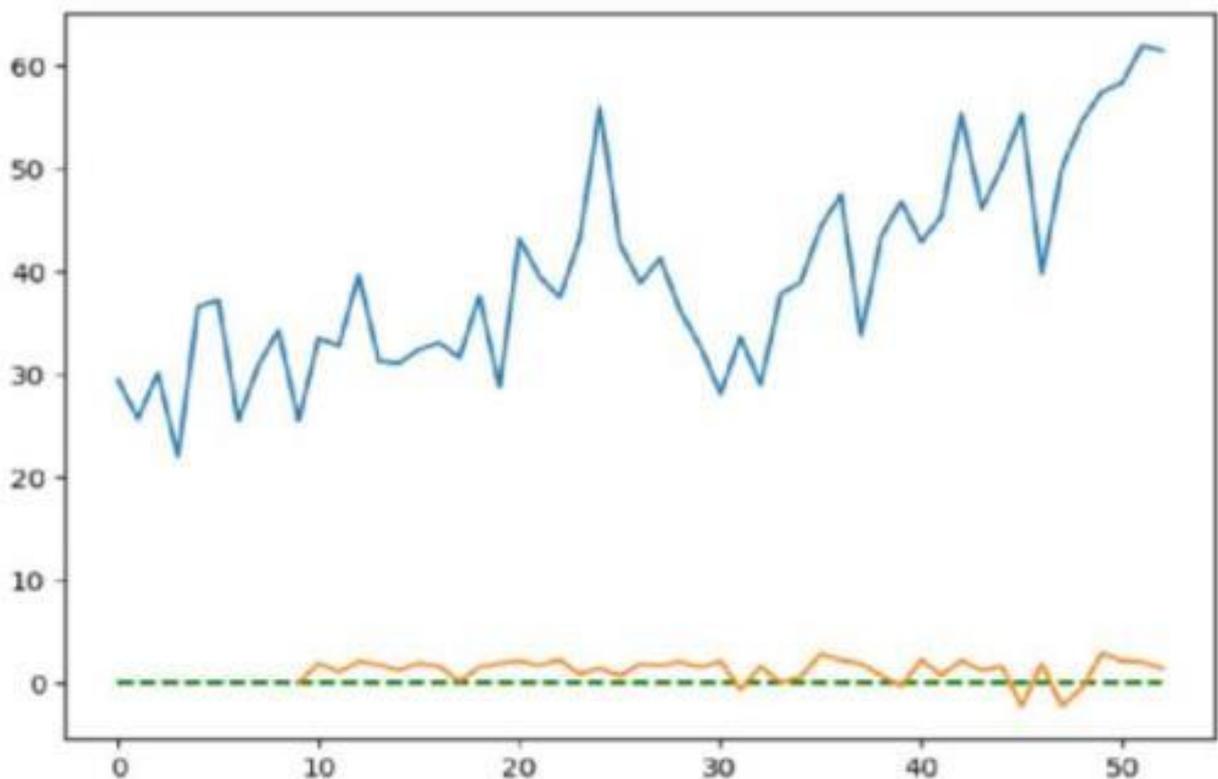


Рисунок 2.29 – Сходимость старшего показателя Ляпунова для временного ряда урожайности зерновых культур по Краснодарскому краю за период с 1966 по 2021 гг. (оранжевый цвет); диаграмма исходных данных (синий цвет); по оси абсцисс – номер уровня ВР; по оси ординат единица измерения (ц/га)

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.

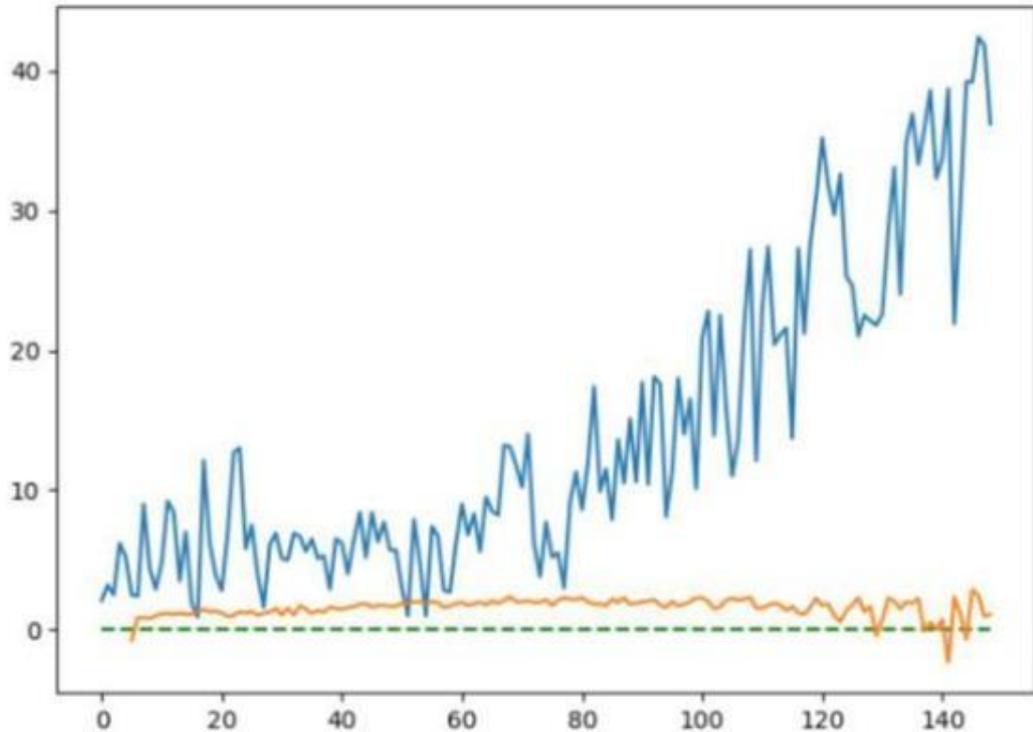


Рисунок 2.30 – Сходимость старшего показателя Ляпунова для временного ряда урожайности зерновых культур по Ставропольскому краю за период с 1913 по 2021 гг. по оси абсцисс – номер уровня ВР

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 гг. старший показатель Ляпунова $\lambda = 0.0264$, что составляет 37-летний цикл (рисунок 2.29). Выявление длинных циклов для агроэкономических временных рядов является основой для построения сценариев среднесрочного прогнозирования зернового производства.

Наличие положительного знака у наибольшего показателя Ляпунова позволяет говорить о хаотическом поведении исследуемого процесса. Для процессов, не подчиняющихся нормальному закону распределения, предложен в диссертации метод среднесрочного 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. Показатели Ляпунова характеризуют устойчивость движения динамических систем в фазовом пространстве.

Для визуализации модели и описания всех действий, выполняемых разработанной программой [305], используем ряд инструментальных средств, позволяющих моделировать действия в процессах, определять их порядок и необходимые ресурсы [12]. Для построения функциональной модели алгоритма работы фазового анализа получения предпрогнозной информации экономических показателей в работе предлагается использовать преимущества инструментального средства All Fusion Process Modeler, позволяющего не только моделировать, но и исследовать бизнес-процессы (анализировать, документировать и т. д.). На рисунке 2.31 представлена родительская диаграмма с названием «Фазовый анализ». Процесс описания функционирования системы представлен в виде контекстной диаграммы.

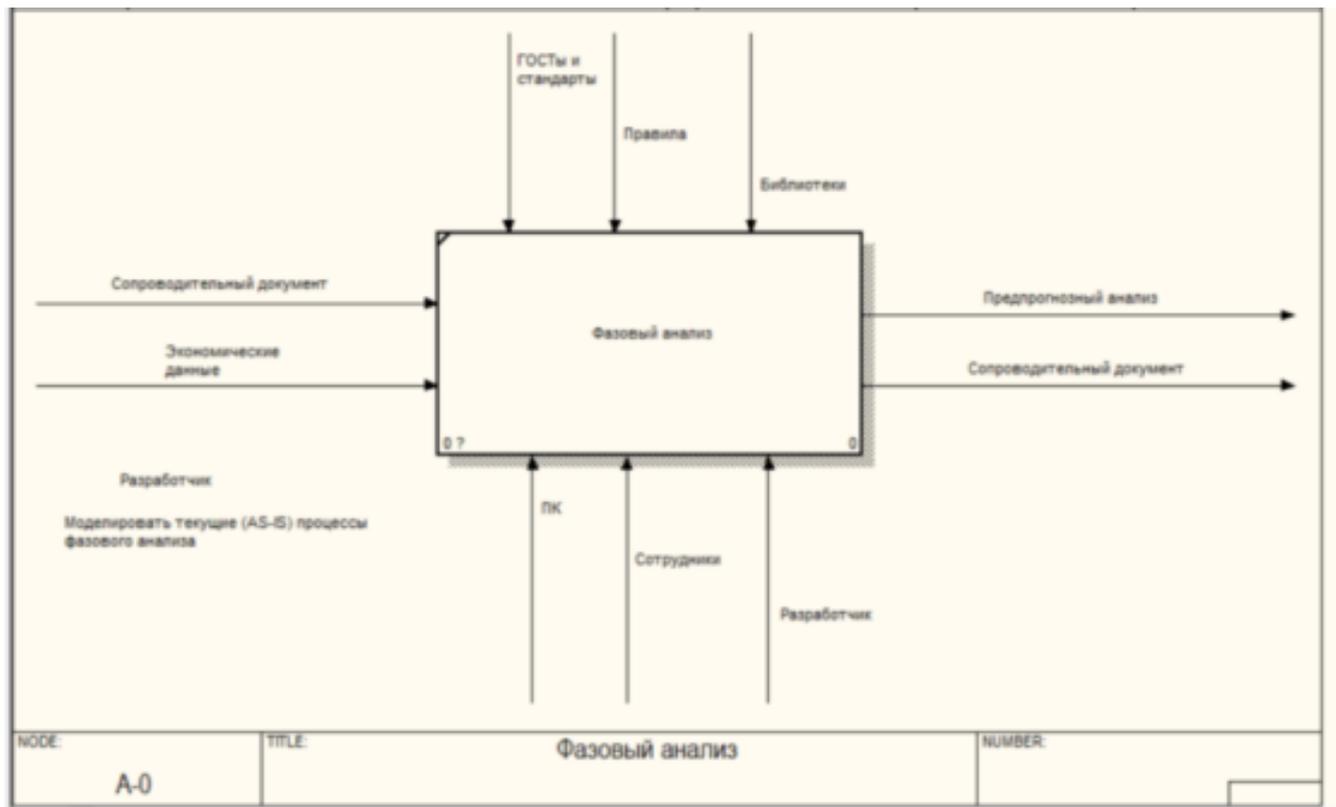


Рисунок 2.31 – Контекстная диаграмма IDEF0 «Фазовый анализ», реализующая метод предпрогнозного анализа динамики экономических показателей

Взаимодействие системы с окружающей средой описывается в терминах входа (на рисунке 2.31 это «Экономические данные» и «Сопроводительный документ»), выхода (основной результат процесса – «Предпрогнозный анализ» и «Сопроводительный документ»), управления («ГОСТы и стандарты», «Правила» и «Библиотеки») и механизмов («Персональный компьютер (ПК)», «Сотрудники», «Разработчик» – это ресурсы, необходимые для процесса функционирования системы для получения предпрогнозной информации экономического показателя отдельно выбранного сектора экономики) [12].

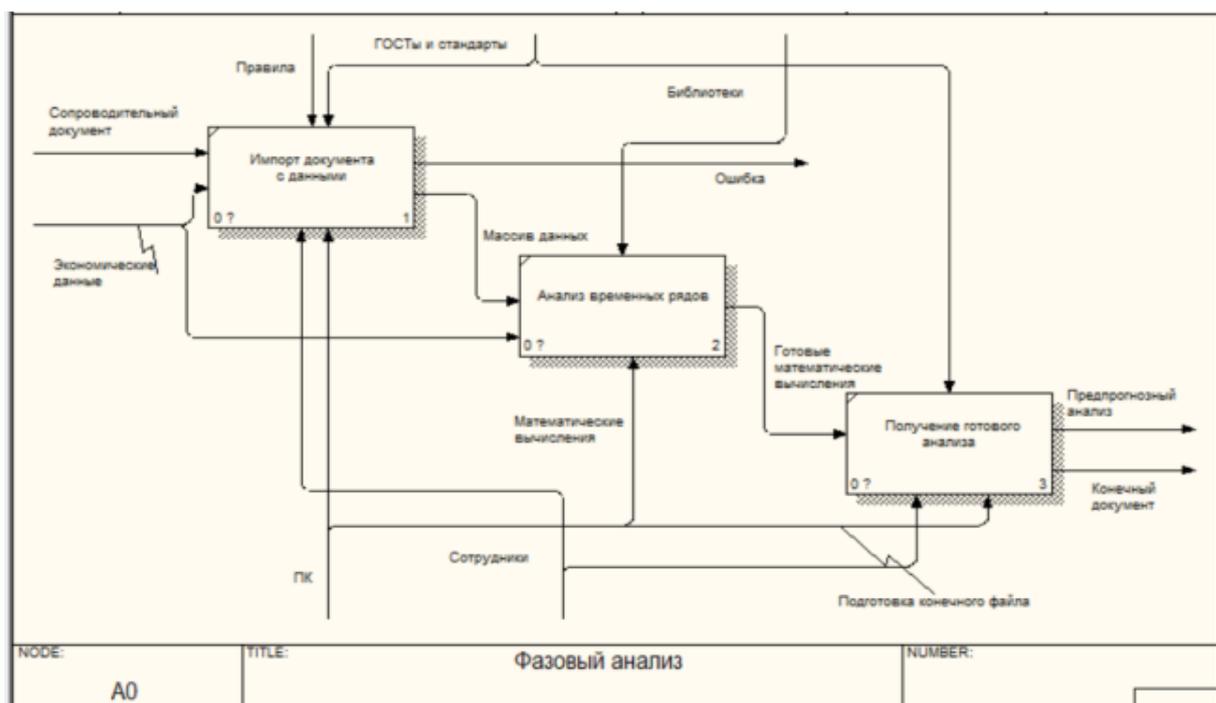


Рисунок 2.32 – Диаграмма декомпозиции IDEF0 алгоритма фазового анализа для получения предпрогнозной информации динамики

«Экономические данные» – импортируемые файлы, которые обрабатываются программой «Методы нелинейной динамики» (вкладка «Фазовый анализ») и анализируются. Пользователь загружает их в информационную систему для выполнения дальнейших действий и получения выходных файлов данных. В качестве параметра «Экономические данные» могут быть рассмотрены экономические показатели отдельно выбранного сектора экономики.

Получение отчета с анализом (предпрогнозная информация) – цель системы. Для того, чтобы добиться такой цели, информационная система должна реализовать алгоритмы в виде математических расчетов [12].

«ГОСТы и стандарты», «Правила» и «Библиотеки» – это правила, стратегии, процедуры или стандарты, которыми руководствуется программа «Методы нелинейной динамики» (вкладка «Фазовый анализ»). Система руководствуется своими внутренними правилами и формирует готовый выходной файл данных с предпрогнозной информацией динамики экономического показателя соответствующий правилам, ГОСТам [12].

Весь процесс алгоритма работы фазового анализа разбивается на следующие шаги (рисунок 2.32):

- «Импорт документа с данными» иллюстрирует деятельность загрузки первичных данных в программу: ввод значений экономических показателей;
- «Анализ временных рядов» представляет собой процесс всех математических вычислений, реализующий алгоритм работы фазового анализа;
- «Получение готового анализа» – это выдача системой готового файла с прогнозной информацией о динамике экономического показателя.

Основным процессом с точки зрения цели фазового анализа является «Анализ временных рядов» (в соответствии с рисунком 2.32). Декомпозиция этого процесса содержит: анализ экономических данных, вычисление необходимых переменных и представление результатов расчетов в виде диаграмм. Ответственным за выполнение процесса «Анализ временных рядов» является аналитик – ЛПР (лицо, принимающее решение) [12].

Основная задача системы – произвести математическую обработку временных рядов экономических показателей с помощью следующих процессов: «Создание массива данных», «Поиск квазициклов», «Расчет по математическим алгоритмам» и «Построение графиков» [12] (рисунок 2.33).

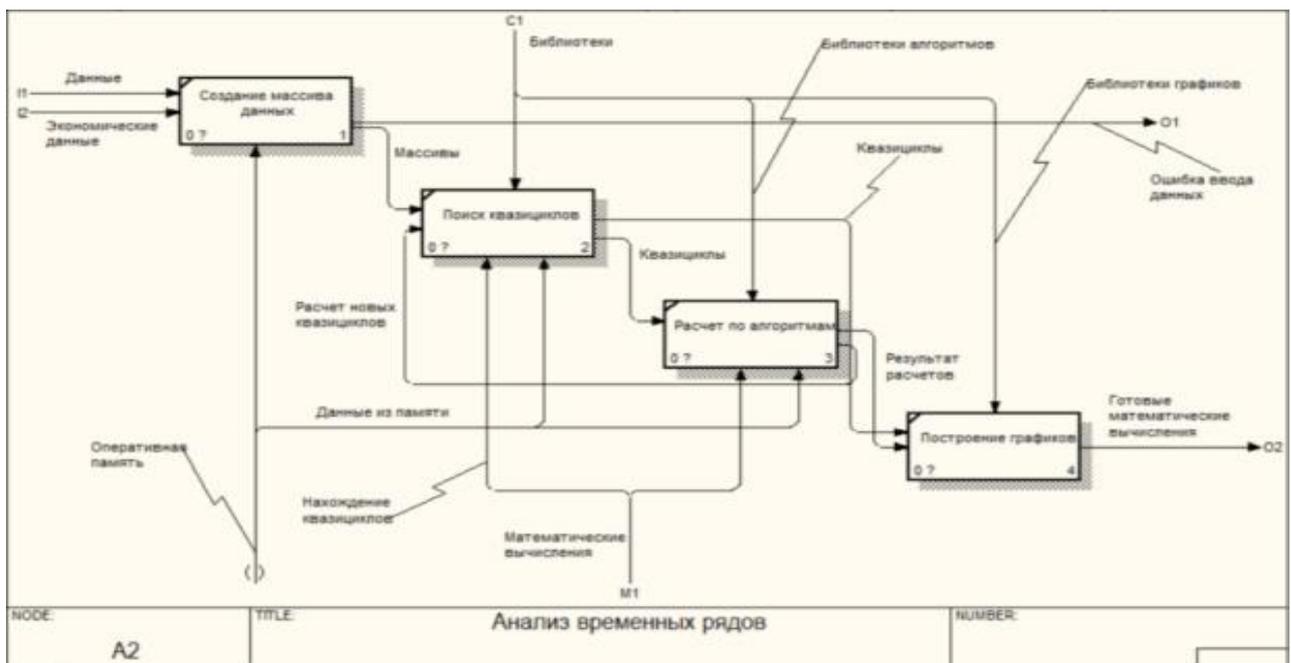


Рисунок 2.33 – Диаграмма декомпозиции IDEF0 «Анализ временных рядов» для получения прогнозной информации динамики экономических показателей

Исследование временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району Тюменской области⁴ на базе фазового анализа представлено на рисунках 2.34–2.38.

На рисунке 2.34 представлена фазовая траектория временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району за период с 1976 по 2022 гг. Для удобства аналитика предусмотрена возможность раскраски исходного временного ряда по периодам (простым делением на три части): первому подпериоду соответствуют точки красного цвета, второму подпериоду – желтого, третьему подпериоду – зеленого цвета.

В значениях второго подпериода имеются как низкие, так и высокие значения временного ряда урожайности зерновых культур. Аттрактор (скопление данных) наблюдается в значениях первого подпериода (14; 16) ц/га, затем дрейфует в диапазоне данных третьего подпериода и варьируется в интервале (22,5; 26) ц/га.

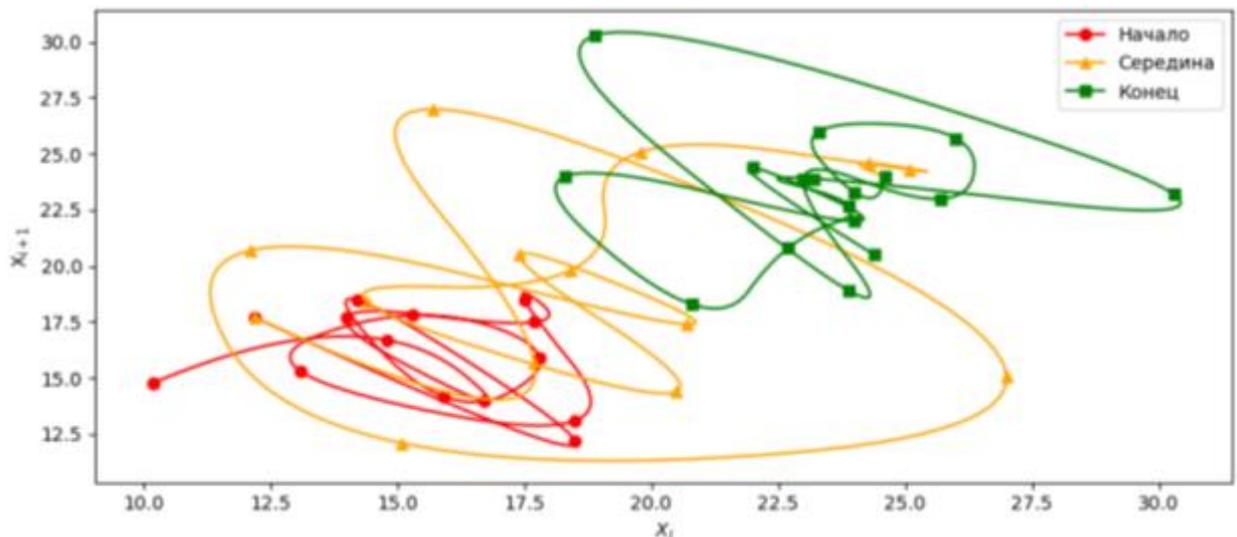


Рисунок 2.34 – Экранная форма программы «Методы нелинейной динамики» (вкладка «Фазовый анализ»)

На рисунке 2.25 представлены примеры квазициклов, выделенные во временном ряде урожайности зерновых культур по Ишимскому району.

⁴ Материалы, представленные в данном параграфе, отражают результаты исследований, полученные совместно с Алещенко В.В., Рудым Е.В. в ходе реализации гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ «Реализация целей устойчивого развития сельских территорий Сибири посредством органического земледелия», № НШ-1129.2022.2.

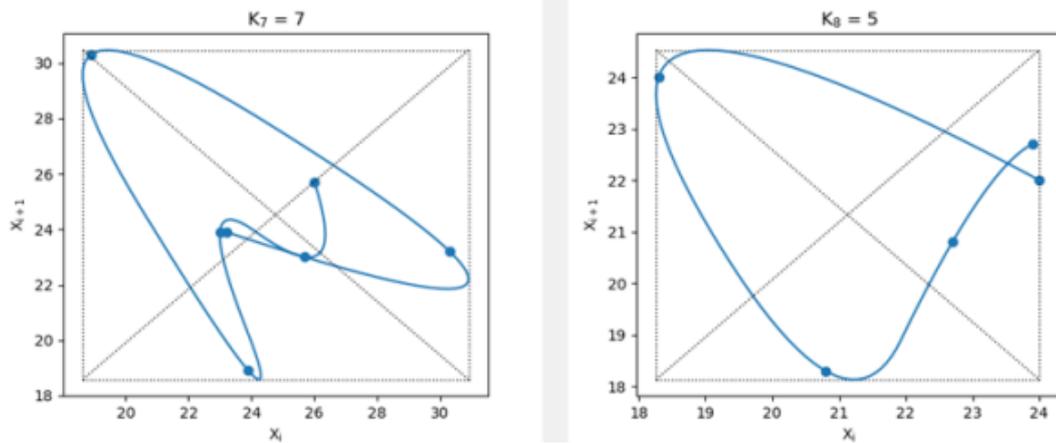


Рисунок 2.35 – Типичные квазицикла временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району (вкладка «Фазовый анализ»)

Данному временному ряду характерны «короткие» длины квазициклов, о чем свидетельствует график частот (рисунок 2.36). Последнее позволяет получить предпрогнозную информацию и говорить о динамике ряда на ближайшие 4–7 лет, т.к. с наибольшей частотой встречаются квазициклы длиной 5 и 6 лет.

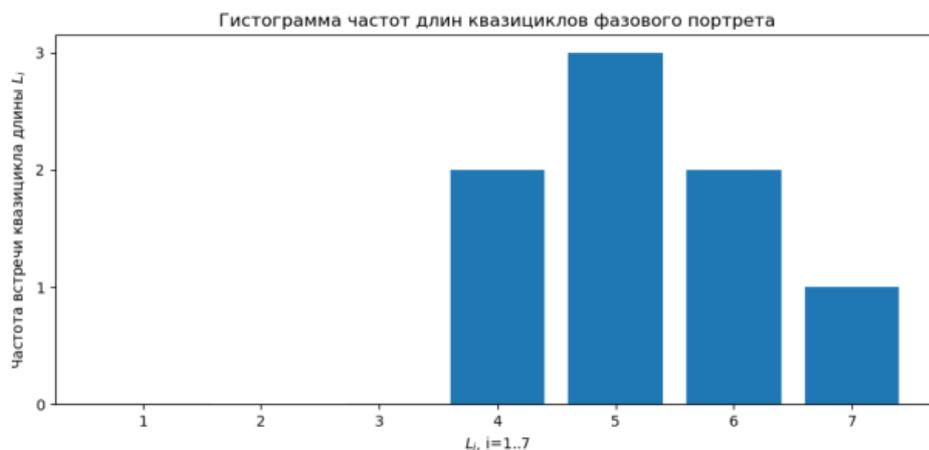


Рисунок 2.36 – Гистограмма частот длин квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району (вкладка «Фазовый анализ»)

«Длинные» циклы говорят о наличии долговременной памяти исследуемого процесса. Наиболее полную картину динамики процесса и определения качественных прогнозных характеристик можно получить при исследовании временных рядов, мощность множества значений которых превалирует десятки, сотни, тысячи элементов.

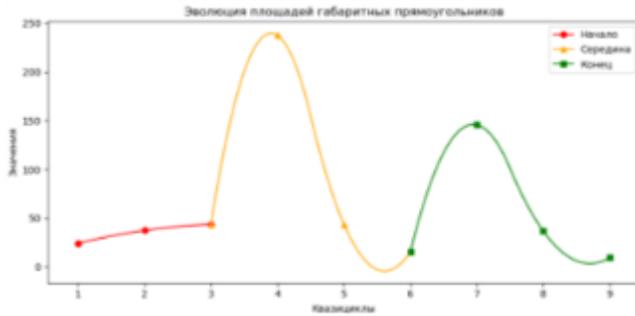


Рисунок 2.37 – График движения значений площадей габаритных прямоугольников квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району (вкладка «Фазовый анализ»)

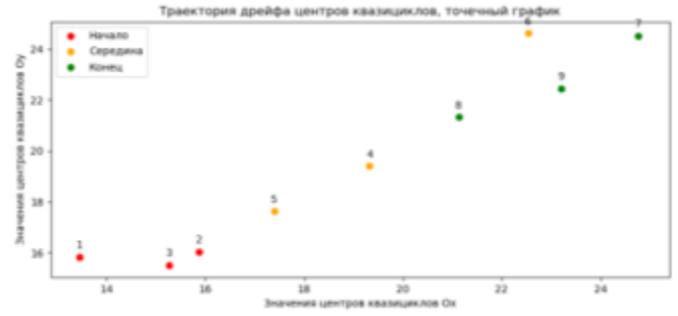


Рисунок 2.38 – Динамика центров площадей габаритных прямоугольников квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району (вкладка «Фазовый анализ»)

Значительный размах значений площадей габаритных прямоугольников второго подпериода говорит о резких перепадах в показателях продуктивности зернового производства – урожайности зерновых культур (рисунок 2.37). На рисунке 2.38 представлена динамика центров площадей габаритных прямоугольников квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур по Ишимскому району за период с 1976 по 2022 гг.

Формальное правило перехода, задающее режим работы клеточного автомата, описывается формулой [186]:

$$X_i^t = F(X_i^{t-1}, \{X_q^{t-1}\}) \quad (2.17)$$

где X_i^t – значение параметра ячейки, имеющей номер i на шаге t ,
 $\{q\}$ – некоторое множество ячеек, соседних с ячейкой i [186].

Формирование адекватных по своему режиму работы клеточных автоматов требует определения, по крайней мере, двух крайних ситуаций: переупрощения, которое ведет к вырожденным конфигурациям; переусложнения, которое ведет к нерегулярному поведению типа турбулентности. При этих условиях правило работы автомата, записанное в форме уравнения (2.17), задает т.н. «воображаемую физику». Этим термином задается условный дискретный мир с набором элементарных образований (формаций), которые способны к сложному динамическому поведению. Широко известным примером «воображаемой физики» является «Иг-

ра жизни» Конвея⁵. В «Игре жизни» ячейки организованы в структуру, подобную шахматной доске; каждая ячейка описана двоичной переменной X , которая может находиться в одном из двух состояний: активном (1) и неактивном (0); правило перехода определено числом непосредственных соседей ячейки, находящихся в активном состоянии Q . Оно задано формулой:

$$X^t = \begin{cases} X^{t-1}, & \text{если } Q = 2; \\ 0, & \text{если } Q = 0, 1, 4, 5, 6, 7, 8; \\ 1, & \text{если } Q = 3. \end{cases} \quad (2.18)$$

«Воображаемая физика», описанная этой формулой, достаточно правдоподобно имитирует процессы реального физического мира. При моделировании процессов с использованием зависимости (2.18), возможно появление набора движущихся устойчивых конфигураций, переходящих друг в друга. Эти трансформации аналогичны поведению элементарных частиц материи [35].

«Память» во временном ряде экономических показателей свидетельствует о наличии в процессе ряда существенных факторов, а длина памяти служит основанием для построения прогнозной модели. Фактически, это означает, что между текущими и будущими значениями временного ряда значений экономического показателя будет иметь место долговременная корреляция, что позволяет прогнозировать значения исследуемого процесса на несколько лет вперед так называемыми «циклами» или «блоками». Урожайность зерновых в зонах рискованного земледелия среди многих других агроэкономических процессов представляет собой типичное явление сохранения «долговременной памяти».

Далее представлена процедура получения среднесрочного прогноза (свыше 1 года) показателей сложных процессов (социально-экономических систем, СЭС) на базе механизма работы линейного клеточного автомата.

В отличие от методов классической статистики изучение динамики агроэкономических процессов на базе алгоритма работы линейного клеточного автомата (ЛКА) дает новые полезные прогнозные характеристики с точки зрения методологии исследования: 1) глубина долговременной памяти; 2) алгоритм ЛКА

⁵ Дж. Конвей и его игра «Жизнь». URL: <http://mirea.narod.ru/fstat04-02a.html>. (Дата обращения 24.12.2020 г.)

предусматривает вычисление прогноза в числовом выражении и в виде терма (Н – низкое, С – среднее, В – высокое значение). Отличительной особенностью метода ЛКА является возможность составления среднесрочного прогноза (свыше 1 года), за счет нахождения глубины памяти временного ряда. Средняя ошибка прогноза для агроэкономических временных рядов не превышает 25 %.

В параграфе представлена разработка информационной системы получения прогноза динамики агроэкономических процессов методом преобразования исходного временного ряда (ВР) в лингвистические переменные [305]. Для визуализации прогнозной модели и описания всех этапов алгоритма ЛКА, выполняемых разработанной программой используем ряд инструментальных средств, позволяющих моделировать действия в процессах, определять их порядок и необходимые ресурсы.

Для построения функциональной модели проектируемой системы выбрано инструментальное средство описания бизнес-процессов All Fusion Process Modeler. На рисунке 2.39 представлена родительская диаграмма с названием «Расчет алгоритма ЛКА». Процесс описания функционирования информационной системы представлен в виде диаграмм связей моделируемой системы со средой функционирования.

Взаимодействие системы с окружающей средой описывается в терминах входа (на рисунке 2.39 это «Временной ряд экономического показателя» и «Сопроводительный документ»), выхода (основной результат процесса – «Сформированный прогноз в виде нечеткого множества (НМ)»), управления («ГОСТы и стандарты», «Правила» и «Библиотеки») и механизмов («Персональный компьютер (ПК)», «Сотрудники», «Разработчик» – это ресурсы, необходимые для процесса функционирования системы).

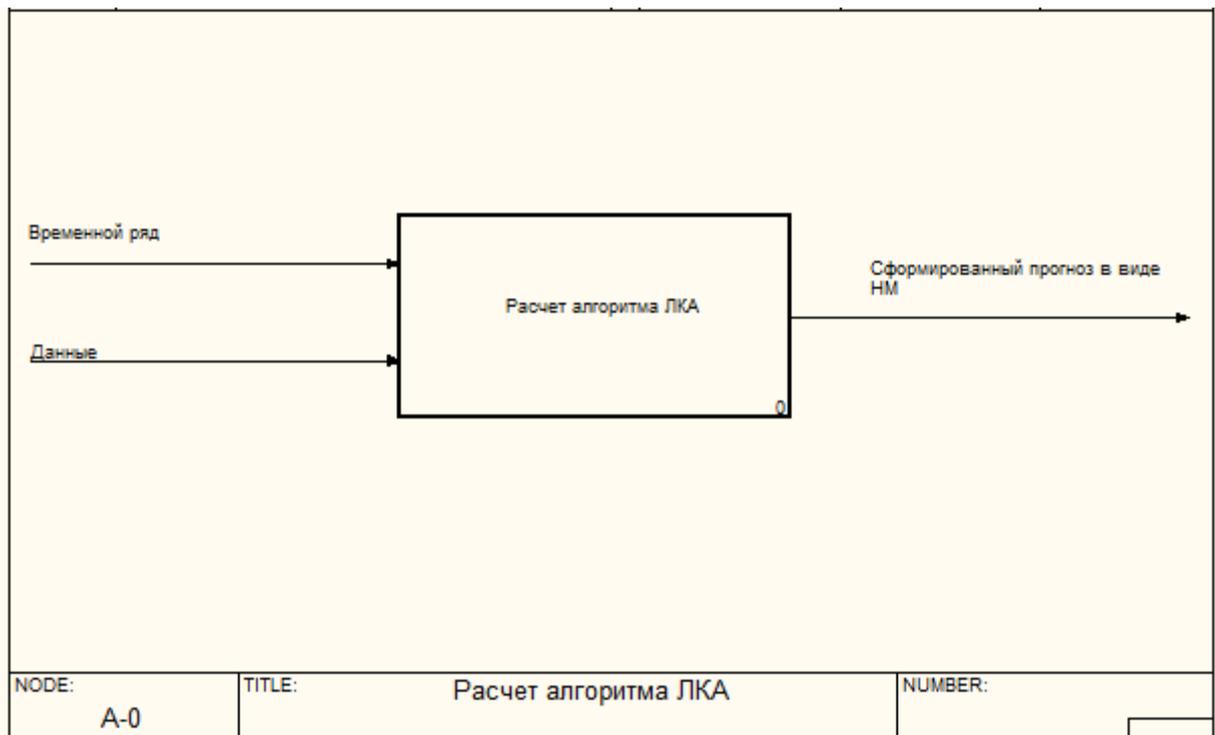


Рисунок 2.39 – TOP-диаграмма «Расчет алгоритма ЛКА»

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

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

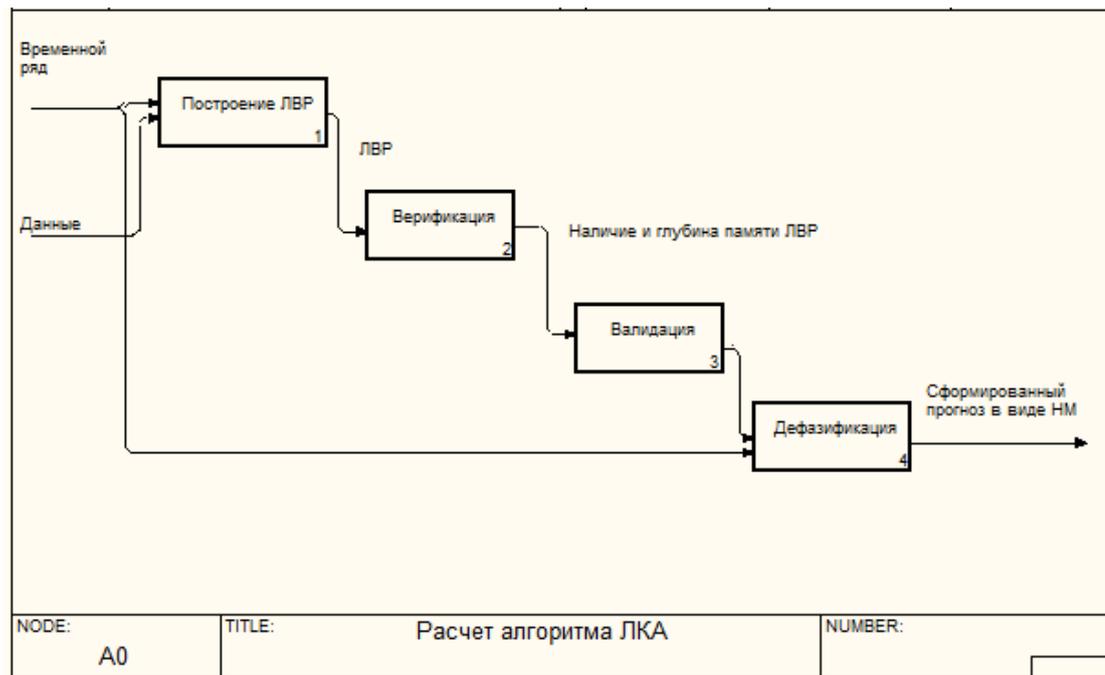


Рисунок 2.40 – Диаграмма декомпозиции IDEF0 алгоритма линейного клеточного автомата

Каждая Activity, начиная с Activity TOP диаграммы, может быть декомпозирована (разделена) на саб функции, предоставляемые несколькими Activities (рисунок 2.40). Данная диаграмма разбита на блоки: построение лингвистического временного ряда; верификация; валидация; дефазификация.

Основным процессом с точки зрения цели алгоритма ЛКА является преобразование исходного временного ряда в лингвистический временной ряд (ЛВР), представляющего собой этап верификации (в соответствии с рисунком 2.40).

Блок «Верификация» декомпозирован в нотации IDEF0: построение гистограммы ВР; разделение на интервалы (высокий, средний, низкий); преобразование в ЛВР. Ответственным за выполнение процесса «Верификация» является аналитик (рисунок 2.41).

Процедура валидации (рисунки 2.42–2.44) алгоритма линейного клеточного автомата апробируется (обучается) на всей выборке данных по принципу оверфиттинга. Полное описание алгоритма работы линейного клеточного автомата представлено в параграфе 4.3, а также в источниках[117, 171].

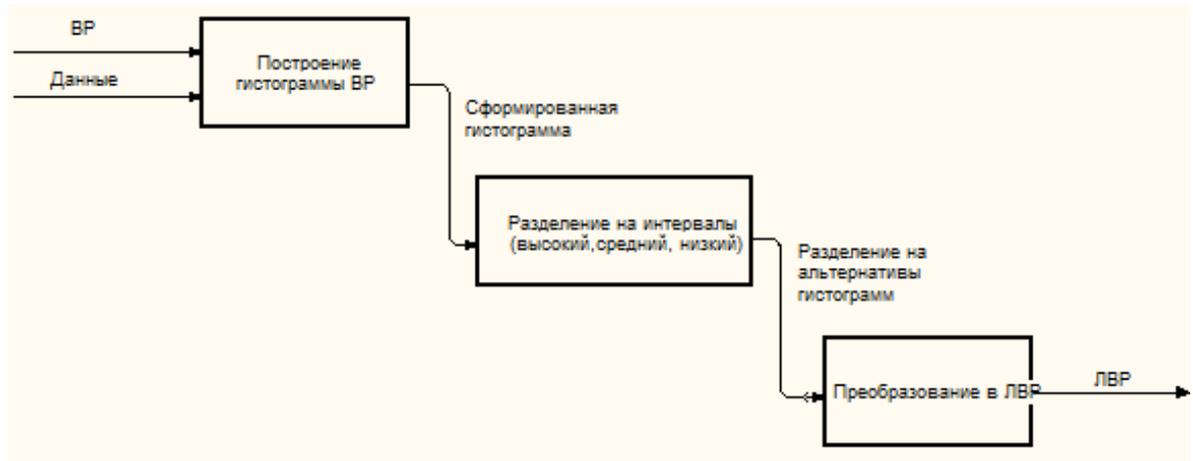


Рисунок 2.41 – Диаграмма IDEF3 «Построение лингвистического VR»

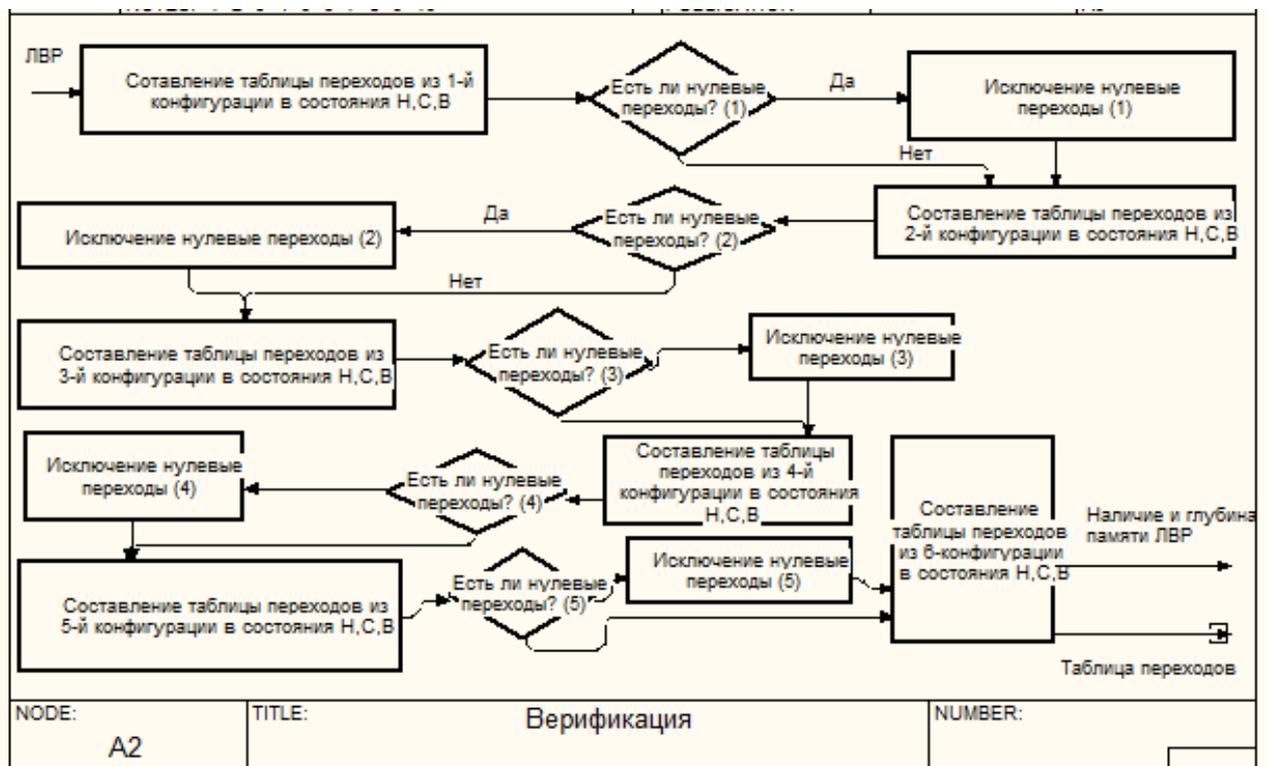


Рисунок 2.42 – TOP-диаграмма «Верификация алгоритма ЛКА»

В работе с целью иллюстрации, валидации, верификации и дефазификации предлагаемой прогнозной модели исследован такой экономический показатель зернового производства (и далее), как временной ряд значений урожайностей зерновых и зернобобовых культур по территории Ишимского района [186]:

$$Y: y_i, i = \overline{1, n} \quad (2.19)$$

Показания сняты в Тюменской области (южная лесостепь) за временной период с 1976 по 2021 гг., «узлы» модели пронумерованным индексом

$i = 1, 2, \dots, n$ где $n = 2021 - 1976 + 1 = 46$; y_i – значения временного ряда «Зерновые_Ишим» в i -ом году. Состав раскраски, т. е. перевод числового временного ряда y_i (2.19) в лингвистический, состоит из классической трехцветной модели.

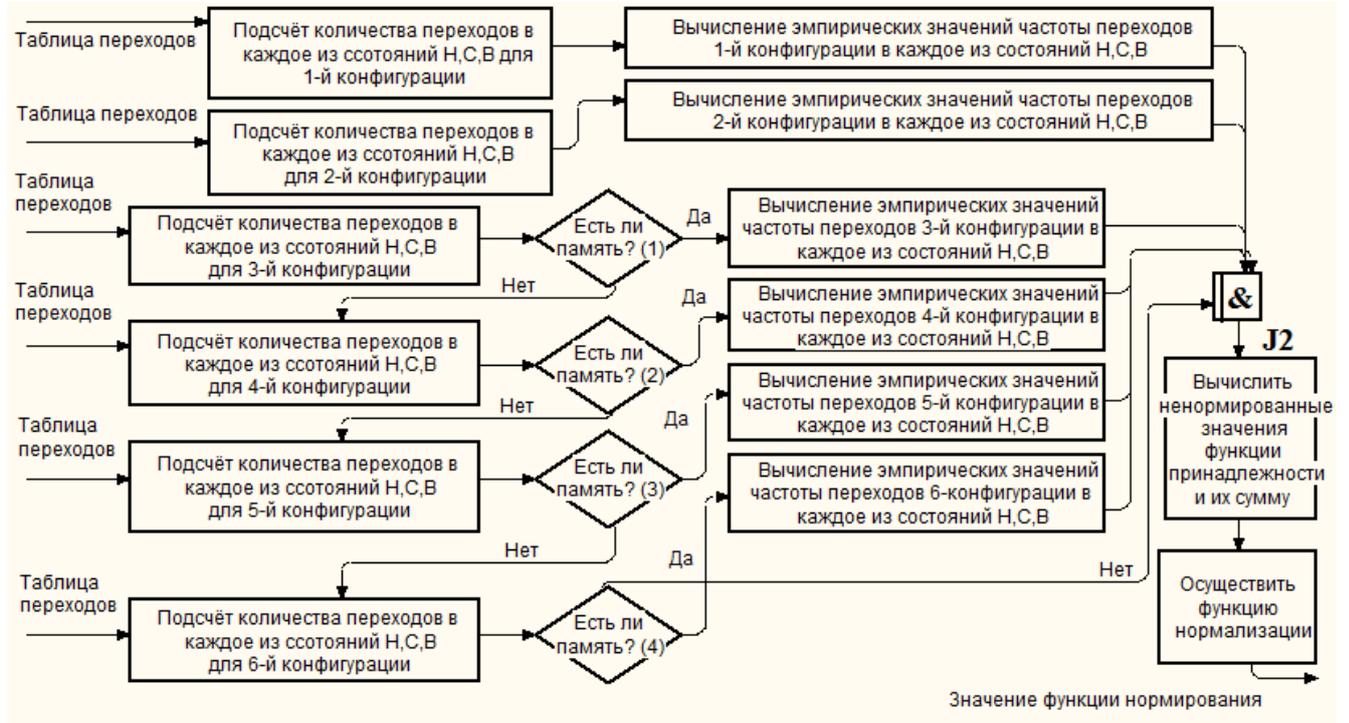


Рисунок 2.43 – TOP-диаграмма «Валидация алгоритма ЛКА»

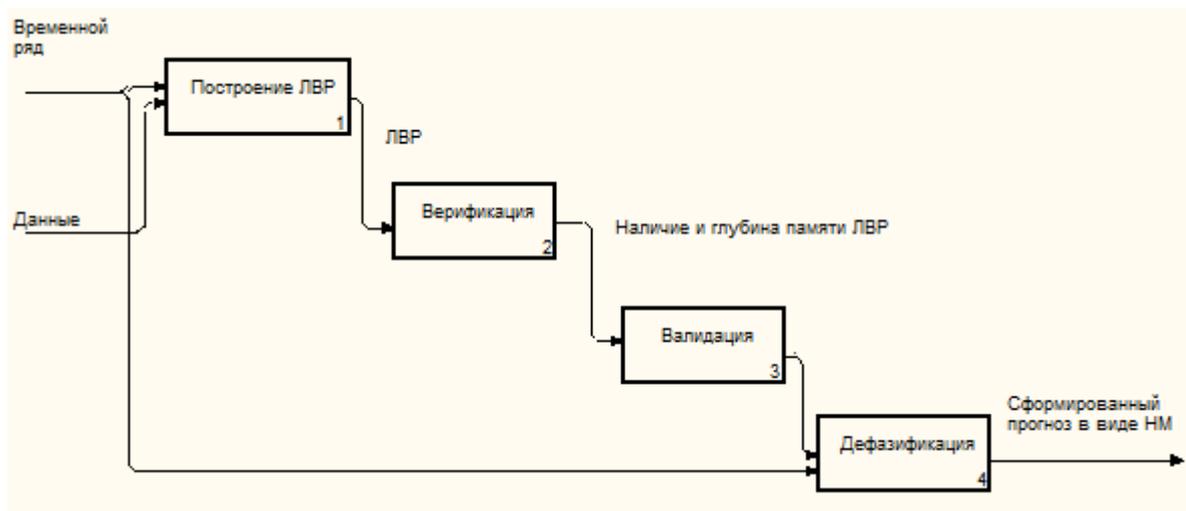


Рисунок 2.44 – TOP-диаграмма «Дефазификация алгоритма ЛКА»

После проведения процедуры замены элементов временного ряда на соответствующие термы из множества \bar{U} , получен следующий лингвистический временной ряд (ЛВР):

$$U: u_i, i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.20)$$

Сделаем важное примечание. Параметром N_l обозначим количество всех попарно различных l -конфигураций в лингвистическом временном ряде (2.20). Для принятого терм-множества $U = \{H, C, B\}$ максимально возможное количество различных l -конфигураций, $l = 1, 2, \dots, k$, $k = 5$, составляет $\sum_{l=1}^k x^l = \frac{x}{x-1} (x^k - 1)$, где $x = 3$ и $k = 5$ («глубина памяти»). Расчет по этой формуле дает результат 363. В это же время, в ЛВР (2.20) количество N_l всех таких различных l -конфигураций, $l \leq 5$, составляет $N = \sum_{l=1}^5 N_l = 31$. Из них $N_1=3$, $N_2=8$, $N_3=10$, $N_4=7$, $N_5=3$. Величина фактического количества l -конфигураций равна приблизительно 8.54 % от общего числа теоретически возможных конфигураций [35].

Отправной точкой первого этапа является процедура визуализации диаграммы временного ряда (2.19). На рисунке 2.45 изначально выделяются точками высокие уровни показателей урожайности и столбики, которым соответствуют низкие значения урожайности зерновых культур. Затем необходимо соединить ломаной линией соседствующие выделенные точки (результат представлен на рисунке 2.45), таким образом, образуются на графике: верхняя и нижняя огибающие ломаные (ВОЛ, НОЛ). На рисунке 2.45 точки выбора для ломаных отмечены маркером.

На II-ом этапе для значений ВР «Зерновые_Ишим» определяем принадлежность одному из трендовых коридоров. Отметим, что границы ВОЛ и НОЛ варьируются в зависимости от значений отправных точек, которые являются точками выбора для ломаных [190]. Границы основного коридора делятся на три части (в зависимости от раскраски ВР), тем самым вырисовывается коридор, ограниченный средними огибающими ломанными (СОЛ). Результат работы первых двух этапов алгоритма преобразования исходного временного ряда «Зерновые_Ишим» в лингвистический ВР изображен на рисунке 2.45. На заключительном этапе ВР (2.3) преобразуется в лингвистический временной ряд (2.4), путем окраски каждого уровня диаграммы в соответствии с рисунком 2.45.

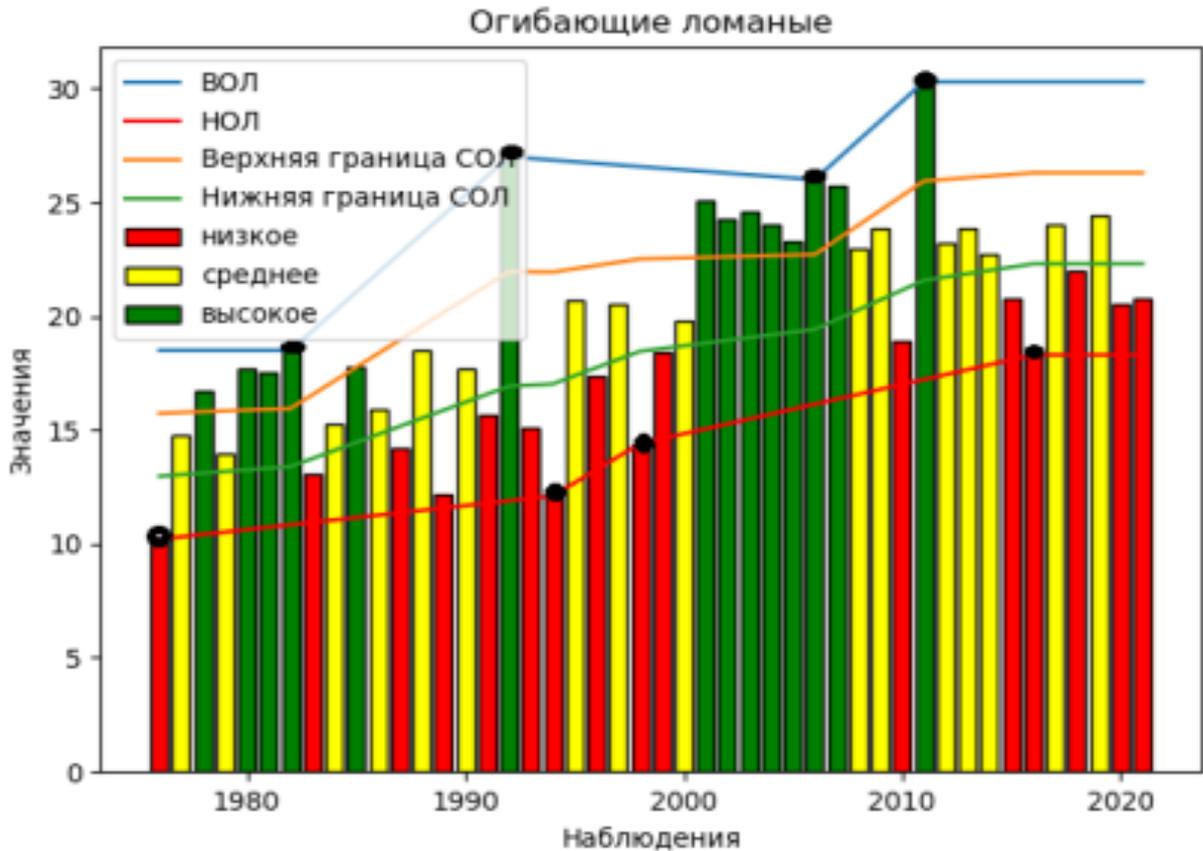


Рисунок 2.45 – Графическое изображение временного ряда «Зерновые_Ишим» (2.6) с выделенными трендовыми коридорами: НОЛ, СОЛ, ВОЛ (результат построения лингвистического временного ряда)

Рассматривая i -й уровень представленной диаграммы, наблюдение y_i заменяется:

- термом H , если уровень расположен между НОЛ и нижней границей СОЛ;
- термом C , если уровень находится между нижней и верхней границей СОЛ;
- термом B , если столбик наблюдения расположен между верхней границей СОЛ и ВОЛ.

Каждому наблюдению y_i временного ряда (2.19) ставится в соответствие определенный терм. После этой процедуры лингвистический временной ряд (2.20) считается построенным. На рисунках 2.45–2.48 представлены результаты работы генетического алгоритма – линейного клеточного автомата в виде прогнозной модели динамики экономического показателя зернового производства.

На этапе верификации знаком «—» отмечаются те уровни временного ряда, которые прогнозная модель «не угадала» (в соответствии с рисунком 2.46) [166].

Представляет практический интерес исследовать временной ряд показателей урожайности зерновых культур по Ишимскому району методом нелинейной динамики и классической статистики (в соответствии с рисунком 2.46). Скользящая средняя значительно усредняет динамику исходного волатильного процесса, валидация линейного клеточного автомата практически «угадала» все реверсы «спад/подъем» исследуемого агроэкономического процесса.

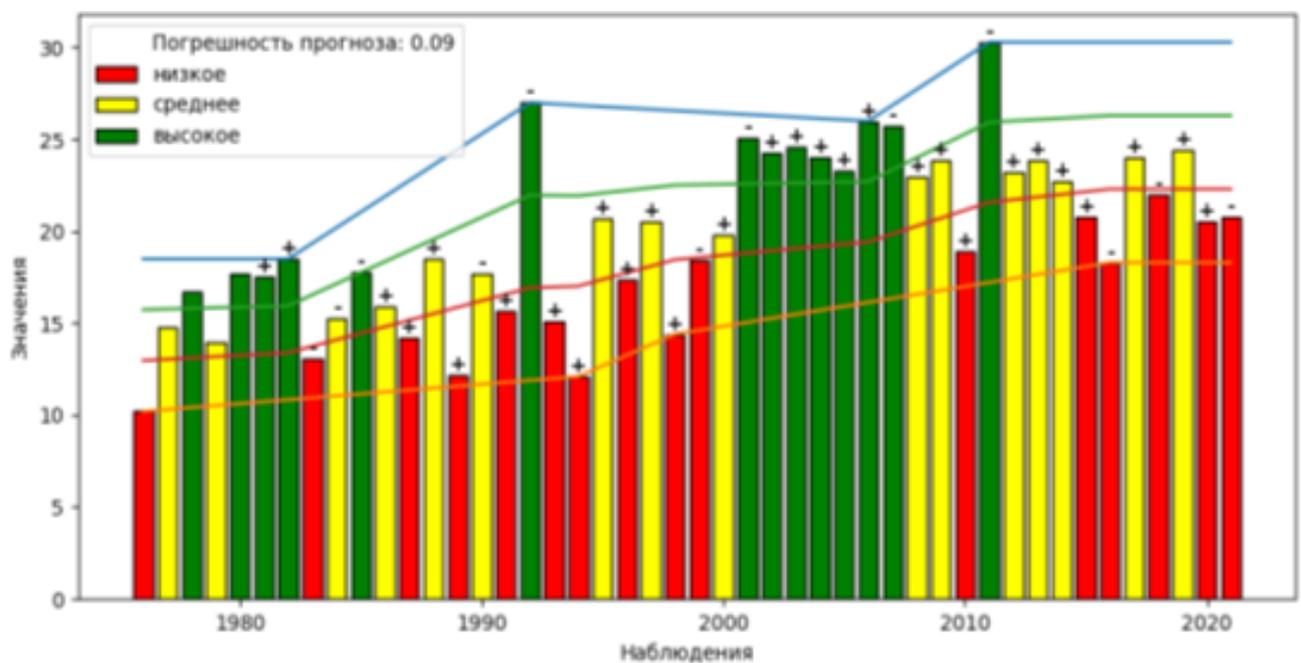


Рисунок 2.46 –Верификация прогнозной модель, построенной на базе алгоритма ЛКА для данных ряда «Зерновые_Ишим»

Как отмечается в работах [265, 409], природные ВР (2.19) и построенные лингвистические временные ряды (2.20) также обладают долговременной памятью [409]. Ошибка прогноза для временного ряда «Зерновые_Ишим» на базе работы алгоритма ЛКА составила величину, не превышающую значение 9 %. Прогнозное значение на 2022 г. в числовом виде ожидается как величина, равная 24,2 ц/га, в качестве лингвистической переменной ожидается прогноз в виде термина – С, прогноз на 2 шага вперед (на 2023 г.) – Н. Глубина памяти, выявленная алгоритмом ЛКА равна 5 годам, тем самым появляется возможность строить среднесрочные прогнозы зерновых культур (рисунок 2.47).

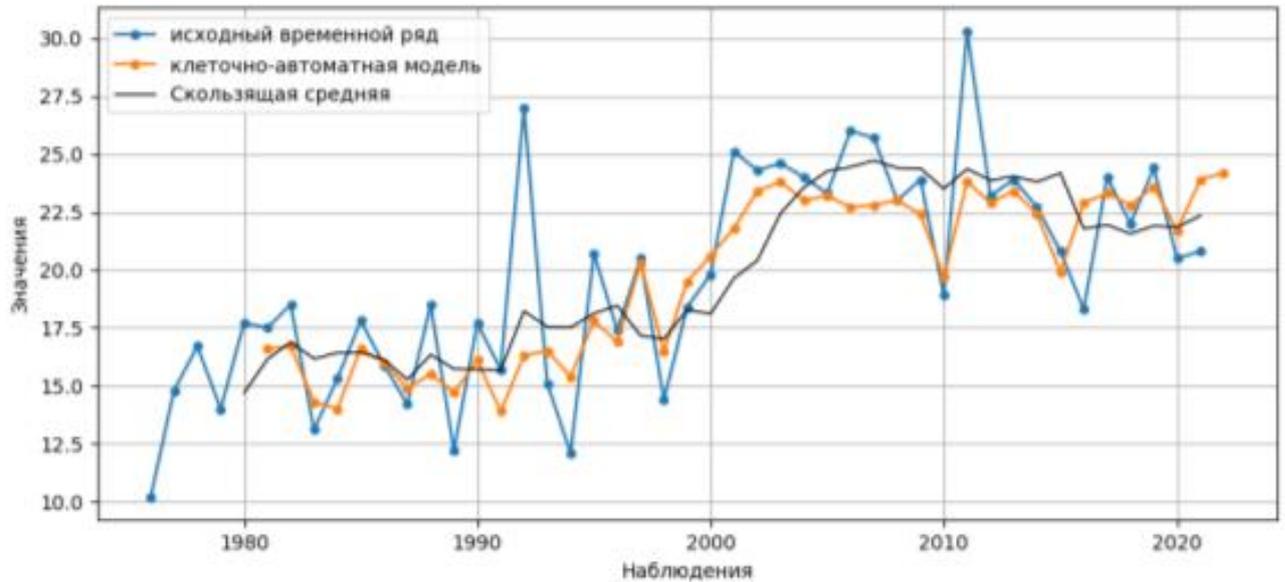


Рисунок 2.47 – Валидация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для данных ряда «Зерновые_Ишим»



Рисунок 2.48 – Экранная форма программы «Методы нелинейной динамики» (вкладка «Линейный клеточный автомат»)

Валидация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма линейного клеточного автомата для экономического показателя зернового производства «Зерновые_Ишим» вычислена вероятная оценка прогноза 91,2 %.

Можно отметить, что практически все значения центров габаритных прямоугольников находятся на биссектрисе $y \approx x$, кроме центров 1-го и 6-го габаритных прямоугольников. Полученные результаты алгоритма работы ЛКА (рисунки 2.45–2.48) и фазового анализа (рисунки 2.34–2.38) полностью коррелируют и дополняют друг друга. Например, глубина ряда, найденная на базе алгоритма ЛКА равна 5 (годам) подтверждается длиной квазицикла с наибольшей частотой.

Подытожим основные этапы алгоритма прогнозирования на базе клеточного автомата [166, 171]: *Первый* – предварительная подготовка исходных данных с привлечением инструментов и методов классической статистики с целью определения вида эмпирической функции распределения, выявления «тяжелых хвостов», сезонной компоненты и других характеристики исследуемого процесса [166, 171]; *Второй* – проведение фрактальной R/S-статистики временного ряда для выявления «долговременной памяти», определение диапазона шума исследуемого процесса, вычисление оценки глубины памяти (персистентность, хаотичность); *Третий* – выбор множества носителей и преобразование числового временного ряда экономического показателя в лингвистический ВР с целью формирования базиса памяти клеточного автомата [166, 171]; *Четвёртый* – построение прогнозной модели на базе генетического алгоритма для формирования ЛВР, определение частот и частостей переходов конфигураций в состояния-лексемы, где последнее генерирует память клеточного автомата; *Пятый* – получение прогноза в числовой форме и в виде лингвистического термина при реализации генетического алгоритма; *Шестой* – валидация с получением оценок погрешности полученного прогноза для временного ряда экономических показателей. Оказывается, синергетический алгоритм и полученный прогноз оказываются внутренне непротиворечивыми при построении своих частей [166, 171].

Результаты ЛКА позволяют строить среднесрочные прогнозы значений экономических показателей зернового производства, а также строить прогнозные модели величин риск-экстремальных факторов, влияющих на них.

Разработанная методика прогнозирования временных рядов включает в себя алгоритмы методов нелинейной динамики и искусственного интеллекта, отлича-

ется от традиционных мономodelей и метода наименьших квадратов аналитичностью, что позволяет выявить качественно новые прогностические характеристики исследуемых процессов, определить топологические и метрические характеристики циклов во временных рядах; выявить глубину долговременной (конечной) памяти временного ряда, что является значимым параметром в системе поддержки принятия управленческого решения.

В работе методика апробирована: в третьей главе, как для экономических показателей зернового производства, так и для природно-климатических факторов, влияющих на них; в четвертой главе – в качестве экономического показателя выступают временные ряды элементов финансового рынка России; в пятой главе – туристические потоки. Предложенная методика применима для различных предметных областей экономики. Отметим, что для исследования процессов в зерновом производстве не требуется дополнительных мероприятий по подготовке входных параметров в апробации представленной платформы. Для обработки больших объемов данных (на примере www.finam.ru) на базе исследовательской платформы, в некоторых случаях необходимо произвести процедуру нормирования данных (техническое ограничение системы). В случае анализа волатильных процессов (на примере данных туристического потока) требуется дополнительная подготовка входного параметра в виде следующих процедур: декомпозиция временного ряда, агрегирование данных, построение ряда приращений значений экономического показателя. Применимость исследовательской платформы неоднозначна для различных отраслей экономики, в каждом исследовании присутствует специфика изучаемой предметной области (рисунок 2.49).

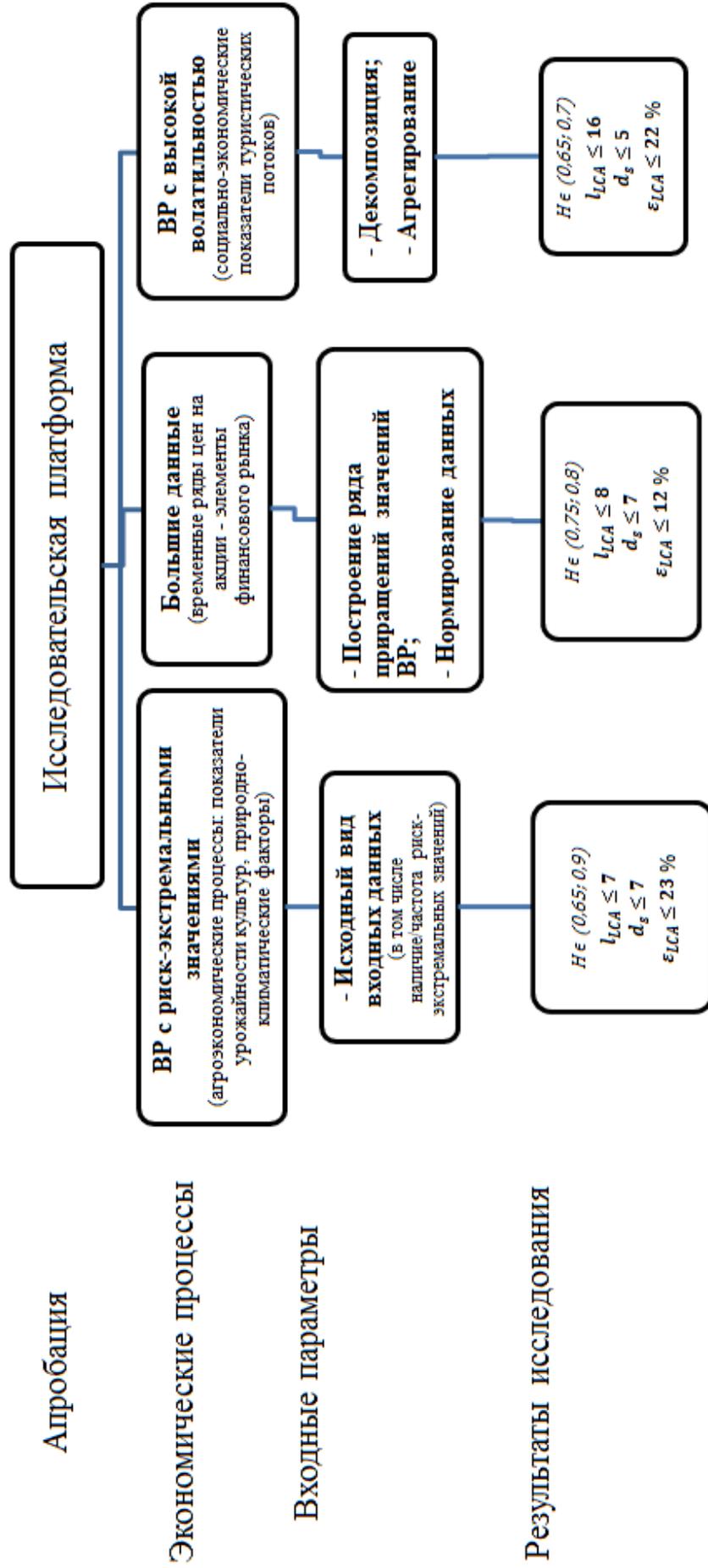


Рисунок 2.49 – Апробация исследовательской платформы для разных предметных областей: предварительная обработка входных параметров и получение прогнозных характеристик экономических показателей

Для исследования положений второй главы (пункты научной новизны №№ 1, 2, 3) использованы авторские программы для ЭВМ, подтвержденные «Свидетельствами о регистрации программного обеспечения №№ 2022666166, 2020612899, 2020662164, 2017611266, 2016661998», приведены в Приложениях Б, В, Г.

Положения второй главы могут быть использованы при реализации и корректировке: Национальных проектов РФ (Цифровая экономика, Наука и университеты, Малое и среднее предпринимательство); документов и проектов (Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, Цифровое сельское хозяйство).

2.4. Выводы

1. Для ретроспективной оценки состояния и динамики волатильных экономических процессов в современных условиях хозяйствования обозначены требования к проектированию и практическому применению инструментального средства «PieChart». Сложность построения таких диаграмм состоит в масштабировании значений экономических показателей, в которых: 1) параметр «Время» представляет период исследуемого экономического процесса; 2) параметр «Размер» соответствует динамическому масштабированию значений экономического показателя во времени; 3) параметр «Пропорции» показывает динамику структурных составляющих всей величины экономического показателя для каждого узла исследуемого процесса. Согласно теореме (формула полной вероятности) имеем: величина всех пропорций должна представлять собой полную систему событий (должна равняться сумме произведений вероятностей гипотез на условные вероятности события, вычисленные соответственно при каждой из гипотез).

2. Разработана платформа системы поддержки управленческих решений для получения среднесрочного прогноза экономических показателей зернового производства на базе синергетической методологии. Методология учитывает цикличность риск-экстремальных факторов и биологические циклы зерновых культур,

системно сочетая частные показатели прогнозов экономических показателей зернового производства в одном глобальном решении.

3. Разработанная методика прогнозирования временных рядов включает в себя алгоритмы методов нелинейной динамики и искусственного интеллекта, отличается от традиционных мономodelей и метода наименьших квадратов аналитичностью, что позволяет выявить качественно новые прогностические характеристики исследуемых процессов, определить топологические и метрические характеристики циклов во временных рядах; выявить глубину долговременной (конечной) памяти временного ряда, что является значимым параметром в системе поддержки принятия управленческого решения.

Глава 3. Методология моделирования развития зернового производства России

3.1. Методический подход и его программная реализация для получения прогноза динамики экономических показателей

В рамках сложившейся ситуации для страны, стратегия импортозамещения и импортоопережения в сфере АПК является мощнейшим стимулирующим фактором её развития. Эффективное развитие зернового производства связано напрямую с проблемами его управления. Согласно Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. заложен рост валового производства зерна до 150,3 млн т (в оптимистическом сценарии), с увеличением экспорта до 63,6 млн тонн. Увеличение значений экономических показателей зернового производства России планируется за счет ввода в эксплуатацию неиспользуемых земель сельхозназначения, увеличения посевных площадей, повышения урожайности зерновых и зернобобовых культур. На повышение значений экономических показателей зернового производства влияют природно-климатические условия, именно они определяют качество зерновой продукции, затраты и комплекс применяемых агротехнологических мероприятий.

В арсенале статистических и инструментальных методов анализа сложных систем используются различные экономико-математические модели для представления данных. Исследование экономического временного ряда X_i начинается с определения основных статистических показателей, таких как: математическое ожидание $M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i$, дисперсия $D(X) = M[X - M(X)]^2$, стандартное отклонение σ , коэффициенты вариации $V(X_i) = \frac{\sigma}{M(X)} \cdot 100\%$ и корреляции

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X)^2}{n}\right)\left(\sum_{i=1}^n Y^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y)^2}{n}\right)}}$$

Один из наиболее часто используемых инструментов для определения статистической значимости различий между двумя наборами данных – критерий Стьюдента:

$$F_{\text{набл.}} = \frac{M(X_i) - M(Y_i)}{\sqrt{\frac{\sigma_X^2}{N_1} + \frac{\sigma_Y^2}{N_2}}} \quad (3.1)$$

где N_1 и N_2 – мощности исследуемых выборок.

Следующим распространённым статистическим методом для вычисления вероятности того, что определенное событие произойдет, основываясь на известных данных, является теорема Байеса:

$$P(H_i|B) = \frac{P(H_i) \cdot P(A|H_i)}{\sum_{j=1}^n P(H_j) \cdot P(A|H_j)} \quad (3.2)$$

где событие A может произойти в случае появления одного из несовместных событий $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$; H – гипотеза.

Можно отметить, что современные методы машинного обучения используют алгоритмы математических методов для анализа данных. Например, формула градиентного спуска используется для обучения модели машинного обучения путем минимизации ошибки:

$$w := w - \mu \nabla Q(w), \quad (3.3)$$

где μ – параметр, называемый скоростью обучения.

Обзор существующих методов и подходов для ретроспективного анализа данных:

- Методы статистического анализа данных, такие как регрессионный и дисперсионный анализ;
- Методы машинного обучения, такие как алгоритмы классификации и кластеризации;
- Методы исследования временных рядов, такие как ARIMA и GARCH модели;
- Методы графовых анализов, такие как центральность и сообщества.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, и выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи и доступных данных.

Любая информация о прогнозе конъюнктуры цен, прогнозе природно-климатических условий, ожидаемом уровне урожая, предполагаемой его себестоимости, цене, объеме собранного урожая, доходе хозяйства от него – важна. Она позволяет обеспечить условия для продуктивного управления зерновым производством с возможностью принятия обоснованных управленческих решений, для маневрирования ресурсами и технологиями, для стимулирования гибридных хозяйственных решений. Прогноз межгодовых колебаний урожайностей зерновых культур помогает решить важную задачу повышения устойчивости и экономической эффективности зернового производства [166, 186].

Для выявления новых качественных предпрогнозных характеристик в главе апробирована авторская исследовательская платформа в исследовании данных сектора зернового производства. В соответствии с описанной платформой многокритериального прогнозирования (рисунок 2.2) предложена концепция построения прогнозной модели экономического показателя (рисунок 3.1) отдельно выбранной отрасли экономики. В диссертации концепция апробирована: в третьей главе как для первичных природно-климатических факторов, влияющих на экономические показатели зернового производства, так для и вторичного фактора – урожайности зерновых культур; в четвертой главе – в качестве экономического показателя выступают временные ряды элементов финансового рынка России; в пятой главе – туристические потоки. Авторская концепция включает системную комбинацию математических методов, задача которых – моделировать многокритериальность объективного влияния внешней среды (риск-экстремальных факторов) на экономические показатели отдельно выбранного сектора экономики.

В отличие от спектра методов математической статистики, исследование значений риск-экстремальных факторов, от которых зависят экономические показатели отдельно выбранного сектора экономики, на базе авторской исследовательской платформы прогнозирования придает методике качественно новые прогнозные характеристики [14, 157, 172, 187]:

1) наличие свойства «долговременной» памяти у временного ряда риск-экстремальных факторов (оценка показателя Херста);

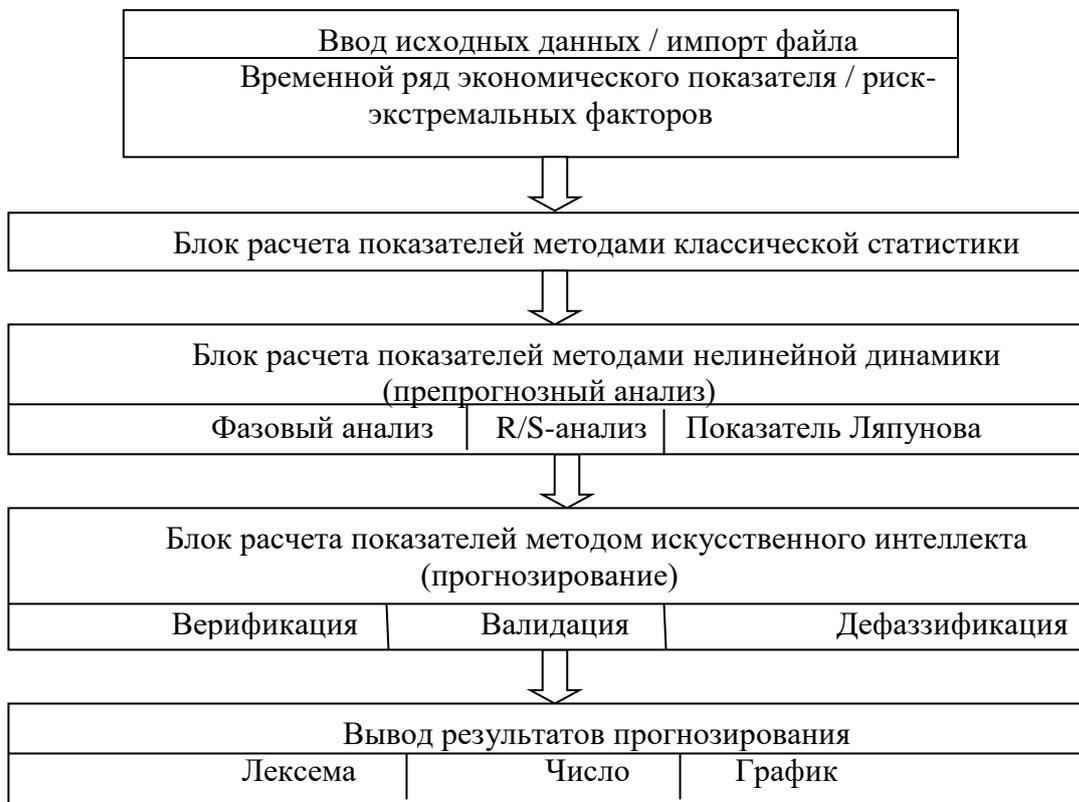


Рисунок 3.1 – Методика прогнозирования «первичных» факторов, влияющих на экономические показатели отдельно выбранного сектора экономики
*Составлено автором

2) выявление длин циклов и квазициклов риск-экстремальных факторов как предпрогнозная информация (фазовый анализ);

3) определение глубины долговременной памяти временного ряда экономического показателя, полученной на базе расчетов ЛКА.

Таким образом, синергетический подход обеспечивает новое качество многомерного системного анализа и прогноза, что должно помочь выявить и лучше понять «пружины» экономической эволюции сложных процессов. Рассмотрим апробацию предложенной методики на примере данных сектора зернового производства макрорегионов России.

Вопросы стабильности отрасли АПК и производства продукции определяются прежде всего межсезонными колебаниями в зерновом производстве, кото-

рые в свою очередь достигают 25 %. Отдельно отметим факт того, что зона рискованного земледелия является фактически основной для пахотных земель России. Проблема устойчивого развития зернового производства в контексте вышесказанного является актуальным направлением для изучения, а разработка методов и моделей прогнозирования урожайности различных зерновых культур на один-три года дает возможность снизить риски всего агропромышленного комплекса эффективно и малозатратно [270].

Временные ряды урожайности зерновых культур, являющиеся предметом исследования в данном разделе, фактически отражают динамику природно-экономического процесса, что позволяет на базе анализа этих данных адаптировать известные и разработать новые прогнозные подходы и модели.

Таким образом, учитывая вышесказанное, возникает необходимость в решении вопросов адаптации и разработки новых количественных и качественных методик и методов получения информации, как предпрогнозной, так и более точной прогнозной для получения значений урожайности зерновых культур агропромышленного комплекса. Основным результатом прогнозирования экономических показателей зернового производства является факт увеличения производительности, уменьшения затрат и как следствие уменьшение экономического риска [141]. Фрактальный анализ в прогнозировании солнечной активности служит связывающим мостиком между фрактальными и непрерывными методами. Фрактальный анализ и непрерывная экономическая цикломатика получают характеристики цикличности этого временного ряда урожайности зерновых культур с помощью фазового анализа. Фазовая траектория состоит из квазициклов, которые нумеруются. Среднюю длину квазициклов солнечной активности можно адекватно представить в виде точки центра тяжести, равной 10.88, что согласуется с 11-летней средней длиной солнечного цикла. Аналогичная операция в нелинейных подходах прodelывается для других показателей: урожайности зерновых культур и влияющих на нее риск-экстремальных факторов: влажности или количества осадков, температуры среды [166]. Предпрогнозная информация динамики экономических показателей зернового производства, получаемая с помощью фазово-

го анализа, представляется траекторией дрейфа центров квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур и ее фазовой траекторией. Аналогично исследуется траектория дрейфа площадей габаритных прямоугольников квазициклов и их фазовая траектория. Новое знание о динамике временных рядов экономических показателей зернового производства можно получить путем сравнения оценок показателей их динамики. Существует три группы предпрогнозной информации временных рядов экономических показателей зернового производства.

Первая группа представляется предпрогнозной информацией о разложении фазовой траектории временного ряда урожайности зерновых культур на квазициклы. Принадлежащие временным рядам квазициклы «дышат» в смысле изменения размеров габаритных прямоугольников, в которые квазициклы заключены. Вторую группу составляют траектории «дрейфа» центров квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур, они «дрейфуют» в смысле эволюции координат их центров. Третью группу образуют сведения о траекториях дрейфа движения вычисленных площадей габаритных прямоугольников фазовых квазициклов временного ряда урожайности зерновых культур. В результате получаем для фрактального анализа согласованность и непротиворечивость качественных оценок предпрогнозных характеристик, соотносящихся по принципу «взаимной дополненности» получаемого нового знания о динамике рассматриваемых временных рядов экономических показателей зернового производства.

В данном разделе с целью апробации работы алгоритма линейного клеточного автомат рассмотрен временной ряд [176, 180, 435, 437]:

$$Y: y_i, i = \overline{1, n} \quad (3.4)$$

значений такого экономического показателя зернового производства, как урожайность озимой пшеницы (показания сняты в Ставропольском крае (СК)) за временной период с 1870 по 2020 гг., пронумерованных индексом $i = 1, 2, \dots, n$, где $n = 2020 - 1870 + 1 = 151$; y_i – значения временного ряда «Пшеница_СК» в i -ом году (4.1). Расчет статистических показателей (рисунок 3.2) для значений исходного временного ряда экономического показателя зернового производства

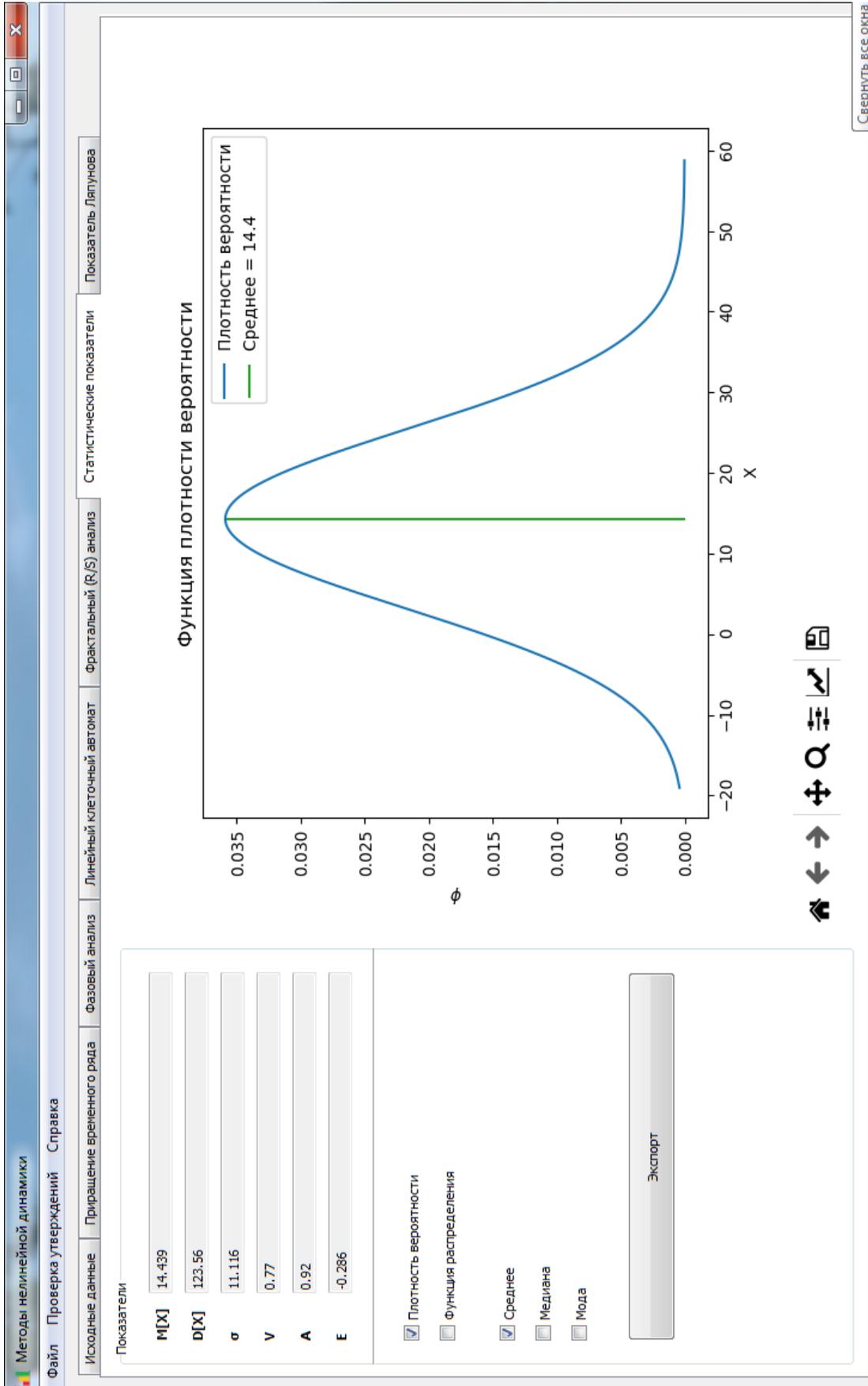


Рисунок 3.2 – График плотности значений показателя урожайности озимой пшеницы по Ставропольскому краю

«Пшеница_СК» показал высокую волатильность, а именно величина коэффициента вариации, равна $V = 77\%$.

На рисунке 3.2 показано, что график плотности рассматриваемого ВР «Пшеница_СК» не подчиняется нормальному закону (наличие тяжелого правостороннего хвоста), а значит дальнейшее исследование возможно на базе методов нелинейной динамики. Далее продемонстрирована работа метода нормированного размаха (R/S-анализа) в программе «Методы нелинейной динамики». На рисунке 3.3 представлена R/S-траектория для исходного временного ряда «Пшеница_СК» за период с 1870 по 2021 гг. Уравнение регрессии $y = a \cdot x + b$, представленное на рисунке 3.3, соответствует для линии тренда всей R/S-траектории. В программе предусмотрена возможность экспорта расчетов R/S-анализа в приложение Microsoft Excel.

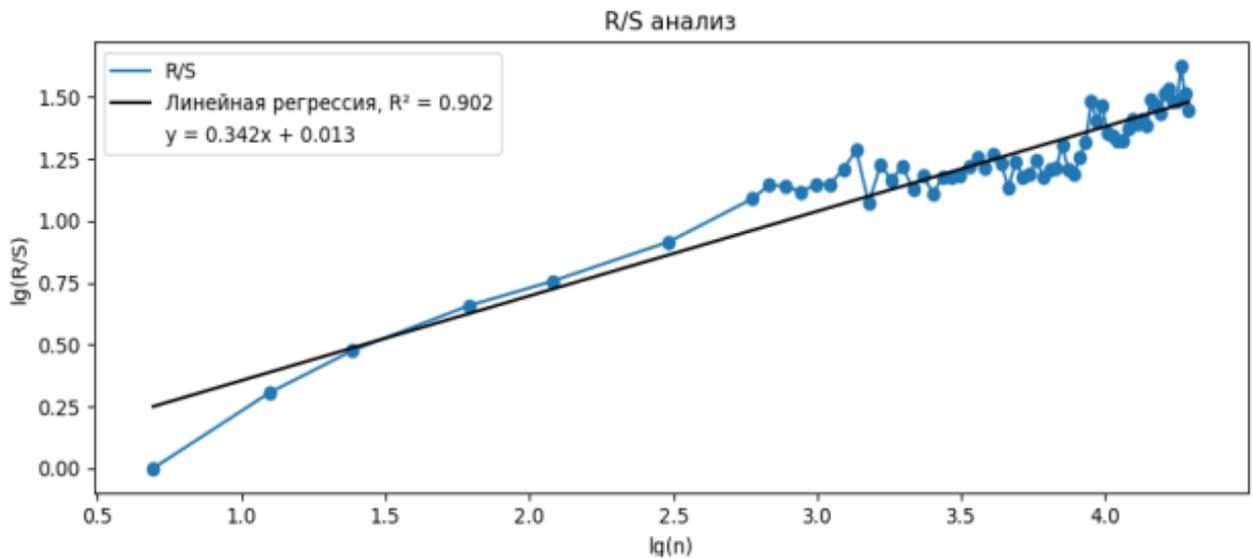


Рисунок 3.3 – График R/S-анализа для временного ряда «Пшеница_СК» за период с 1870 по 2021 гг. с линией тренда для всего ряда

Значения показателя Хёрста [254] вычислив по формуле:

$$H = H(\tau) = \frac{\log(R(\tau)/S(\tau))}{\log(\tau/2)} \quad (3.5)$$

где S – среднеквадратическое отклонение для отрезков временного ряда $Z^{\tau} = Z_1, Z_2, \dots, Z_t$;

R – нормированный размах:

$$R = R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} (X_{\tau,t}) - \min_{1 \leq t \leq \tau} (X_{\tau,t}) \quad (3.6)$$

На рисунке 3.4 представлена R/S-траектория временного ряда «Пшеница_СК» с уравнением тренда до 4 точки срыва. Показатель Херста $H = 0.7$ подтверждает наличие долговременной памяти у временного ряда «Пшеница_СК».

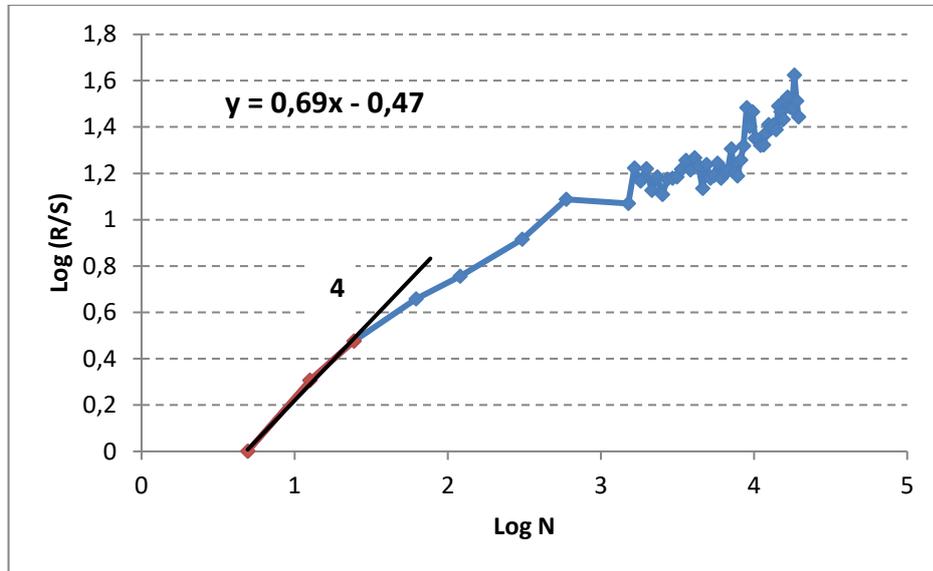


Рисунок 3.4 – График R/S-анализа для временного ряда «Пшеница_СК» с линией тренда до точки срыва

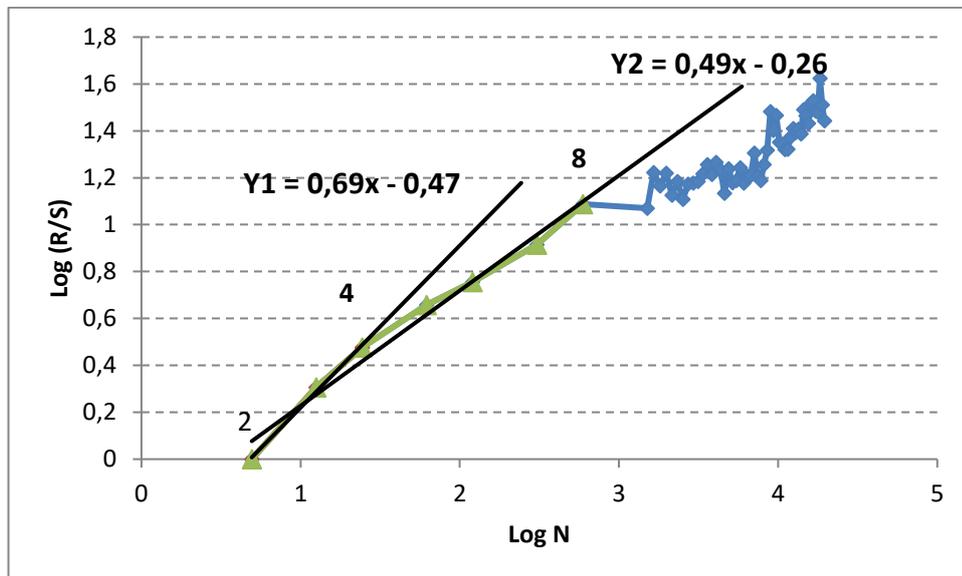


Рисунок 3.5 – График R/S-анализа для временного ряда «Пшеница_СК» с линией тренда для двух точек срыва

На рисунке 3.5 представлена R/S-траектория временного ряда «Пшеница_СК» с уравнением тренда до 8 точки срыва. Показатель Херста $H = 0.5$ под-

тверждает выбор четвертой точки срыва с памяти и можно сделать выбор в пользу уравнения тренда $Y_t = 0,69x - 0,47$. Исходя из визуализации рисунков 3.3–3.5 можно выносить утверждение о том, что долговременная память временного ряда «Пшеница_СК» колеблется в интервале $[4; 8]$, соответственно значение показателя Херста $H \in (0.5; 0.7)$.

На рисунке 3.2 наглядно показано, что эмпирическая функция распределения временного ряда «Пшеница_СК» не подчиняется нормальному закону и имеет «правосторонний хвост». В источнике [254] сказано, что для таких рядов вычисленный показатель Херста H выше значения 0.5. Расчитанный показатель $H \in (0.5; 1)$ означает то, что исследуемый ВР обладает свойством фрактальности. Особенностью фрактальных рядов является то, что динамика последних отличается от случайных блужданий.

3.2. «Блочное» прогнозирование экономических показателей зернового производства

Аппроксимация сплайнами в ее современном виде впервые появилась в работах таких ученых, как Шёнберг, Сокольников [455, 459]. В работе Соколькова предвосхищены некоторые из недавних достижений теории сплайнов, в частности *свойство минимальной кривизны*.

Сплайны успешно применяются в элементарных процессах интерполяции и приближенного интегрирования. Однако наиболее важна их эффективность в численном дифференцировании. В значительной степени это объясняется присущей им быстротой сходимости. Кроме того, свойства наилучшего приближения и минимальной нормы также содействуют этой эффективности.

С помощью сетки $\Delta: a = t_0 < t_1 < \dots < t_N = b$ на отрезке $[a, b]$ можно определить различные сплайны, отвечающие одному и тому же линейному дифференциальному оператору L . Любой конкретный сплайн $S_\Delta(t)$ зависит от конечного числа независимых параметров, которые мы называем определяющими значениями; $S_\Delta(t)$ есть результат конкретного задания численных значений этих параметров. Если таких параметров k и каждый из них может принимать любое дей-

ствительное значение, то мы получаем k -параметрическое семейство сплайнов F_{Δ} относительно сетки Δ . Семейство F_{Δ} состоит из сплайнов, отличающихся только заданием численных значений этих параметров и, следовательно, обладающих в точках сетки одинаковыми свойствами непрерывности. В этом смысле семейство F_{Δ} определяет тип сплайна.

Новая нелинейная парадигма, составляющими которой являются такие элементы, как фрактальный анализ, фазовый анализ, линейный клеточный автомат и т. д., в исследовании социально-экономических процессов появилась на рубеже XX–XXI столетия [143, 193, 255, 357, 365, 400, 434].

Изучая в развитии методы нелинейной динамики представляется возможным выделить как минимум два этапа. Первый этап характеризует полученные знания об открытых нелинейных системах с точки зрения вопросов самоорганизации этих систем. По определению И. Р. Пригожина [277] возникают так называемые диссипативные структуры, которым присущи независимые от времени, а именно неоднородные стационарные распределения переменных. Если следовать определению Р. В. Хохлова, то в этом случае мы говорим о периодических или непериодических колебаниях, называемых автоволновыми процессами.

Второй этап связан с изучением динамического хаоса, в котором прогнозное значение определяется, как на основе информации о прошлом и настоящем. Причем, считается, что случайные факторы отсутствуют. Данный подход дал возможность исследователю утверждать, что существует определенный конечный интервал времени, при исчерпании которого точность прогноза поведения системы в динамике становится невозможным. Именно значение этого интервала носит название длины «горизонта прогноза». Фактически, изменяя внешний параметр, отслеживаются универсальные различные сценарии от простого движения к динамическому хаосу [255].

Базой развития исследований и первого, и второго этапов являются так называемые параметры порядка, которые на больших промежутках времени подчиняют себе остальные степени свободы системы. Фактически, основной задачей является определение этих параметров порядка в бесконечном числе системных

переменных. Таким образом, ключевым моментом в теории нелинейной науки является понятие самоорганизации.

Классическая линейная парадигма имеет в своей основе следующие аксиоматические постулаты: элементы временного ряда являются независимыми и, следовательно, незначительное их отклонение не влияет на характер поведения системы. Для временных рядов, описывающих поведение социально-экономических, природно-экономических, финансовых процессов это правило скорее является исключением [246].

Развитие в настоящее время современной теории рисков связано с внедрением в нее «правил» и подходов нелинейной динамики. Тот факт, что дисперсия $D(X) = M[X - M(X)]^2$ или СКО в классической статистике используется как мера риска становится неочевидным при наличии таких свойств у временного ряда как самоподобие и неподчинение нормальному закону распределения. Фрактальная размерность ВР в рамках теории нелинейной динамики выступает как мера риска, а именно в качестве косвенной оценки. Последняя подразумевает, прежде всего, качественную характеристику, которая используется в разных аспектах: лингвистических, описательных, сравнительных и других. Величина фрактальной размерности отражает меру риска: с увеличением (уменьшением) значения меры риска убывает (возрастает) [410, 433, 438, 439, 445].

Вызывает научный интерес исследование эволюционных, сложно структурируемых экономических процессов, а также апробация экономико-математических методов и моделей, подробно описано у А.Н. Колмогорова [81].

Учитывая современные условия в анализе природно-экономических процессов игнорирование маловероятных причин приводит к «опасным» ошибкам на выходе (крах, дефолт и т.д.). Надо учитывать тот факт, что анализ экономической ситуации любой глубины всегда приближен. Оценить эту приближенность, возможно только изучив оставшиеся факторы или причины. Если нам удастся сделать такой анализ, то риск исчезает, так как о развитии ситуации мы будем знать все наперед. Другими словами, определяя риск и причины его появления, мы тем самым «удаляем» этот риск, т.е. сам риск исчезает.

Эдвард Лоренц (*Edvard Norton Lorenz*), профессор Массачусетского технологического института во второй половине 20-го столетия в ходе работы над программной реализацией прогноза метеоусловий обнаружил, что незначительно малое округление начальных данных приводит к большим расхождениям итоговых результатов. Такое проявление он назвал «эффектом бабочки» [335]. Именно этот факт позволил обратить внимание ученых к теории хаоса и методам нелинейной динамики и в рамках этой теории иметь возможность аналитически описать влияние малосущественных параметров на поведение сложной нелинейной системы с прогнозируемыми последствиями. Исследуя природно-экономические процессы и определяя интересующие нас переменные, мы изучаем, прежде всего, факторы или параметры, влияющие на эти переменные. Другими словами, давая оценку величине риска природно-экономических процессов в сельском хозяйстве в итоге определяем будущий доход. В итоге возможны два исхода принятия решений:

- 1) Полученная оценка не влияет или совсем несущественно влияет на финансовый итог;
- 2) Эта оценка действительно существенным образом влияет на величину дохода и как таковой риск исчезает, например, риск в процентном соотношении равен 5 %, соответственно доход равен 1,000 тыс. руб. В этом случае неопределенность исчезает, как и сам риск. Если же мы знаем об этих 5 %, а подсчитать свой будущий доход в числовом выражении не можем, то и само значение этих 5 % нам не нужно, а риск (неопределенность) остается.

Подводя итог к вышесказанному, понятие риска, также, как и понятия «случайность» и «вероятность» на практике определяются неоднозначно.

Определение и изучение последствий риска ведет к тому, что риск как таковой пропадает, исчезает сама неопределенность, порождающая риск. Оценить риск и его последствия невозможно, если не изучать его детально и не иметь возможность получения численной оценки. Природно-экономические процессы в своей динамике всегда имеют неизвестность (риск). Пристальное изучение и развитие прогностики уменьшает эту неопределенность, таким образом снижается

сам риск. Это означает, что, уменьшая неопределенность (риск), мы даем ему оценку.

Будем «поглядывать» на положения теории (параграф 2.2), строя непрерывные («истинные») фазовые траектории для значений временного ряда показателей урожайности озимой пшеницы Ставропольского края (Пшеница_СК) за временной промежуток времени с 1870 г. по 2021 г. (рисунок 3.6). Фазовый портрет, который строится на базе связи непрерывных процессов и их первых производных, претендует на непривычно обобщенный двумерный образ динамики системы.

Особенность непрерывного фазового подхода состоит в комплексном представлении агроэкономической динамики на фазовой плоскости, где в качестве оси абсцисс будут значения «экономического показателя зернового производства» (например, урожайности зерновых культур), по оси ординат исчисленные значения первой производной «экономического показателя зернового производства» [181]. Опираясь на понятия классической экономической цикломатики [23, 59] введем обозначения:

Пусть $\varphi(t)$ – некая непрерывная функция, тогда
 $\varphi'(t)$ – ее первая производная;
 t – параметр времени;

Функциональную зависимость $\varphi'(t)$ от $\varphi(t)$ в фазовой плоскости можно назвать «истинной» фазовой траекторией или портретом исследуемого временного ряда (например, экономического показателя зернового производства или значений риск-экстремальных факторов, влияющих на них). Ранее метод фазового анализа применялся в приложениях физики и математики, в последнее время активно используется в исследовании ВР экономических показателей зернового производства и риск-экстремальных факторов, влияющих на них [50, 59, 114].

Циклический характер ВР «Пшеница_СК» отчетливо виден по фазовому портрету (в соответствии с рисунком 4.28). Отличительной особенностью фазового анализа является выделение цикла, как динамического блока в повторении, достраивая который появляется возможность получения прогноза на ряд лет вперед (прогноз-3) от прогноза-2 и прогноза-1 [181].

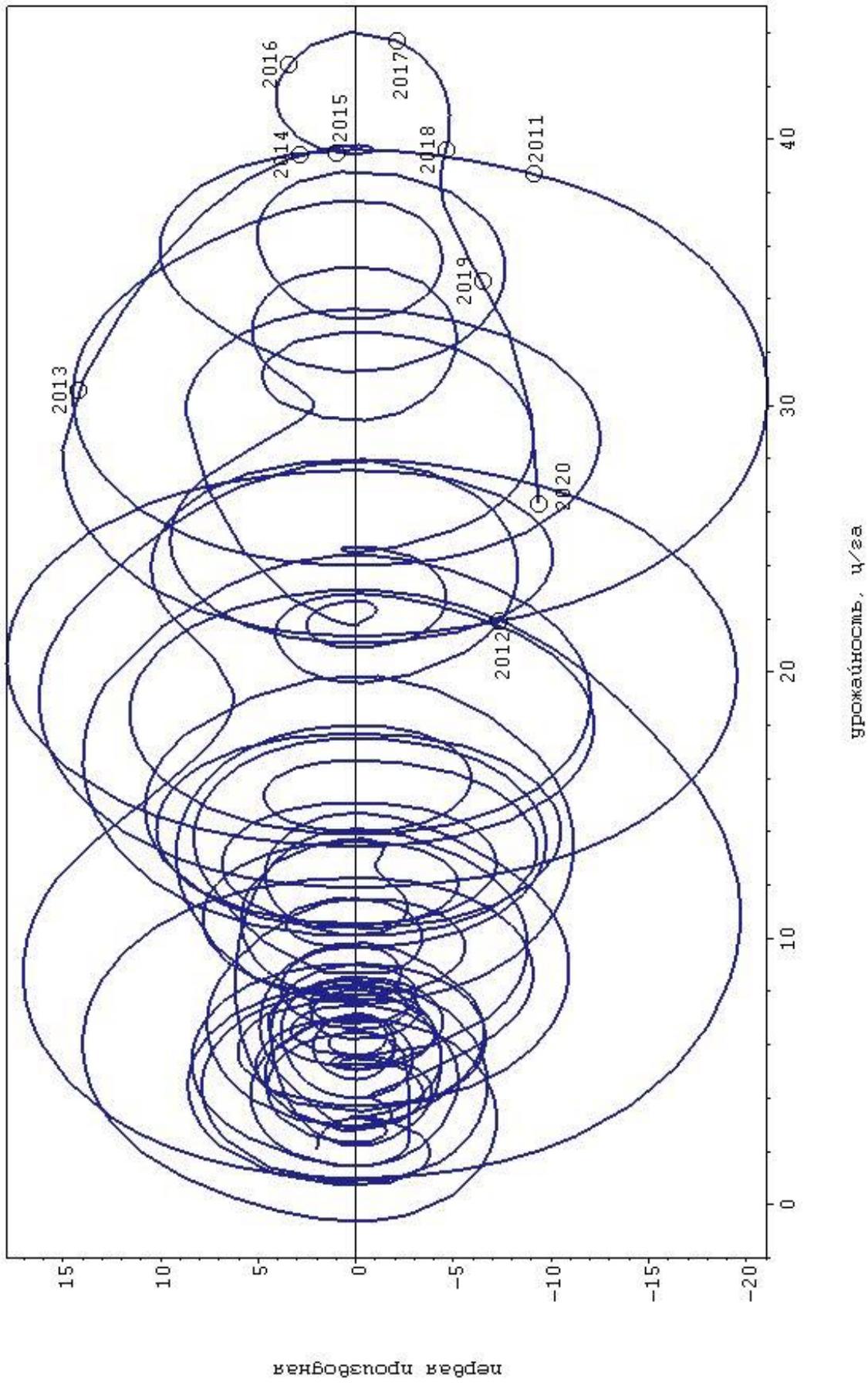


Рисунок 3.6 – Фазовая траектория временного ряда экономического показателя зернового производства «Пшеница_СК» с 1870 по 2020 гг. (BLUE). Слайд-аппроксимация.

Система компьютерной математики MAPLE 19.0

На рисунке 3.6 визуализируется положительное движение циклов слева направо по оси Ox в пределах интервала [2.1; 40.2], что характеризует рост показателя урожайности озимой пшеницы Ставропольского края, выражаемого наличием тенденции резких выбросов (функции $\varphi'(t)$ по оси Oy).

Причем отметим факт того, что размах амплитуды (длины и ширины) циклов временного ряда значений урожайности озимой пшеницы по территории Ставропольского края за период с 1870–2020 гг. («Пшеница_СК») за 151 год значительно изменился [176].

Визуализация фазовой траектории в двумерной плоскости подтверждает наличие циклов исследуемого процесса. На рисунке 3.7 представлена фазовая траектория в трехмерном пространстве (в Приложении Е представлен листинг построенного сплайна).

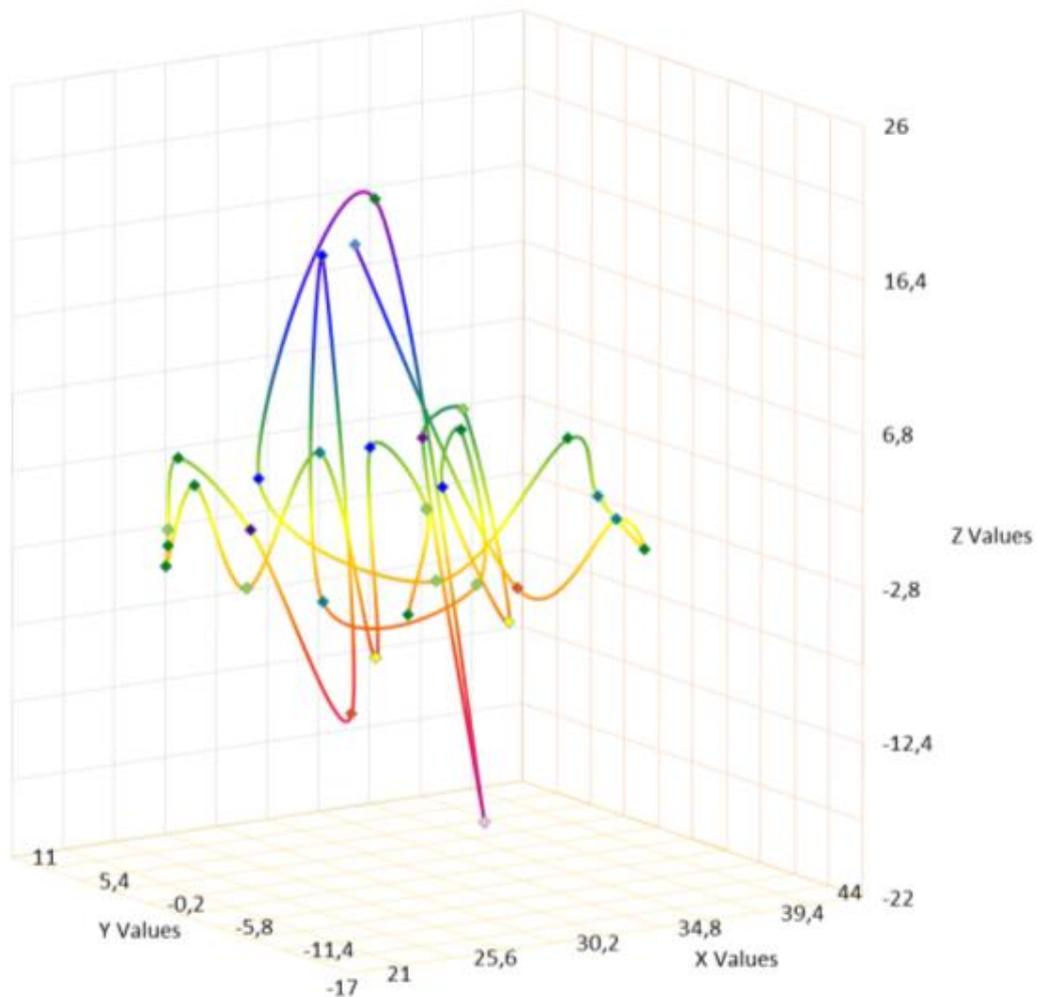


Рисунок 3.7 – Фазовая траектория в трехмерном пространстве временного ряда экономического показателя зернового производства «Пшеница_СК» с 1990 по 2021 гг.

В отличие от известных методов классической статистики, одним из преимуществ методов нелинейной динамики является возможность определения такого свойства исследуемого процесса, как «устойчивое состояние системы», например, на базе применения алгоритма фазового анализа [59, 254, 256].

Выявление аттракторов системы, а также визуализация переходов из одного состояния в другое являются одним из качественных характеристик исследуемого процесса X_i , которое можно получить на базе апробации такого метода нелинейной динамики, как фазовый анализ.

Его алгоритм предполагает определение первой X'_i и второй X''_i производных исследуемого временного ряда. Отметим, что X'_i представляет собой скорость изменения значений экономического показателя (значения абсолютного цепного прироста), а вторая X''_i – означает ускорение этих процессов. Согласно соотношениям (3.7)–(3.8) построены координаты фазовой траектории ВР значений урожайности озимой пшеницы по территории Ставропольского края:

$$X'_i = x_i - x_{i-1}, \quad (3.7)$$

$$X''_i = x_{i+1} - 2 \cdot x_i + x_{i-1}, \quad (3.8)$$

где x_i – текущее значение экономического показателя, x_{i-1} – предыдущее значение экономического показателя, x_{i+1} – следующее значение экономического показателя.

Согласно визуализации рисунка 3.7 наблюдаем точку бифуркации (X_{2011}), значение урожайности составило для этого года 38,7 (ц/га), в следующий момент времени система имела значение $X_{2012} = 21,9$ (ц/га). Переход из одного состояния системы в другое вызван резким изменением значений узлов временного ряда.

Идея, что урожайность зерновых циклически следует числам Вольфа, или, другими словами, 11-летнему циклу солнечной активности, достаточно долго была в повестке дня. Фактически, длина цикла равна 10.5 годам. Расстояние между наибольшими значениями цикла изменяются в диапазоне от 7.3–17.1 лет и между наименьшими значениями 9–13.6 лет. Эта идея проросла предложениями, что «циклы урожайности сельскохозяйственных культур тесно связаны с циклами

солнечной активности», периоды которой считаются «достаточно известными и постоянными». А это уже не так, раз сами длины циклов далеки от постоянства [181]. Количественно значение солнечной активности определяется числами Вольфа. Числа Вольфа, «международное число солнечных пятен», «относительное число солнечных пятен», «цюрихское число» – количественный показатель солнечной активности. Определяются среднемесячные и среднегодовые значения чисел Вольфа W . Исходные данные значений солнечной активности представлены в Приложении А. Коэффициент k в формуле для W был принят за единицу для чисел Вольфа в 1849 г. Сами числа Вольфа располагаются в пределах от 0 до 300. Средняя продолжительность циклов Швабе-Вольфа составляет 11.04 или 11.1 года. Периоды (длины) циклов – от 108 месяцев до 163, чаще 136-137. Длина цикла чаще определяется как расстояние между минимумами солнечной активности.

Количество осадков. Поскольку полученные в исследовании длины циклов урожайности озимой пшеницы (2–9 лет) заметно меньше 11-летних длин астрономических циклов солнечной активности, то это следует объяснить тем, что в последние десятилетия урожайность «сбилась» с солнечного цикла. Она в большей степени зависит от цикличной интенсивности выпадения осадков осенью, зимой и весной, в оптимальные для урожайности озимых посевов сроки. Столь же заметным стало влияние на цикличность урожайности цикличности температуры почвы и окружающей среды. Частные случаи этой многокритериальной зависимости давно использует, например, известный гидротермический коэффициент (ГТКС или *HTKS*) Селянинова, связывающий сумму осадков (P) за соответствующий период – в мм – с суммой температур (T) – в градусах – за тот же период, для яровых культур он считается со второй декады апреля до текущего момента [181]. Мы уже отмечали, что циклические закономерности многих социально-экономических, природных, природно-климатических параметров, урожайности и других показателей сельскохозяйственного (и зернового, в частности) производства успешно выявляются и визуализируются фазовыми методами, которые могут быть использованы как в непрерывном, так и в дискретном анализе и прогнозиро-

вании. Фазовый анализ является фактически «переходным» новым инструментом для изучения природно-экономических процессов [50]. На его основе происходит привязка точек циклических траекторий к такому параметру как время. Другими словами, с помощью фазового анализа осуществляется поиск, соответственно, обнаружение, далее визуализация и расчет циклических характеристик, привязанных к временному параметру. Таким образом, фазовые методы дают нам возможность найти системные циклы и становятся частью анализа природно-экономических процессов. Именно однозначное соответствие фазовых траекторий временным параметрам и используемые аналитические формы, включая первые производные, расширяют наше понимание о природно-экономических процессах. Фазовые циклические траектории и на понятийном уровне взаимосвязанные эконометрические законы дают возможность применения новых подходов к прогнозированию – «блочному» прогнозированию. Несколько таких «настоящих» или «истинных» непрерывных фазовых траекторий временного ряда показателей урожайностей зерновых культур в виде функциональной зависимости $\varphi(t)$ от первой производной $\varphi'(t)$ построено на рисунках 3.8 и 3.9 в разном диапазоне лет (1870–2021 гг., 2000–2021 гг.), для которых величина урожайности озимой пшеницы известна. На рисунке 3.6 можно видеть «невооруженным глазом», что цикличность внутренне присуща урожайности озимой пшеницы (данные за 151 год), даже если мы не знаем вызывающих ее причин. Фазовое представление позволяет вычленять циклы из дискретных временных рядов урожайности озимой пшеницы, определять их метрические и топологические характеристики. Далее представлено циклическое поведение чисел Вольфа, осадков, температур и т.д. На рисунке 3.8 представлен фрагмент циклической картины урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае с 2000 по 2021 гг. Наблюдается более 10 замыканий циклов, больших и малых [181].

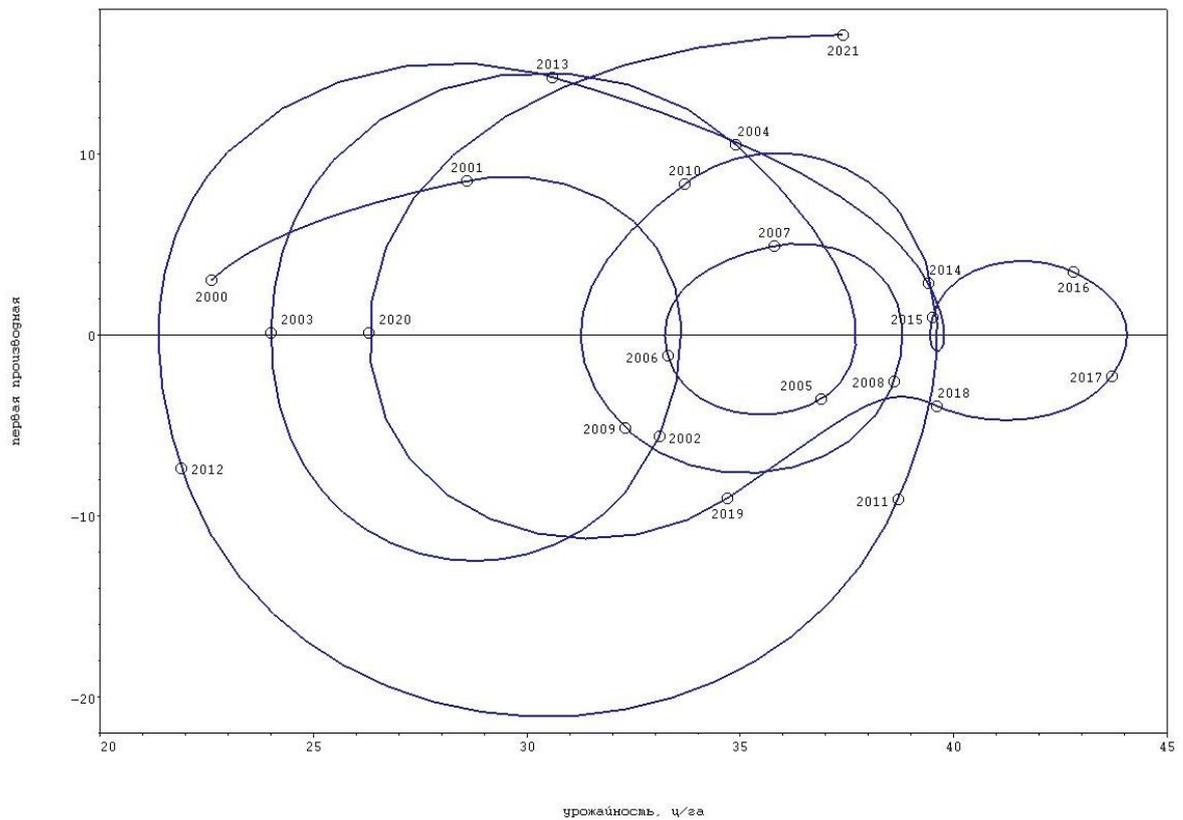


Рисунок 3.8 – Фрагмент циклической картины показателя урожайности «Пшеница_СК» по Ставропольскому краю с 2000 по 2021 гг. Сплайн-аппроксимация. Система компьютерной математики *MAPLE 19.0*

Просчитываемые циклы имеют длины (рисунок 3.8): цикл (2) $2010.0 - 2004.0 = 6$ лет, цикл (6) $2013.0 - 2004.6 = 8.4$ года, цикл (7) $2011.3 - 2004.7 = 6.6$ лет, цикл (8) $2011.9 - 2005.7 = 6.2$ года, цикл (4) $2009.0 - 2003.2 = 5.8$ лет, цикл (3) $2007.7 - 2002.2 = 5.5$ лет, цикл (5) $2010.1 - 2006.7 = 3.4$ года, цикл (1) $2004.2 - 2002.5 = 2.7$ года. Все циклы гораздо короче длины цикла солнечной активности. Интересны циклы (6, 7, 8), они нужны, в первую очередь, для создания «блочного» прогноза. Пример типичного квазицикла представлен на рисунке 3.9.

Блочное прогнозирование выявило длину квазицикла $l = 9$, что подтверждает наличие долговременной памяти в исследуемом процессе и может служить основой для построения прогнозной модели.

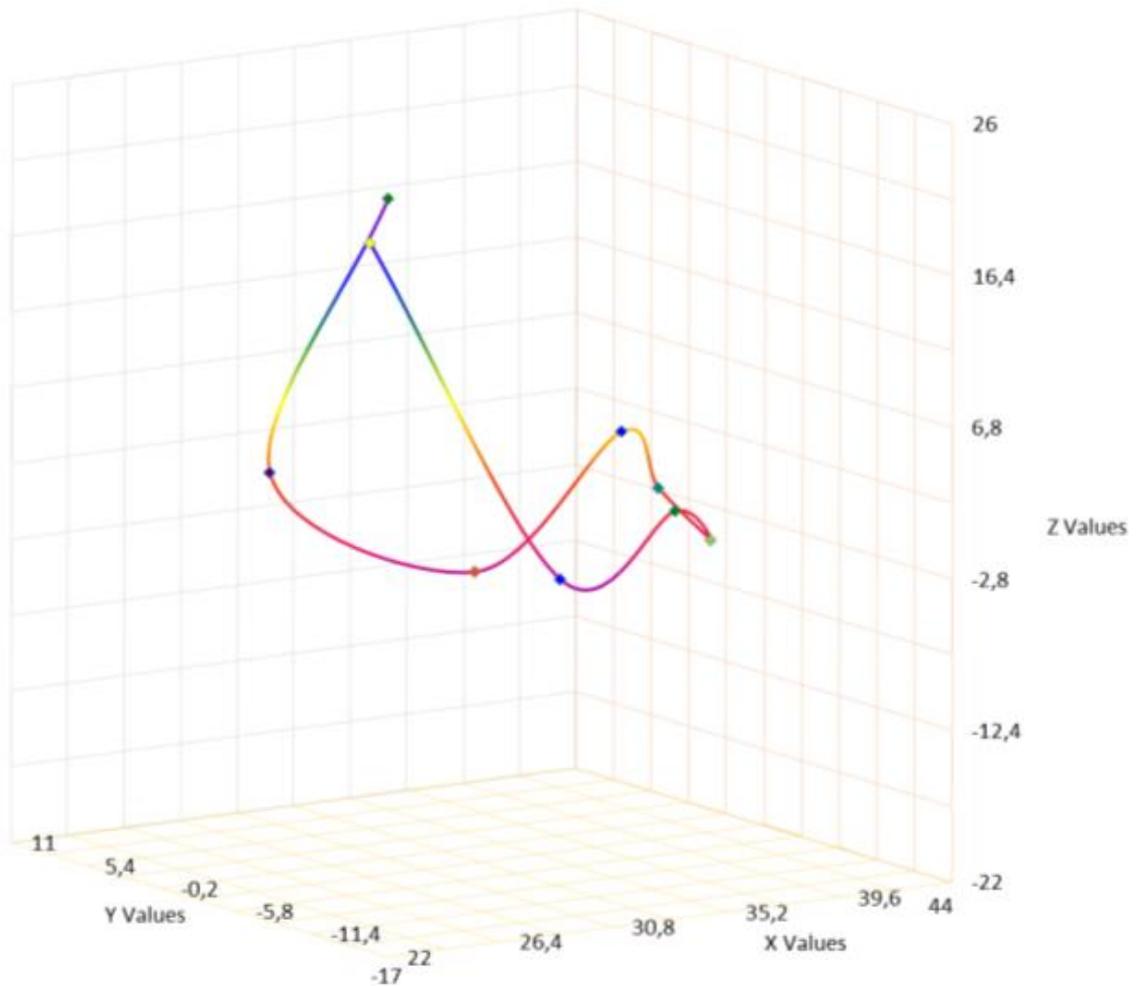


Рисунок 3.9 – Фрагмент циклической картины в трехмерном пространстве показателя урожайности «Пшеница_СК» по Ставропольскому краю с 2012 по 2021 гг.

Фазовый портрет среднегодового «календарного» показателя солнечной активности (числа Вольфа) с 1870 по 2022 гг. представлен на рисунке 3.10. Цикличность характерна для этого показателя, как и для урожайности озимой пшеницы, но в отличие от цикличности урожайности, которая во времени интегрально увеличивается, смещает кольца картинку вправо, фазовая картинка чисел Вольфа в среднем стабильна и графически остается «на одном и том же месте» [181].

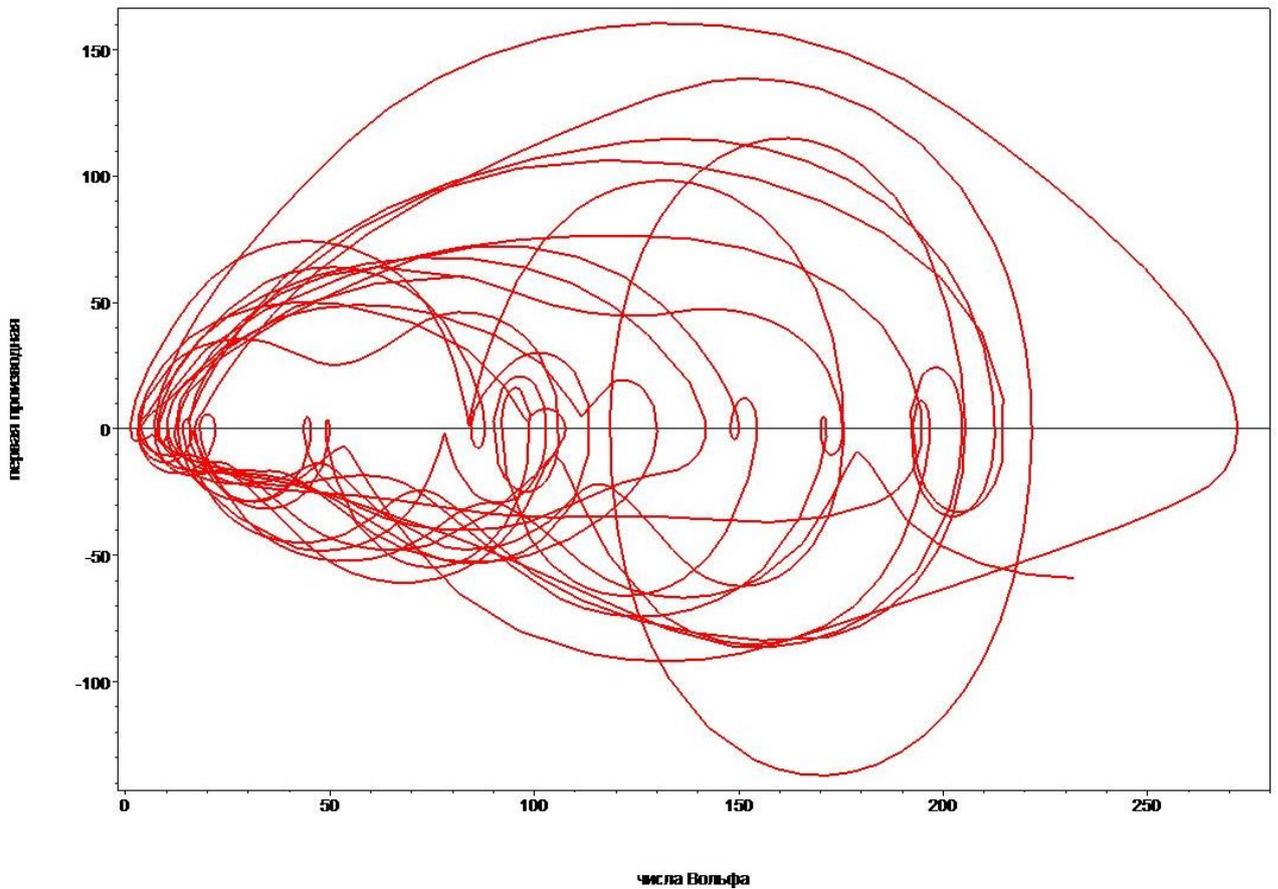


Рисунок 3.10 – Фазовая траектория среднегодового «календарного» показателя солнечной активности (числа Вольфа) с 1870 по 2022 гг. (RED).
Сплайн-аппроксимация. Система компьютерной математики *MAPLE 19.0*

Фазовая траектория фрагмента временного ряда среднегодового «календарного» показателя солнечной активности (числа Вольфа) с 1990 по 2022 гг. в трехмерном пространстве представлена на рисунке 3.11.

На рисунке 3.12 представлен трехмерный фазовый портрет динамики циклов среднегодовых (календарных) чисел Вольфа с 1870 по 2022 гг. Согласно рисункам 3.11 и 3.12 можно отметить, что визуально заметно увеличение амплитуд циклов чисел Вольфа во времени.

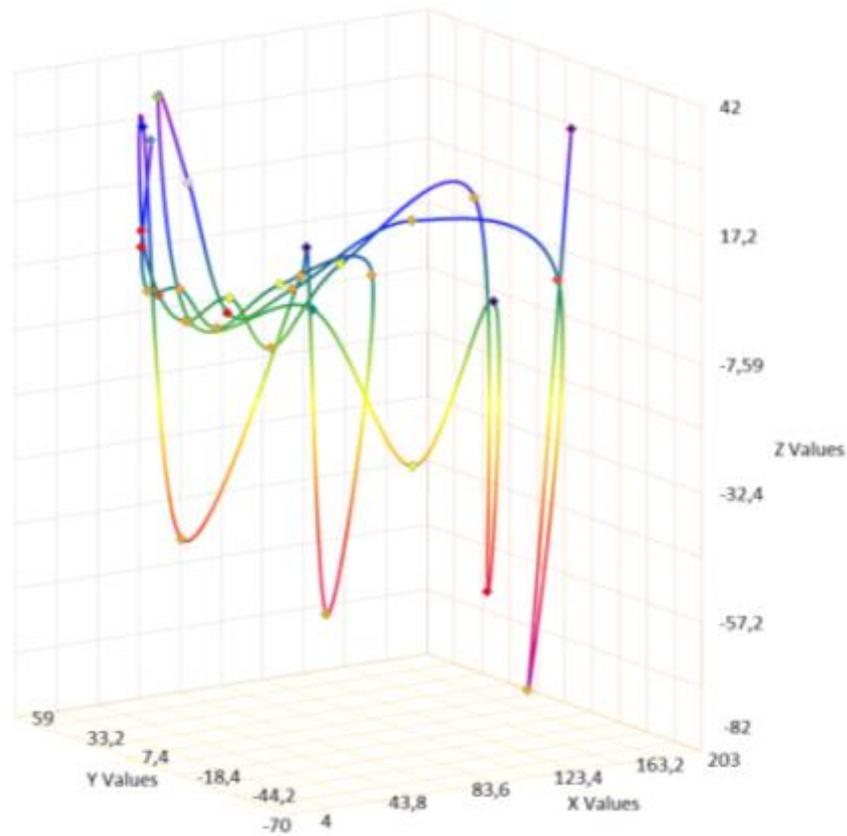


Рисунок 3.11 – Фазовая траектория в трехмерном пространстве среднегодового «календарного» показателя солнечной активности (числа Вольфа) с 1990 по 2022 гг.

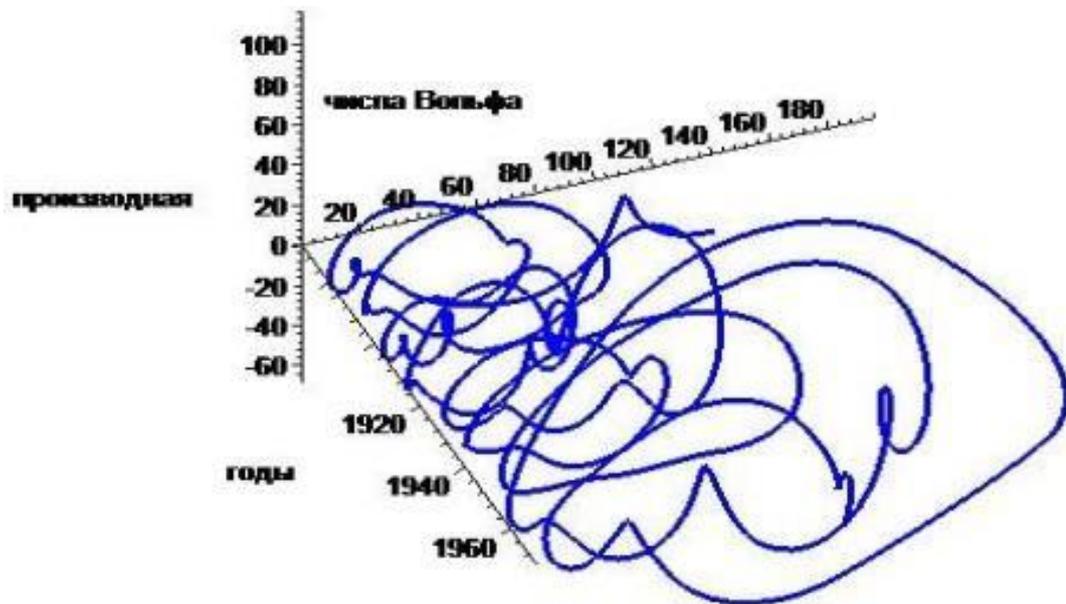


Рисунок 3.12 – Трехмерный фазовый портрет динамики циклов среднегодовых (календарных) чисел Вольфа с 1870 по 2022 гг. Сплайн-аппроксимация. Система компьютерной математики *MAPLE 19.0*

На рисунке 3.13 представлен фрагмент фазового портрета циклической картины инсоляции (чисел Вольфа) в 2007–2022 гг. Видны конец XXIII-го и середина

XXIV-го солнечных циклов, период последнего считается в точке $x = 5$ $2015.8 - 2004.7 = 11.1$ г., в точке $x = 3$ $2014.3 - 2003.7 = 10.6$ г. с паразитным циклом $2015.8 - 2014.3 = 1.5$ г. [181].

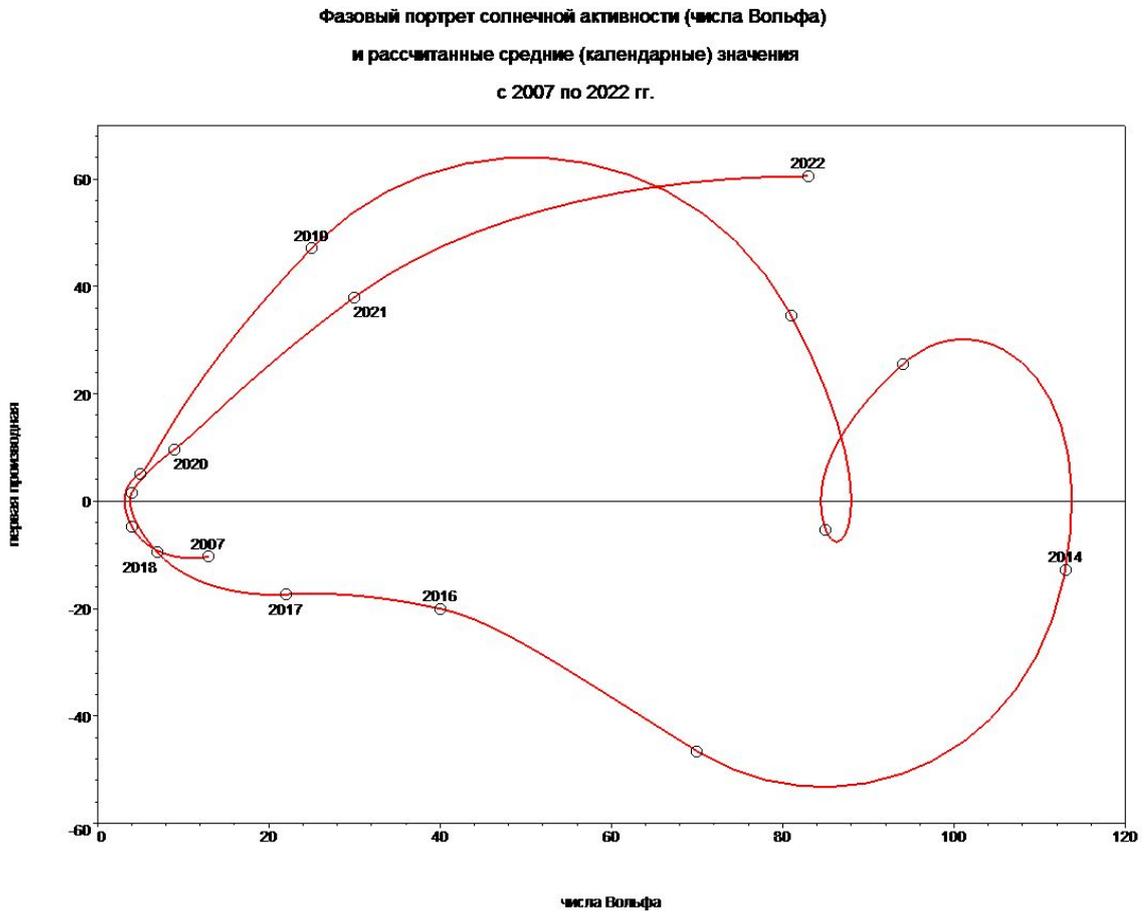


Рисунок 3.13 – Фрагмент фазового портрета циклической картины инсоляции (чисел Вольфа) в 2007–2022 гг. Сплайн-аппроксимация. Система компьютерной математики *MAPLE 19.0*

Фазовая траектория соответствующего фрагмента временного ряда среднегодового «календарного» показателя солнечной активности (числа Вольфа) с 2007 по 2022 гг. в трехмерном пространстве представлена на рисунке 3.14. Можно отметить резкие «скачки» в изменении поведения траектории построенного квазицикла.

На рисунке 3.15 приведена сравнительная характеристика кривых урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае и солнечной активности в 2000–2021 гг. Начало и конец солнечного цикла считается по его минимумам, длина цикла – по расстоянию между ними.

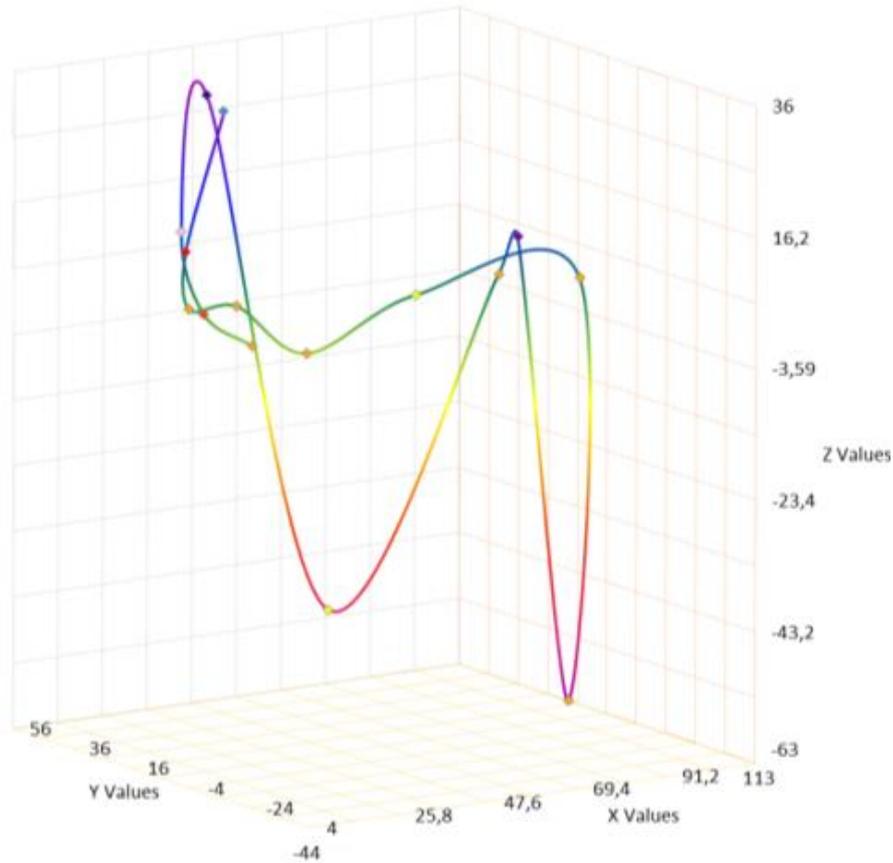


Рисунок 3.14 – Фрагмент фазового портрета в трехмерном пространстве циклической картины инсоляции (чисел Вольфа) в 2007–2022 гг.

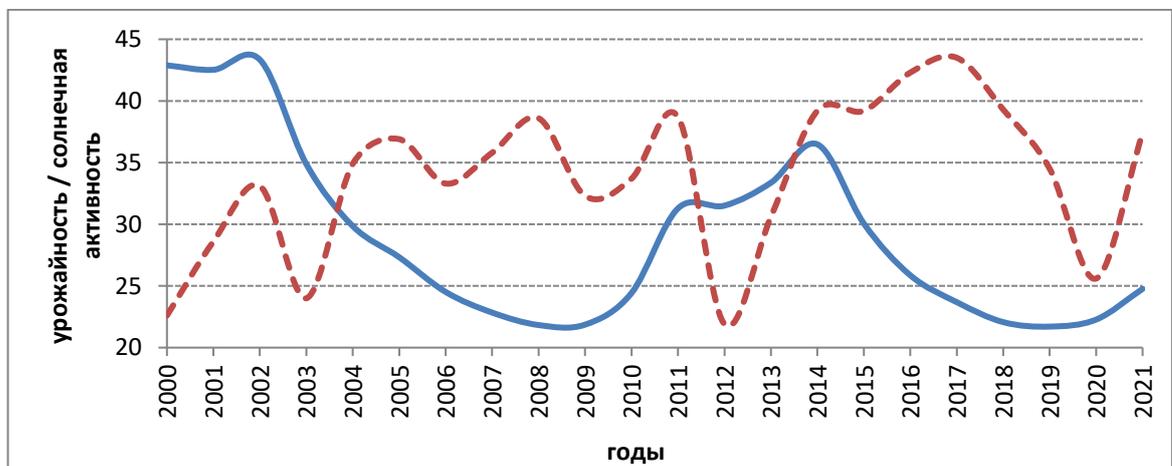


Рисунок 3.15 – Сравнительный анализ совмещенных кривых динамики урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае (*RED*, пунктир) и частей XXIII-го (окончание) и XXIV-го (начало и середина) циклов солнечной активности (*BLUE*, сплошная) в 2000–2021 гг.

Числовые значения урожайности Y находятся через проставленные на оси ординат значения чисел Вольфа W в соответствующие годы по формуле $Y = (W+170)/8$. Полное отсутствие корреляции между кривыми или их экстремумами. В отличие от фазовых портретов, где удается посчитать все циклические

части, в том числе и паразитные, где «истинный» цикл замыкается в точке, в которой совпадают не только значения искомой переменной от разных ветвей цикла, но и значения ее первой производной, на рисунке 3.15 наглядно показано, что минимумы значений урожайности озимой пшеницы попадают в 2000 и 2012 гг. на максимумы солнечной активности [181].

Цикличность урожайности зерновых культур, как признак «вторичный», зависит от нескольких первопричин – цикличности солнечной активности, цикличности выпадения осадков, годовой цикличности температуры окружающей среды. Поскольку в использованных непрерывных методах сплайны и сплайновые циклы имеют аналитическое описание, то построение прогнозного цикла сводится к аналитическому или графическому сдвигу последнего цикла «отчетного времени» на T лет вперед, где T – длина периода этого последнего цикла [181].

Как видно из интегрального фазового портрета рисунке 3.7, хорошо просматриваются многочисленные «правильные» фазовые циклы урожайности озимой пшеницы. Длины этих циклов сокращаются при приближении к 2018 г., можно увидеть большое число замыканий циклов в отрезке 2000–2018 гг. На рисунке 3.6 для периода 2000–2021 гг. найдены 8 циклов с длинами от 2.7 до 9.0 лет, длины которых значительно отличаются от длины 11-летнего цикла солнечной активности [181]. Рассматривая многолетнюю статистику показателя урожайности озимой пшеницы по Ставропольскому краю, попытаемся найти связь между ней и солнечной активностью (числами Вольфа).

Особенности выращивания яровых или озимых культур заставляют тщательнее относиться к работе с технологическими картами. Например, сравнение урожайности в N -ом году со среднегодовым W числом Вольфа в N -ом же году неправомерно, поскольку солнечная активность и, соответственно, ее ультрафиолетовая составляющая действует на озимое зерновое растение с урожаем в N -ом году в период с августа $N-1$ -го года по июль N -го года. В исследовании суммарное значение W^* («озимое» число Вольфа) подсчитывается для урожая N -го года по таблицам месячных W в указанном (с августа $N-1$ -го года по июль N -го года) периоде. Такие значения чисел Вольфа назовем «озимыми» в отличие от «календар-

ных» – от января до декабря включительно. Нетрудно заметить, что таким же образом надо считать «яровые» годовые числа Вольфа – W^{**} – как сумму месячных чисел Вольфа от мая до сентября искомого года, разница между тремя числами может оказаться значительной [181].

Аналогично обстоит дело с осадками – сумма помесечных осадков для озимого урожая N -го года должна измеряться и суммироваться по среднемесячным осадкам с августа $N-1$ -го года по июль N -го года, а для ярового урожая – от мая до сентября. Еще одна сложность с осадками – они измеряются в отдельной точке (например, в Ставрополе), а не по всему краю, области или республике, что неадекватно размеру осадков на всей территории, с которой собирается урожай зерновых культур [181].

В качестве примера приведем фазовую траекторию выпадения апрельских осадков в Ставрополе в 1967–20221 гг. (в соответствии с рисунком 3.16). Как мы видим, интенсивность выпадения осадков влияет как на значение урожайности озимой пшеницы, так и на ее цикличность [181]. Реализация фазовой траектории в трехмерном пространстве представлена на рисунке 3.17.

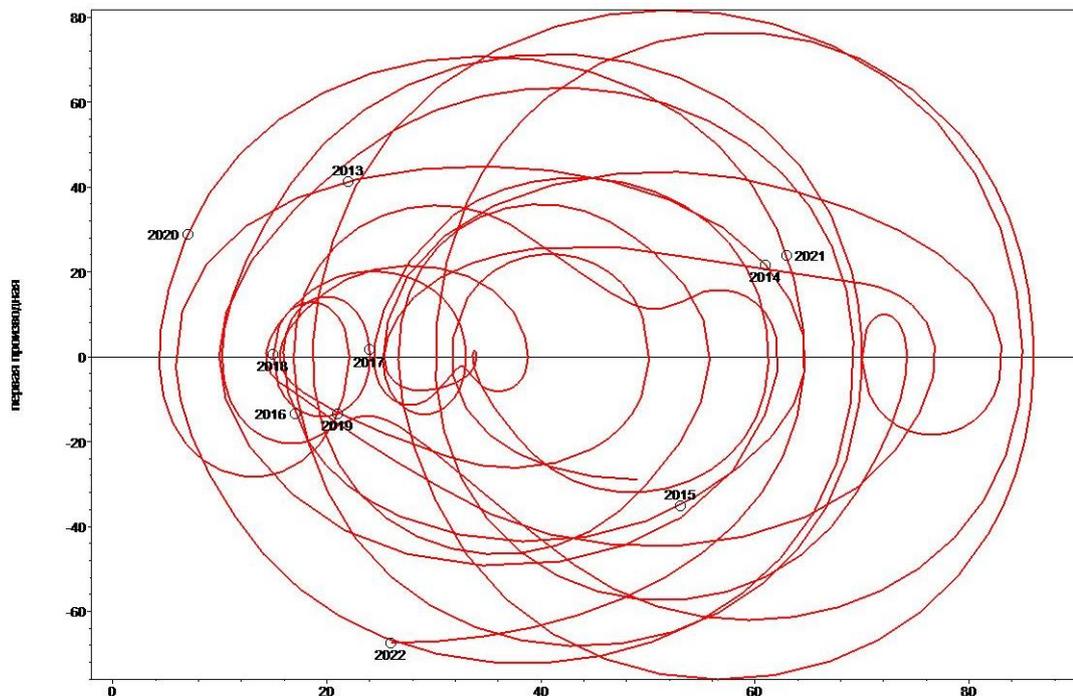


Рисунок 3.16 – Фрагмент циклической картины в фазовом пространстве временного ряда значений риск-экстремального фактора – количества выпавших осадков в апреле месяце в Ставрополе за период 1967–2022 гг. с минимумом в 2003 г.

Резкие реверсы «спад–подъем» в ежегодных значениях исходного временного ряда осадков отражены в фазовой траектории (рисунок 3.17). Наблюдается значительная амплитуда колебаний по всем осям координат декартовой плоскости.

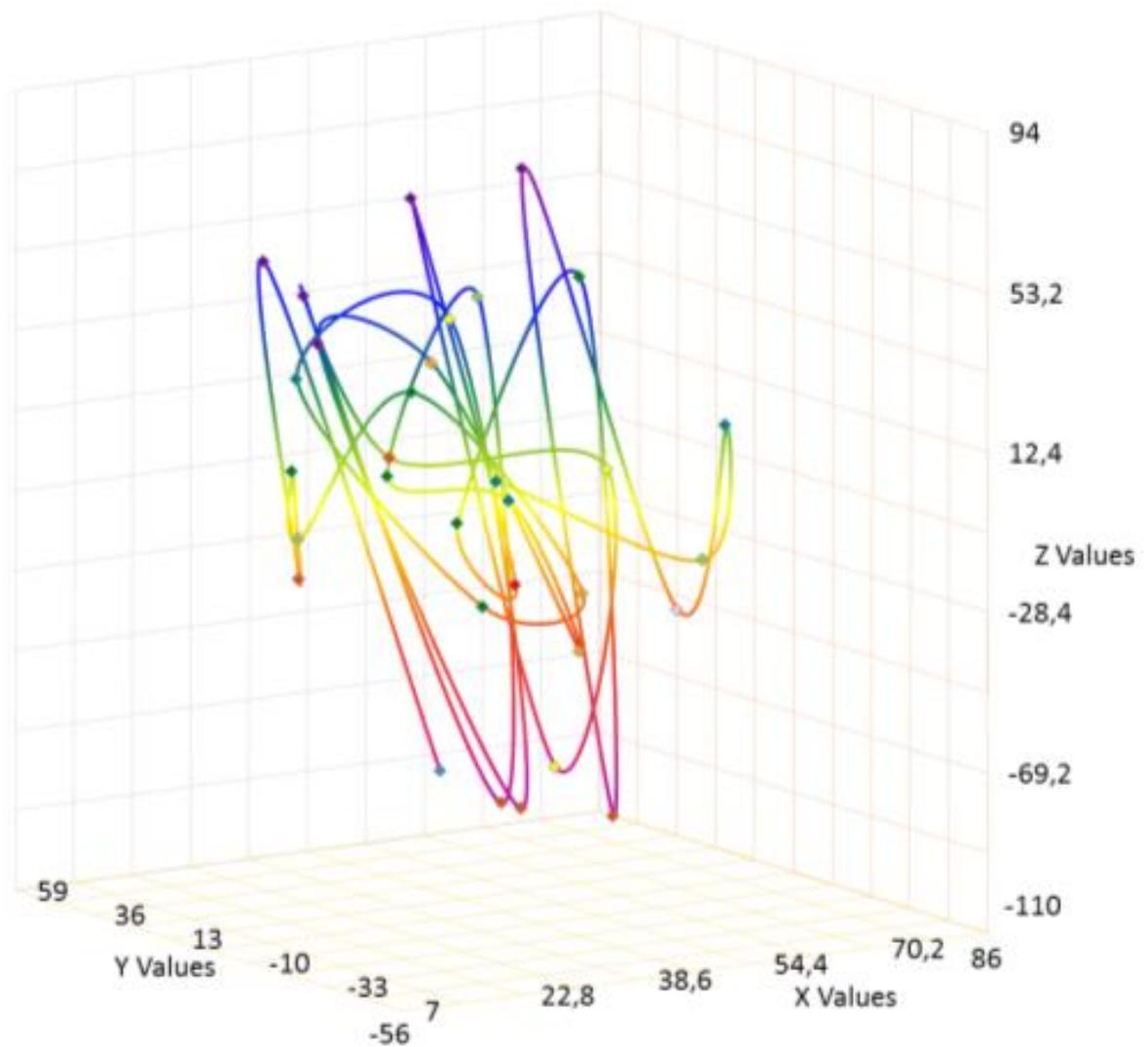


Рисунок 3.17 – Фрагмент циклической картины в трехмерном фазовом пространстве временного ряда значений риск-экстремального фактора – количества выпавших осадков в апреле месяце в Ставрополе за период 1990–2022 гг.

Построенные сплайны (фазовые траектории) для временных рядов урожайности зерновых культур по Тюменской области (Ишимский, Тобольский, Тюменский районы) представлены на рисунках 3.18–3.20.

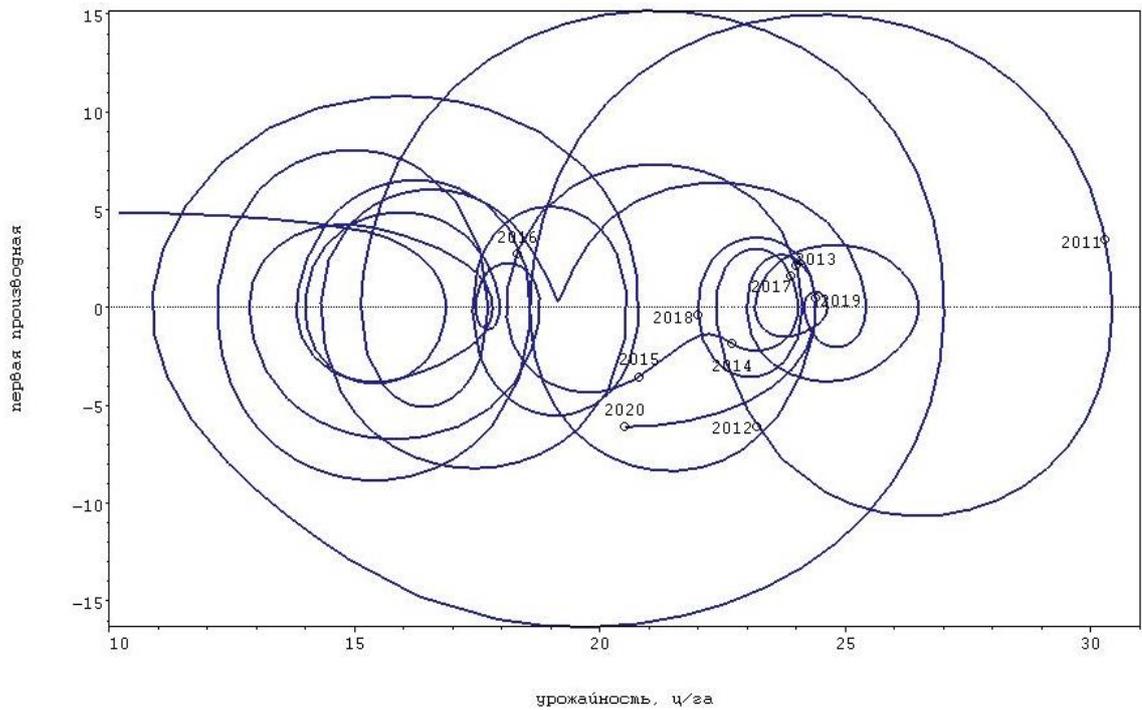


Рисунок 3.18 – Фазовая траектория временного ряда урожайности зерновых культур в Ишимском районе Тюменской области за период с 1976 г. по 2020 г.

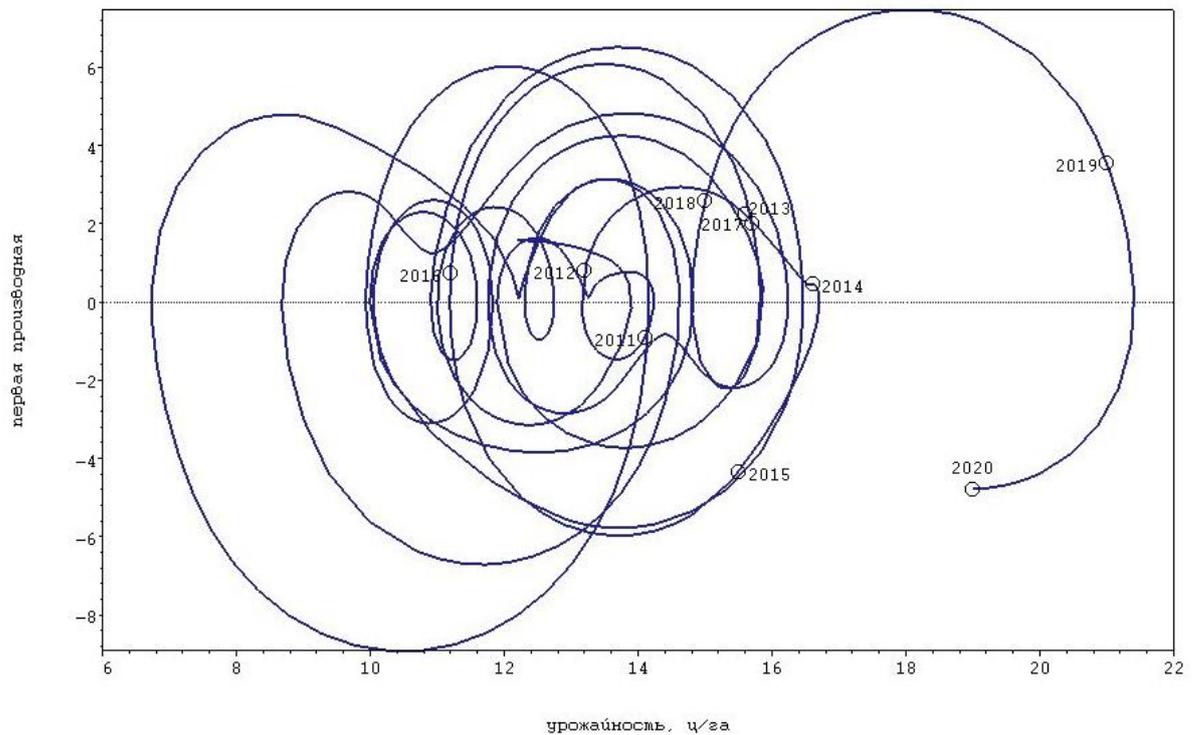


Рисунок 3.19 – Фазовая траектория временного ряда урожайности зерновых культур в Тобольском районе Тюменской области за период с 1976 г. по 2020 г.

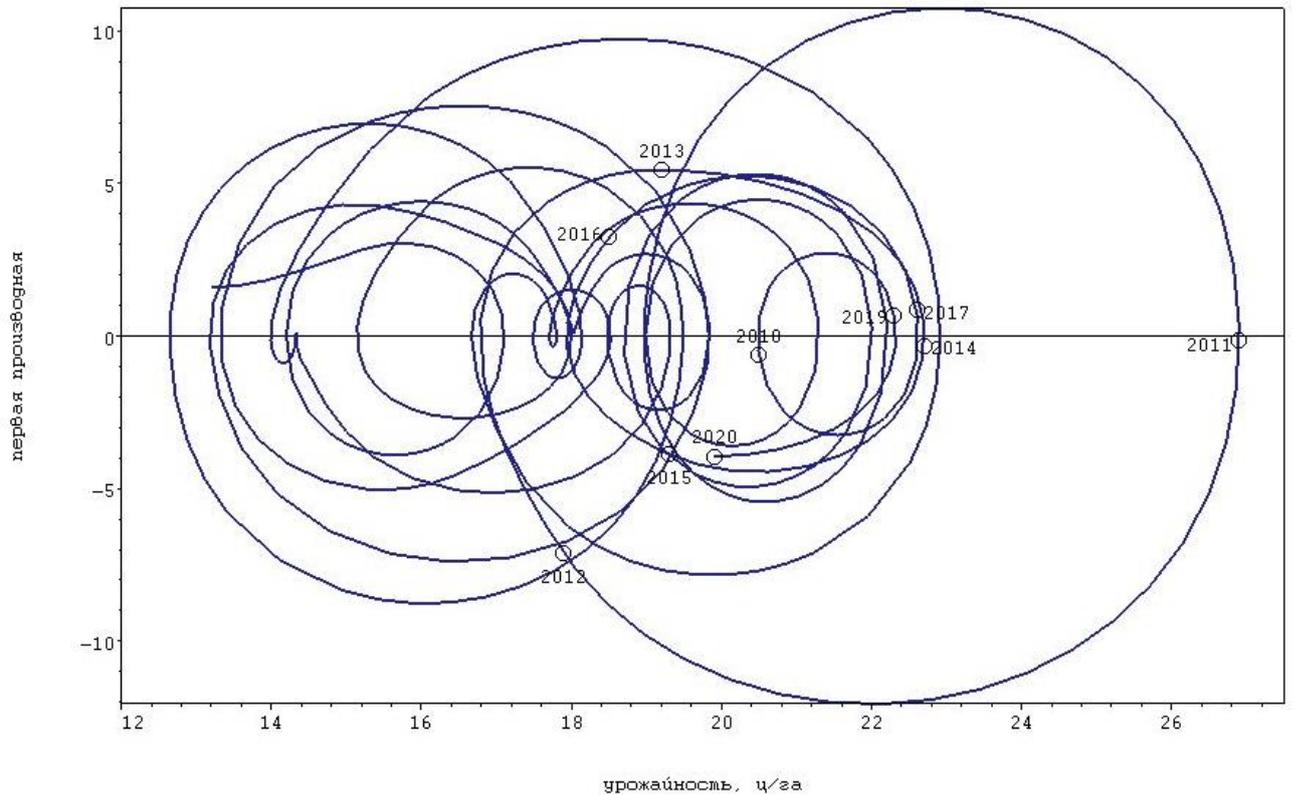


Рисунок 3.20 – Фазовая траектория временного ряда урожайности зерновых культур в Тюменском районе Тюменской области за период с 1976 г. по 2020 г.

Далее представлен прогноз показателей урожайности озимой пшеницы по Фурье-синхронизму в зависимости от риск-экстремальных факторов, влияющих на них (в соответствии с рисунками 3.18–3.20) [343, 344].

Введены ортогональные составляющие процессов с совпадающими и несовпадающими существенными признаками – это *CS*- и *NS*-составляющие рядов чисел Вольфа (и остальных возмущающих параметров риск-экстремальных факторов, влияющих на урожайность озимой пшеницы) и исследуемого процесса («урожайности зерновых культур»), отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков (рисунок 3.21) [343, 344].

Парные отношения между *CS*-составляющими рядов чисел Вольфа, осадков и температуры среды и рядов урожайности зерновых культур можно интерпретировать как приток энергии (от Солнца, например), а между *NS*-составляющими – как сток энергии [181].

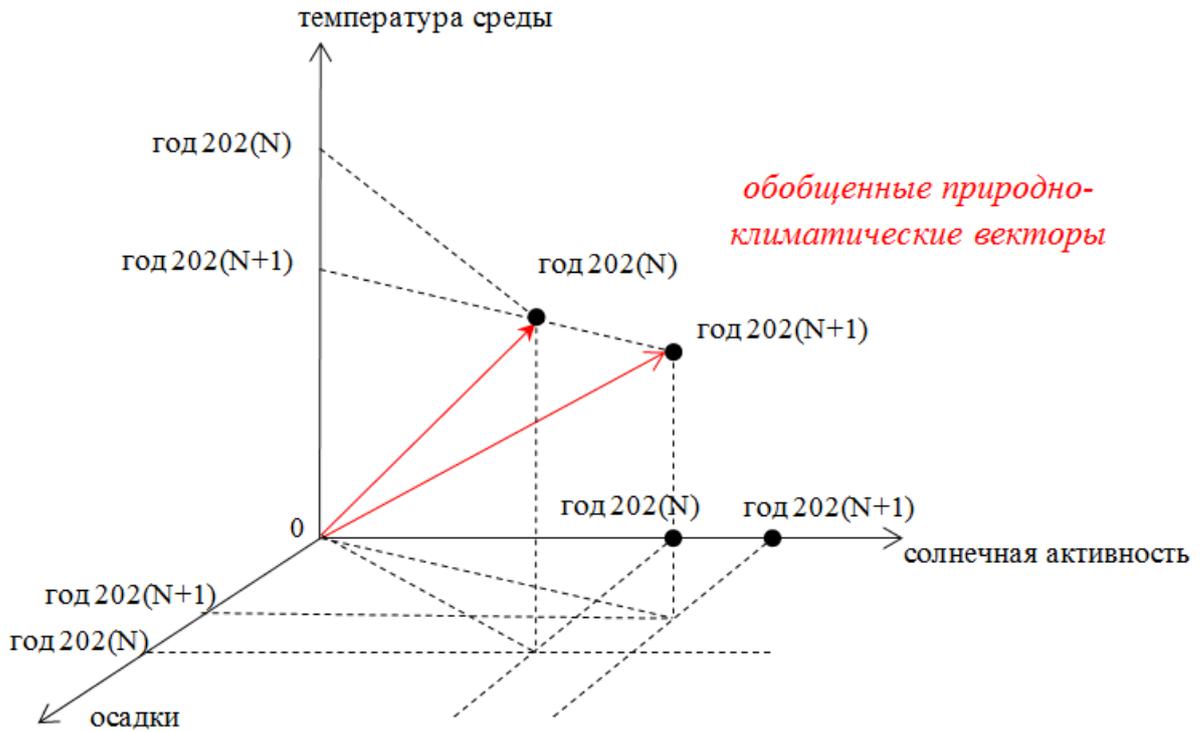


Рисунок 3.22 – Фазовое природно-климатическое пространство, определяющее будущее состояние экономических показателей зернового производства с обобщенным векторным фактором

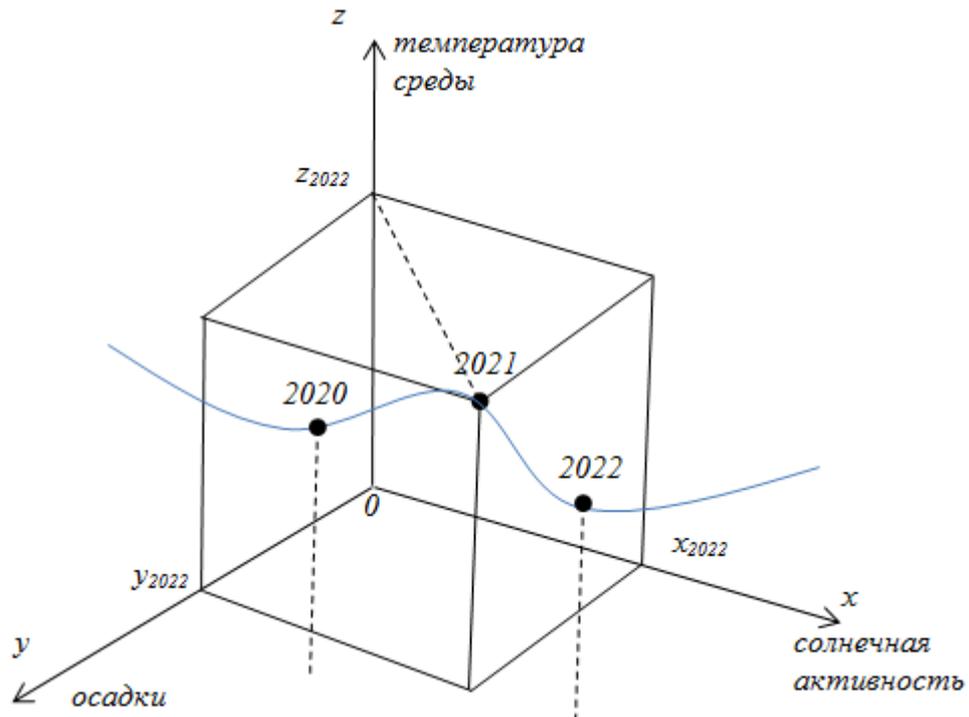


Рисунок 3.23 – Трехмерное природно-климатическое факторное пространство, обуславливающее будущее состояние экономического показателя зернового производства

В работе предлагается рассмотреть вопросы управления зерновым производством в условиях риска и неопределенности сквозь призму экономического подхода – риск-менеджмента [291]. В настоящее время существуют разные классификации и подходы к определению экономических рисков в сельском хозяйстве, появилась необходимость включения в риск-менеджмент климатических факторов, наряду с классическими подходами к определению факторов риска, воздействующих на систему [290].

Волатильность природных процессов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства страны ведет к резким колебаниям финансово-экономических показателей зернового производства [195].

В настоящее время, в условиях риска и неопределенности, в том числе и изменения климата, появилась необходимость реорганизации всей системы прогнозирования в риск-менеджменте зернового производства. Для этого необходимо разработать инструментарий для риск-менеджмента, основанный на прогнозировании риск-экстремальных факторов, влияющих на экономические показатели зернового производства.

Методы управления зерновым производством страны в условиях риска и неопределенности должны учитывать сетевой характер [123] природно-экономических процессов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства (рисунок 3.1). Возникает необходимость привлечения арсенала методов таких областей, как теория вероятности, математическая статистика, «новая эконометрия», прогностика, системы компьютерной математики, методы оптимизации, экономическая цикломатика, системный анализ, прикладная и дискретная математики, синергетика, теория фракталов и хаоса, теория функций в прогнозировании экономических показателей зернового производства и риск-экстремальных факторов, влияющих на нее.

3.3. Среднесрочное прогнозирование на базе алгоритма линейного клеточного автомата в исследовании экономических показателей зернового производства

В разделе основное внимание уделяется теории и практике моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных социально-экономических систем методами нелинейной динамики. На рубеже XX и XXI веков в научных методах анализа динамики и прогнозирования стохастических систем произошла смена фундаментальных концепций – на смену линейной (непрерывной) парадигме пришла нелинейная (дискретная) парадигма, выделяющая «долговременную память», фракталы, хаос, базирующаяся на неподчинении многих социальных и экономических процессов (динамики урожайности, в частности) классической статистике и нормальному закону. Из определений фрактальной геометрии – фрактал представляет собой структуру, состоящую из частей, которые в каком-то смысле подобны целому и друг другу (принцип самоподобия).

Реализовать принципы нелинейной парадигмы в процессе моделирования, анализа и прогнозирования исследователям удастся благодаря использованию методов нелинейной динамики – это фрактальный анализ, фазовый анализ, искусственные нейронные сети, нечеткие системы и генетические алгоритмы. Главное, что утверждается в экономической синергетике – эволюционирующей экономической системы, которая всегда была бы устойчивой, принципиально не существует.

Целью экспериментального подхода является построение прогноза без построения модели, по данным наблюдений над системой. Экспериментальный подход реализовывается различными способами, например, путем проведения активного эксперимента. Активный эксперимент в свою очередь может проводиться с участием субъекта эксперимента (в экономических приложениях его часто называют лицом, принимающим решения (ЛПР)) или без него. В последнем случае эксперимент носит название имитационного компьютерного моделирования [313]. У активного эксперимента есть существенный недостаток – он искусственный и на практике его результаты могут не понадобиться.

В линейной парадигме каждое воздействие на начальные условия вызывает пропорциональную реакцию получаемого результата. Однако многие природные процессы редко бывают столь устойчивыми и на незначительные возмущения могут реагировать нелинейно. Терминологические трактовки сущности нелинейности выражаются словами «бифуркационная» или «экспоненциальная» суперреакция на воздействие. Следующая особенность нелинейности состоит в том, что значение наблюдаемого процесса в момент времени t зависит от всех предыдущих значений процесса в моменты $t-1, t-2, \dots$, что определяется термином «долговременная память».

Исходя из теоретических аспектов определения «долговременной памяти» из источников [274, 408, 409], можно сказать, что «длина памяти» служит объективным основанием принципиальной возможности построения прогнозной модели, в процессе работы которой учитываются все существенные факторы, которыми обусловлено наличие этой «памяти». Для расчета прогноза это значит, что будут зафиксированы долговременные связи (корреляции) между настоящими значениями и будущими событиями, что помогает прогнозированию урожайности на несколько лет вперед так называемыми «циклами» или «блоками». Урожайность зерновых в зонах рискованного земледелия среди многих других природных процессов представляет собой типичное явление сохранения «долгой памяти» [408].

Хорошо известно, что методы, составляющие инструментарий классического прогнозирования, делятся на три большие группы: статистические, причинно-следственные и комбинированные. Предполагается, что исходные данные представляют собой результаты выборочных наблюдений, некие временные ряды, для которых выполняются условия стационарности и независимости уровней, составляющих временной ряд, что обуславливает подчинение уровней временного ряда нормальному закону. Процесс построения прогнозной модели обычно подразумевает использование методов уточнения прогноза, при которых прогнозная модель «обучается» разными методами.

Однако многие исследователи при верификации исходных данных не находят «нормальности» распределения уровней временного ряда и считают: «Нор-

мальность – это миф. В реальном мире никогда не было и никогда не будет нормального распределения. Информация содержит аномальные «выбросные» наблюдения».

Работа с реальными стохастическими социальными, экономическими, биологическими, природно-климатическими и сельскохозяйственными объектами заставляет нас использовать набор новых подходов, моделей, методов и инструментов.

В данном разделе исследуются вопросам получения прогноза в виде глубины долговременной памяти ВР [190] экономических показателей зернового производства Юга России. В качестве примера взяты статистические данные озимой пшеницы по территории Республики Адыгеи, Волгоградской области, Краснодарского края, Карачаево-Черкесской Республики, а также в масштабе всей страны. Как отмечено в источнике [409], таким природно-экономическим ВР присуще свойство долговременной памяти [153]. Исходные данные значений урожайности зерновых культур представлены в Приложении А. Определение долговременной памяти в исследуемых ВР урожайности пшеницы предоставляют возможность строить прогнозные модели значений урожайностей зерновых культур [153].

В данном разделе представлена демонстрация авторского инструментария, реализующего один из методов нелинейной динамики, как линейный клеточный автомат. Состав раскраски, т.е. перевод числового временного ряда y_i в лингвистический, состоит из классической трехцветной модели. В источнике [409] предложен вариант построения лингвистического временного ряда урожайности зерновых культур, который опирается на скользящую среднюю. В данном разделе представлена демонстрация работы алгоритма преобразования временного ряда урожайности зерновых культур (3.1) в лингвистический временной ряд на основе интервального подхода.

Апробация генетического алгоритма – ЛКА в исследовании ВР экономического показателя зернового производства «Пшеница_СК» представлена на рисунках 3.21–3.28.

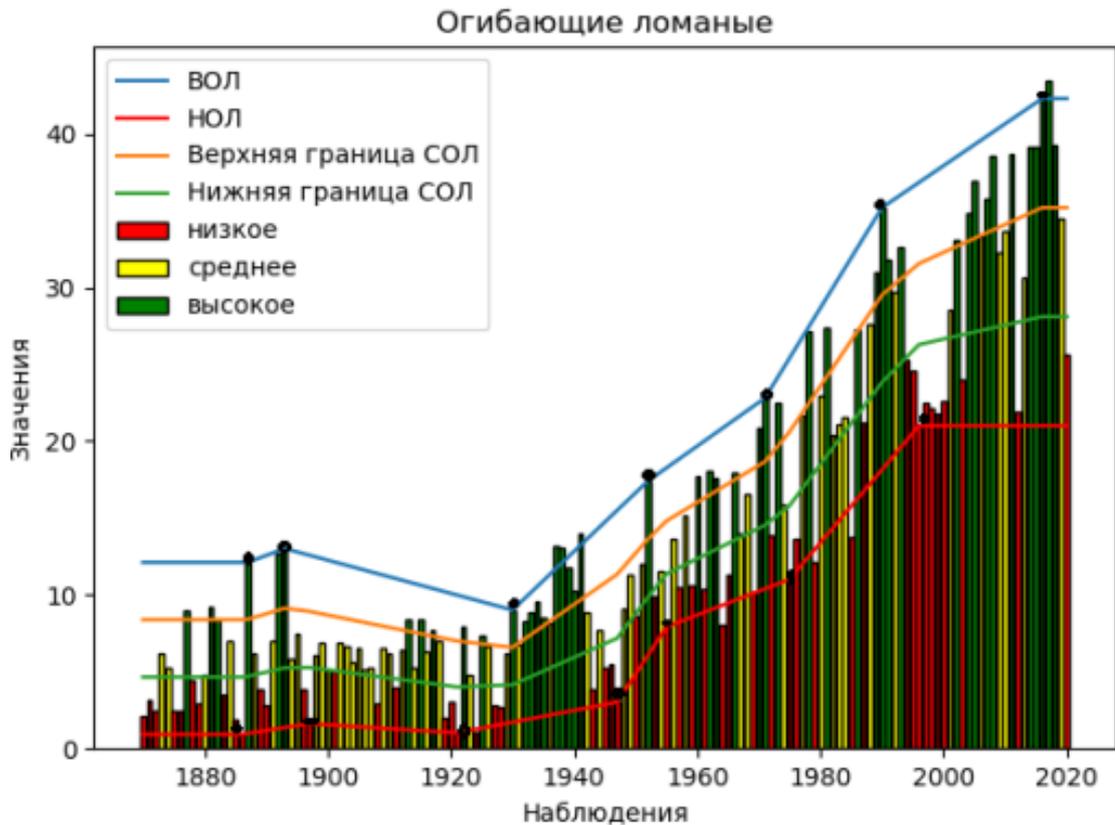
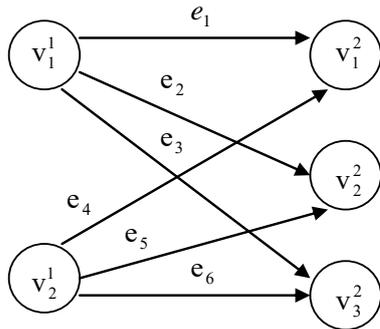


Рисунок 3.24 – Графическое изображение временного ряда урожайности «Пшеница_СК» с выделенными трендовыми коридорами: НОЛ, СОЛ, ВОЛ (результат построения лингвистического временного ряда экономического показателя зернового производства)

Исходя из того, что ВР «Пшеница_СК» за период с 1870–2020 гг. охватывает разные исторические периоды, классический вариант выбора 3-4 ломаных в данном случае не подходит. Экспертным путем определено количество ломаных точек, равное 7, на рисунке 3.24 отмечены маркером (при таком раскладе достигается наименьшая ошибка прогноза). Результат получения ЛВР, где каждому значению временного ряда присваивается лингвистическая переменная (лексема, терм) для исследуемого ВР «Пшеница_СК» представлен на рисунке 3.24.

Прогнозная модель представлена в виде клеточного автомата, память которого состоит из двудольных ориентированных графов переходов (ОГП) $G^\ell = (V_1^\ell, V_2^\ell, E^\ell)$, $\ell = 1, 2, \dots, L$.



$$E^2 = \{e_1, e_2, \dots, e_6\}, e_1 = (1,1), e_2 = (1,2), e_3 = (1,3), e_4 = (2,1), e_5 = (2,2), e_6 = (2,3)$$

Рисунок 3.25 – Ориентированный граф переходов $G^2 = (V_1^2, V_2^2, E^2)$

Переходы всех возможных конфигураций, которые обнаружены в ЛВР «Пшеница_СК» для первой и второй конфигураций изображены в виде ориентированных графов (в соответствии с рисунками 3.25–3.26).

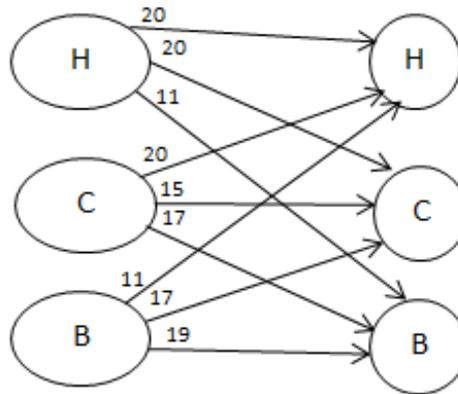


Рисунок 3.26 – Ориентированный граф переходов из 1-конфигураций в термы Н, С и В, означающие соответственно низкие, средние и высокие значения экономического показателя зернового производства

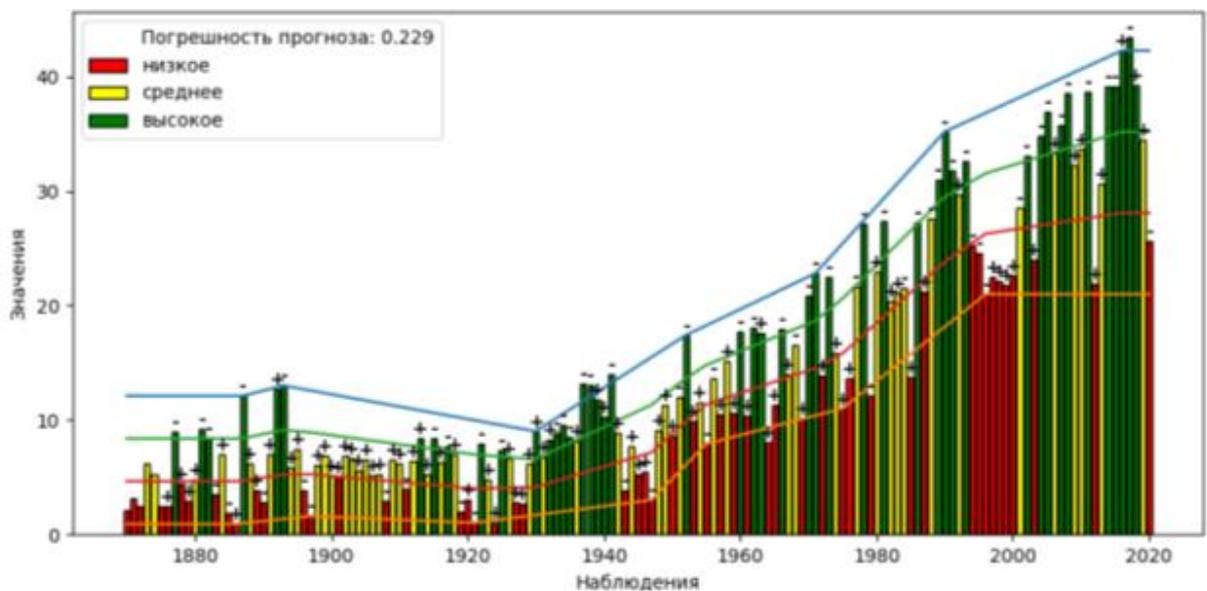


Рисунок 3.27 – Графическая интерпретация результатов верификации и валидации временного ряда урожайности «Пшеница_СК»

Для исследуемого ВР «Пшеница_СК» определена глубина памяти ЛВР равная 6. Тем самым, данная глубина определяет состояние прогноза урожайности озимой пшеницы.

Результат работы процедуры верификации ЛКА для ВР «Пшеница_СК» с семью ломанными представлен на рисунке 3.28.



Рисунок 3.28 – Валидация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для экономического показателя зернового производства «Пшеница_СК»

Результат валидации алгоритма работы ЛКА для ВР «Пшеница_СК» представлен на рисунке 3.28. Скользящая средняя, представленная на рисунке 3.28 значительно усредняет значения урожайностей при проведении верификации. Построенная прогнозная модель практически «угадала» динамики реверсов «спад/подъем».

Ошибка прогноза для волатильного временного ряда «Пшеница_СК» на базе работы алгоритма ЛКА составила величину, не превышающую значение 22,9 %. Прогнозное значение экономического показателя зернового производства в числовом виде на будущий год ожидается как величина, равная 33 ц/га (в соответствии с рисунком 3.29).

Алгоритм работы ЛКА работает по принципу «поиск повторяющихся комбинаций переходов» – определение глубины памяти временного ряда экономического

показателя зернового производства и останавливает наращивание цепочки лингвистических переменных в случае «потери памяти» – когда встречается комбинацию двух нулевых переходов из трех возможных (при классическом варианте трехцветной раскраски ВР).

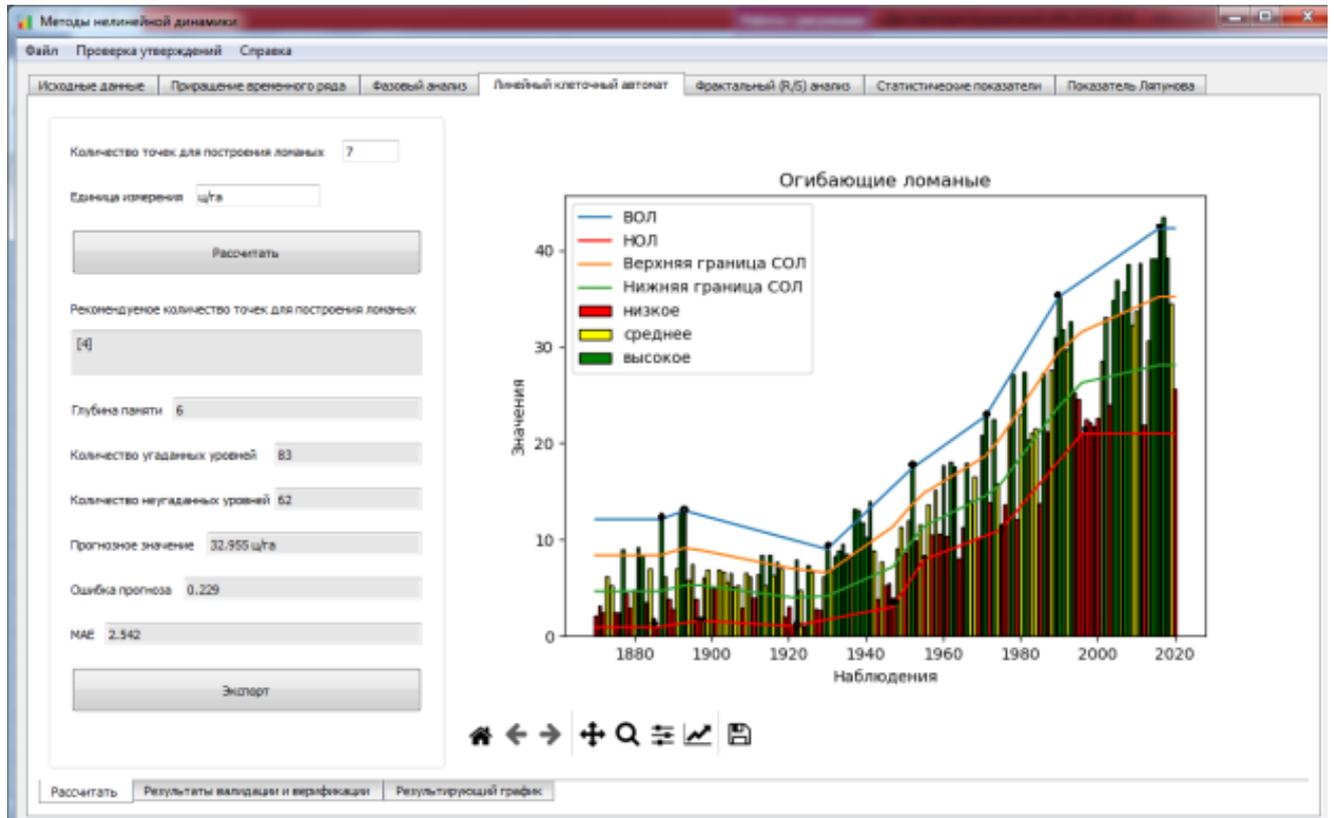


Рисунок 3.29 – Экранная форма для выбора количества ломаных для построения прогнозной модели временного ряда урожайности озимой пшеницы

На базе полученного лага – глубины памяти прогнозной модели ЛКА $l = 6$ построим среднесрочный прогноз экономического показателя зернового производства на 6 лет. Значения частот переходов l -конфигурации определяют прогнозируемый терм в соответствии с наибольшей величиной количества переходов (таблица 3.1).

Лексема 2020 г. автоматически определена алгоритмом работы ЛКА как терм «Н» (низкий урожай озимой пшеницы), у которого в равном количестве переходы в состоянии Н и С (равно 20). В свою очередь терм «С» с большей вероятностью переходит в состояние термина «Н» (как 20 из 52).

Таблица 3.1 – Значения частоты переходов лингвистических переменных временного ряда урожайности зерновых культур Ишимского района

глубина	Переход из термина	Переход в терм	Количество переходов	Всего переходов
1-конфигурация	Н	Н	20	51
		С	20	
		В	11	
	С	Н	20	52
		С	15	
		В	17	
	В	Н	11	47
		С	17	
		В	19	

При глубине равной 6 построим прогноз на будущий уровень временного ряда (2021 г.), если известны выходные данные системы (верхние строки таблицы 3.2). Тогда конфигурация за предшествующие годы для прогнозирования показателя урожайности озимой пшеницы 2024 г. выглядит следующим образом: ВСНСНН. При формировании конфигурации, определяющей прогноз урожайности озимой пшеницы на 2021 г. происходит сдвиг на одну клетку: ВВСНСН.

Система «Методы нелинейной динамики» автоматически импортирует расчеты алгоритма ЛКА в виде выходного файла в приложение Microsoft Excel (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Результаты среднесрочного прогнозирования экономического показателя зернового производства

Прогноз	Конфигурация при определении прогноза	Прогноз		Вероятность наступления (%)
		лексема	ц/га	
2021	ВВВВСН	С	33	77,1
2022	ВВВСНС	Н	23,7	38,5
2023	ВВСНСН	Н	23,8	16,2
2024	ВСНСНН	Н	23,5	
2025	СНСННН	Н	23,2	

Согласно долговременной памяти, у временного ряда озимой пшеницы ожидается «повторение» периода с низкими значениями урожайности, как для диапазона 1994–2000 гг., где подряд идут термы Н.

Расчеты этапов верификации, валидации и дефаззификации алгоритма работы линейного клеточного автомата представлены в Приложении Б.

3.4. Двухуровневое моделирование как прогнозный инструмент принятия решений в управлении зерновым производством

Планирование, программирование, предвидение, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является составным элементом аграрного менеджмента. В научной литературе отмечена значимость форвардных и фьючерсных операций при заключении договоров, которые учитывают ожидаемое значение урожайности сельскохозяйственной культуры в будущем году, а также прогноз конъюнктуры агропромышленного рынка. С прогнозом урожайности можно связать многие хозяйственные работы: вывод элеваторов для ремонта и модернизации, привлечение транспортных средств, подготовка схем логистики и т. д. Успешное страхование сельскохозяйственного производства невозможно без расчета хороших прогнозов и их валидности.

Частные прогнозные расчеты, полученные на базе апробации методологии многокритериального прогнозирования, агрегируются с помощью кластерного анализа, располагающего глобальный прогноз экономического показателя зернового производства в точке многомерного пространства, находящейся на суммарном минимуме «расстояний» от точек локальных прогнозов. Конкордацией Кенделла прогнозы риск-экстремальных факторов и экономических показателей зернового производства обобщаются и сводятся в один итоговый показатель, демонстрирующий влияние на него разных по своей природе факторов в разных зернопроизводящих территориях России (засушливого и рискованного земледелия).

Важной характеристикой кластерного анализа является метрика, т. е. определение термина «функция расстояния». «Расстояния» обобщаются до расстояния между точкой и кластером (наш случай), до расстояний между кластерами.

Оптимальное нахождение глобального прогноза в многомерном пространстве подразумевает поиск искомой точки на минимальном расстоянии от кластера (множества) точек нескольких локальных прогнозов. К разработке новых, научно обоснованных методов поиска глобального прогноза надо добавить методы наглядной визуализации сравнительного положения всех точек в операционном пространстве.

«Циклическое» или «блочное» прогнозирование создает принципиально новые, значительные сложности из-за необходимости графического и численного выделения и аналитического продолжения циклических образований в структуре волатильных временных рядов разной природы с тем, чтобы погрузить их в обобщённые или агрегированные индикаторы. Такой подход, естественно, приносит более ощутимые экономические результаты.

В работе [382] сказано, что «в зависимости от статистических свойств прогнозируемого сигнала, при наперёд заданной точности эти проблемы имеют своей целью получение а priori оценки долготы и качества прогноза». В классических подходах прогнозирования на базе временных рядов данных как природных так и экономических и финансовых процессов длина «горизонта прогноза» зависит от статистических свойств сигнала», во-первых, предполагается существование прогнозирующей системы с многими алгоритмами прогнозирования и вычисленными ими значениями частных прогнозов, во-вторых, потребностью генерировать значение обобщённого прогноза. Далее системное исследование указывает на то, что до настоящего времени при прогнозировании природных, биологических, социальных и финансово-экономических процессов недостаточно внимания уделялось на решение «обратной» задачи [382], то есть на получение и исследование максимального времени прогноза с заранее заданной точностью. Это время назовём «длиной прогноза», длиной «горизонта прогноза», «периодом упреждения», «периодом времени упреждения», «глубиной прогнозирования» или, более строго, длиной «горизонта будущего». Удовлетворительная глубина по качеству «горизонта будущего» достигается на таком промежутке, в котором риск принимаемого решения не превосходит указанной величины [382].

Сначала рассмотрим аппарат кластерного анализа как инструмент многокритериального сравнения в многомерном пространстве точек частных прогнозов и нахождения глобального прогноза в виде точки, находящейся посередине кластера локальных точек с минимумом суммарного «расстояния» от неё до всех локальных.

Важной характеристикой кластерного анализа является метрика, т.е. определение термина «функция расстояния». «Расстояния» обобщаются до расстояния

между точкой и кластером (наш случай), до расстояниями между кластерами. В кластерном анализе определено, что неотрицательная вещественно-значная функция $d(X_i, X_j)$ называется функцией расстояния («метрикой»), если:

$$d(X_i, X_j) \geq 0 \text{ для } \forall X_i, \forall X_j, \text{ из пространства } E_p;$$

$$d(X_i, X_j) = 0 \text{ тогда и только тогда, когда } X_i = X_j;$$

$$d(X_i, X_j) = d(X_j, X_i);$$

$$d(X_i, X_j) < d(X_i, X_k) + d(X_k, X_j) \text{ («неравенство треугольника»),}$$

где X_i, X_j, X_k – любые три вектора из E_p .

Значение $d(X_i, X_j)$ для заданных X_i, X_j называется «расстоянием между X_i и X_j » и оно эквивалентно «расстоянию» между значениями прогнозов в соответственно выбранном пространстве характеристик $\{C_1; C_2; \dots; C_p\}$. В связи с большим многообразием существующих метрик, рассмотрим некоторые из них:

1) Евклидова метрика:

$$d_E(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p (X_{ki} - X_{kj})^2 \right]^{1/2}$$

Это самая распространенная метрика, в качестве недостатка, можно отметить, что результат вычисленного значения расстояния $d_E(X_i, X_j)$ будет зависеть от масштаба выбранных единиц измерения характеристик X_{ki}, X_{kj} . Указанный недостаток встречается также во многих других метриках.

2) l_1 -норма:

$$d_1(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^p |X_{ki} - X_{kj}|$$

Данная метрика имеет второе название – манхеттенская метрика. l_1 -норма вычисляется по абсолютной величине и имеет несложную расчетную формулу.

3) супремум-норма:

$$d_s(X_i, X_j) = \sup\{|X_{ki} - X_{kj}|\}, k = \overline{1, p}.$$

Представленная метрика вычисляется простым расчетом, а также в формуле содержится процедура ранжирования;

4) l_p -норма:

$$d_p(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p |X_{ki} - X_{kj}|^p \right]^{1/p}, \text{ при } p > 2.$$

Данная метрика включает несколько видов расстояний: евклидову метрику, l_1 -норму, супремум-норму, при этом $p = 1, 2, \dots, \infty$;

5) метрика Махаланобиса (*P.C. Mahalanobis*):

$$D^2(X_i, X_j) = (X_i - X_j)^T \cdot W^{-1} (X_i - X_j).$$

Второе название представленной метрики – «обобщённое евклидово расстояние». Параметр W^{-1} представляет матрицу, являющуюся обратной к матрице рассеяния. Эта мера инвариантна относительно невырожденных линейных преобразований.

6) мера Джеффриса-Матуситы (*H. Jeffreys, K. Matasita*):

$$DM = \left[\sum_{k=1}^p (\sqrt{X_{ki}} - \sqrt{X_{kj}})^2 \right]^{1/2}.$$

Изначально мера Джеффриса-Матуситы была введена для вычисления значения расстояния между двумя функциями плотностей вероятности. На практике часто ее применяют при вычислении расстояния между векторами

7) мера «коэффициент дивергенции»:

$$CM = \left[\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \left(\frac{X_{ki} - X_{kj}}{X_{ki} + X_{kj}} \right)^2 \right]^{1/2}.$$

Изначально в этой метрике величины X использовались как средние арифметические \bar{X} и выступали в качестве расстояния между двумя выборочными средними.

Конкордация Кендалла или коэффициент множественной ранговой корреляции относится к анализу связи переменных или объектов, например, результатов значений частных прогнозов, полученных разными способами и моделями, посредством коэффициента конкордации.

В общем случае для ранговых переменных или переменных, чьё распределение существенно отличается от нормального, используется коэффициент корреляции Спирмена или Кендалла. Отсюда же и общий случай конкордации («согласия», «согласованности») Кендалла:

$$W = 12 \cdot \sum D_i^2 / (m^2 \cdot (n^3 - n))$$

где n - число испытываемых объектов;

m – число ранговых последовательностей;

R_{ij} – ранги всех объектов;

$$D_i = d_i - d^-;$$

$$d_i = \sum R_{ij} \text{ (по } j \text{ от } 1 \text{ до } m);$$

$$d^- = (1/n) \cdot \sum d_i \text{ (по } i \text{ от } 1 \text{ до } n).$$

В наиболее частом, частном случае конкордация Кендалла применяется для определения согласованности мнений экспертов по нескольким факторам. Тогда формула для коэффициента конкордации будет:

$$W = 12 \cdot S / m^2 \cdot (n^3 - n)$$

где n – число факторов;

m – число экспертов в группе;

S – сумма квадратов разностей рангов (отклонений от среднего).

Нормировка с коэффициентом 12 в числителе выбрана так, чтобы W изменялась в пределах $0 \leq W \leq 1$. Если $W < 0.2-0.4$, то согласованность экспертов (у нас - прогнозных значений) считается слабой. Если $W > 0.6-0.8$, то согласованность экспертов (прогнозов) сильная.

Под экспертизой понимают проведение измерений группой экспертных специалистов для суждения о явлении и подготовки принятия решения. Мы полагаем, что раз в качестве измерительных приборов выступают люди, каждый со своей объясняющей доминантой, то глобальный или обобщённый аддитивный прогноз будет частично состоять из этих доминант, количественным выражением которых будут коэффициенты в сумме. Особенно трудны те случаи, когда объекты и их характеристики ещё предстоит создать, как это имеет место при составлении прогнозов. Экспертиза, т.е. измерение или сравнение объектов, по определению

обязана быть связанной с каким-либо оцениванием объектов. Количественные оценки, соответствующие, как правило, объективным измерениям объективных же показателей, представляются с помощью абсолютной шкалы.

Отметим интересное обстоятельство: в новейших исследованиях специалисты начинают проявлять интерес не только к таким инструментам прогнозирования, с использованием которых на определенных отрезках одного и того же временного ряда демонстрируются отличные результаты, а на других – слабые. Вызывает практический интерес изучение степени «прогнозируемости» временного ряда или степени «трендоустойчивости» исследуемого процесса, ему соответствующего временного ряда или его частей [382]. Таким образом определяется *a priori* будущая «прогнозируемость» сигнала, она определяет длительность прогноза при заданной границе его погрешности и состава сигнала. Это – инвариантное свойство, зависящее от структурных синергетических (фрактальных – мера хаотичности, «долговременная память», цвет «шума», персистентность и антиперсистентность, трендоустойчивость) и классических статистических (стандартное отклонение, дисперсия, коэффициент вариации, асимметрия, коэффициент эксцесса) характеристик [276].

В исследованиях по прогнозированию пока еще сравнительно мало работ по измерению / проектированию длины «горизонта будущего», определению «прогнозируемости» реальных процессов, сравнению прогнозных оценок для одного процесса, исчисленных различными способами [382]. Новый критерий соответствия – длина «горизонта будущего» – можно теперь использовать для сравнения прогнозных моделей. В условиях, когда поведение социальных, экономических, биологических, природно-климатических систем определяется одновременно разными структурными частями их временных рядов, особую актуальность подбор среди арсенала прогнозных моделей тех, для которых длина «горизонта будущего» максимальна при определении релевантности модели экономического или природного процесса [382].

Отдельно отметим, что в работе введено понятие «прогнозируемости» временных рядов различной природы, в котором впервые обоснован императив, свя-

зывающий длину горизонта прогноза, заданное качество прогноза и статистические и фрактальные характеристики прогнозируемого процесса.

Оценим согласованность прогнозов риск-экстремальных факторов с прогнозами экономических показателей зернового производства.

Объединение различных методов с использованием платформы позволяет сформировать кластер локальных прогнозов значений риск-экстремальных факторов и зависящих от них экономических показателей зернового производства, на базе которого можно получить значение конкордации Кендалла (в соответствии с рисунком 3.27). Значение коэффициента Кендалла определяет достоверность применяемой методики (рисунок 3.1) для прогнозирования риск-экстремальных факторов и экономических показателей зернового производства.

Оценка конкордации Кендалла позволяет системно учитывать все разнообразие воздействующих риск-экстремальных факторов, используя взаимно дополняющие методы и подходы к прогнозированию экономических показателей зернового производства. Обобщение прогнозных расчетов значений риск-экстремальных факторов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства, в один итоговый показатель осуществлено на основе расчета коэффициента конкордации Кендалла (коэффициента множественной ранговой корреляции) для того, чтобы выявить согласованность мнений экспертов о взаимосвязанности рассматриваемых факторов.

Эта оценка необходима для определения адекватности выбранных методов:

$$K = \frac{12R}{m^2(n^3 - n)} \quad (3.9)$$

где R – сумма квадратов разностей рангов;

m – количество методов;

n – количество факторов.

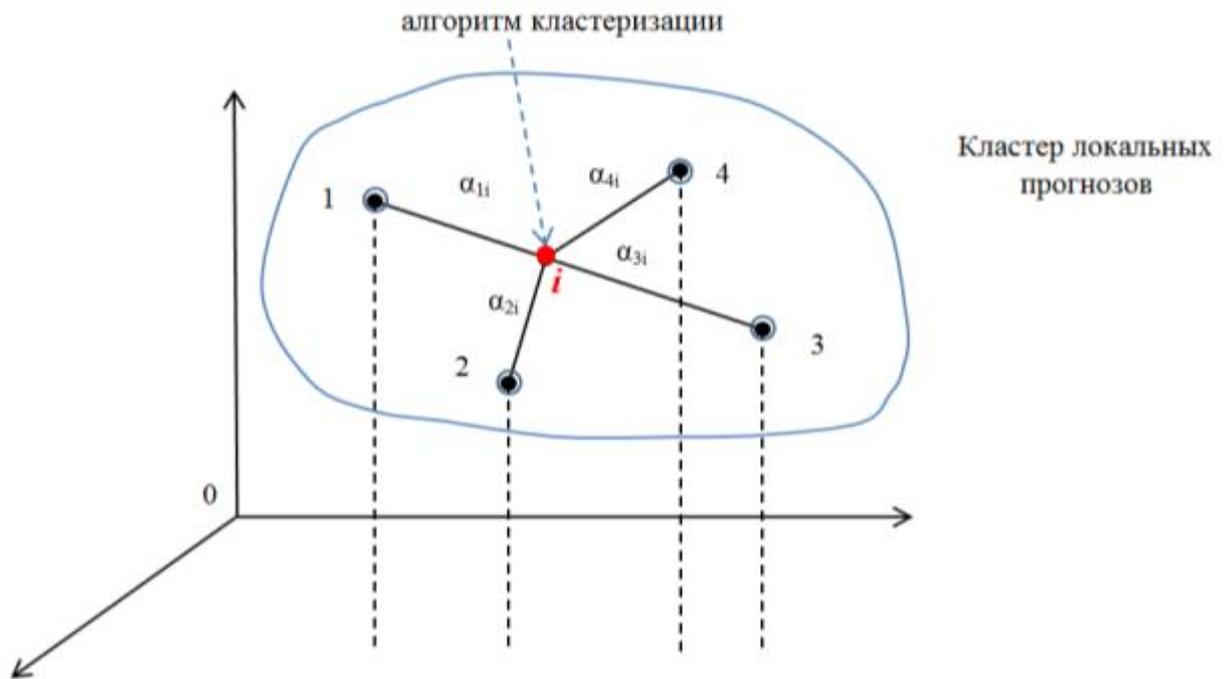


Рисунок 3.30 – Многомерное пространство прогнозирования экономических показателей зернового производства на базе синергетической методологии: (1 – прогноз осадков методами нелинейной динамики; 2 – прогноз температуры методами нелинейной динамики; 3– прогноз экономического показателя зернового производства методами нелинейной динамики; 4 – прогноз экономического показателя зернового производства на основе расчетов генетического алгоритма, i – значение конкордации Кендалла)

*Составлено автором

В данном разделе исследуются вопросам получения прогноза в виде глубины долговременной памяти ВР [190] экономических показателей зернового производства Юга России. В качестве примера взяты статистические данные озимой пшеницы по территории Республики Адыгеи, Волгоградской области, Краснодарского края, Карачаево-Черкесской Республики, а также в масштабе всей страны. Как отмечено в источнике [409], таким природно-экономическим ВР присуще свойство долговременной памяти [153]. Исходные данные значений урожайности зерновых культур представлены в Приложении А. Определение долговременной памяти в исследуемых ВР урожайности пшеницы предоставляют возможность строить адекватные прогнозные модели значений урожайностей зерновых культур [153].

В научной литературе [190] подробно описаны концептуальные основы прогнозирования на базе ЛКА. Данная прогнозная модель основывается на конструктивном подходе, а именно апробируется на реальных статистических данных ВР значений урожайностей зерновой культуры «Озимая пшеница» по перечисленным

выше регионам России (рисунки 3.31–3.35): Карачаево-Черкесской Республики (ежегодные данные с 1952 по 2021 гг.), Ставропольского края (1870–2021 гг.), республики Адыгеи (1995–2021 гг.), Краснодарского края (1966–2021 гг.); на модельной серии временных рядов урожайности зерновых и зернобобовых культур: по Волгоградской области (ежегодные данные с 1930 по 2021 гг.), по России (1940–2021 гг.). Выбор состава модельной серии экономических показателей зернового производства, определился простым наличием и доступа в Единой межведомственной информационно-статистической системе, а также многолетним авторским сбором статистического материала.

На рисунке 3.31 представлена графическая визуализация апробации трехцветной прогнозной модели для региона «Республика Адыгея»: терм Н означает низкое значение урожайности, терм С – средний уровень урожайности пшеницы и терм В – высокое значение урожайности. Детальное изложение указанной методики вычисления прогноза на базе алгоритма линейного клеточного автомата представлено в следующих работах [153, 190].

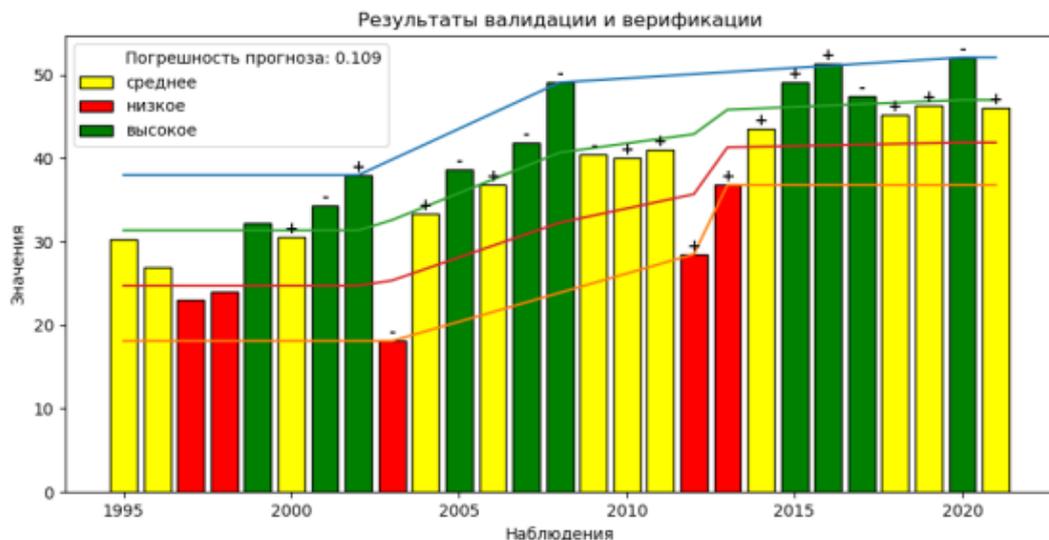


Рисунок 3.31 – Верификация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для временного ряда «Пшеница_Адыгея»

В качестве примера в Приложении Б представлены расчеты (фрагмент) алгоритма работы линейного клеточного автомата для временного ряда урожайности зерновых и зернобобовых культур по Волгоградской области, далее обозначен как «Зерно_ВО».

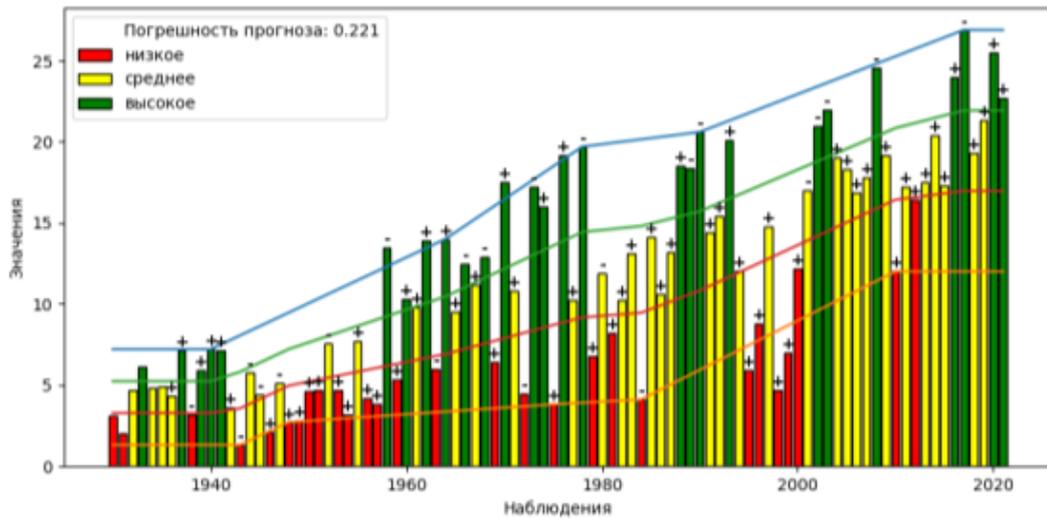


Рисунок 3.32 – Валидация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для временного ряда «Зерно_ВО»

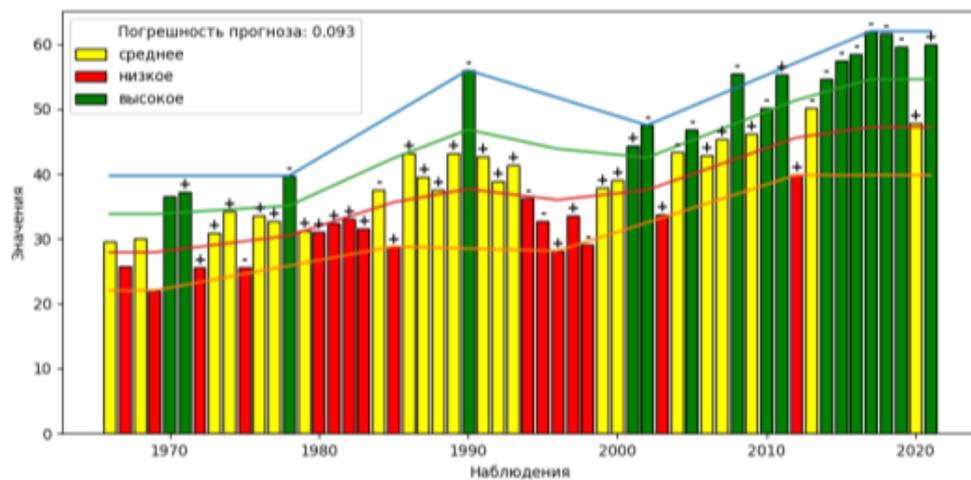


Рисунок 3.33 – Верификация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для временного ряда «Пшеница_КК» (Краснодарский край)

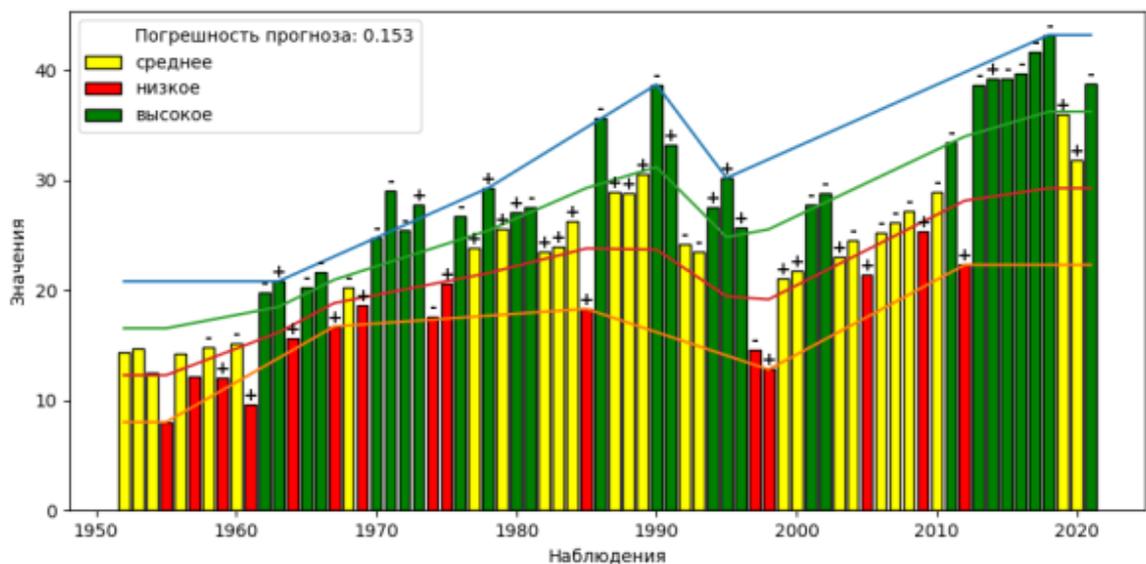


Рисунок 3.34 – Верификация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для временного ряда «Пшеница_КЧР» (Карачаево-Черкесская Республика)

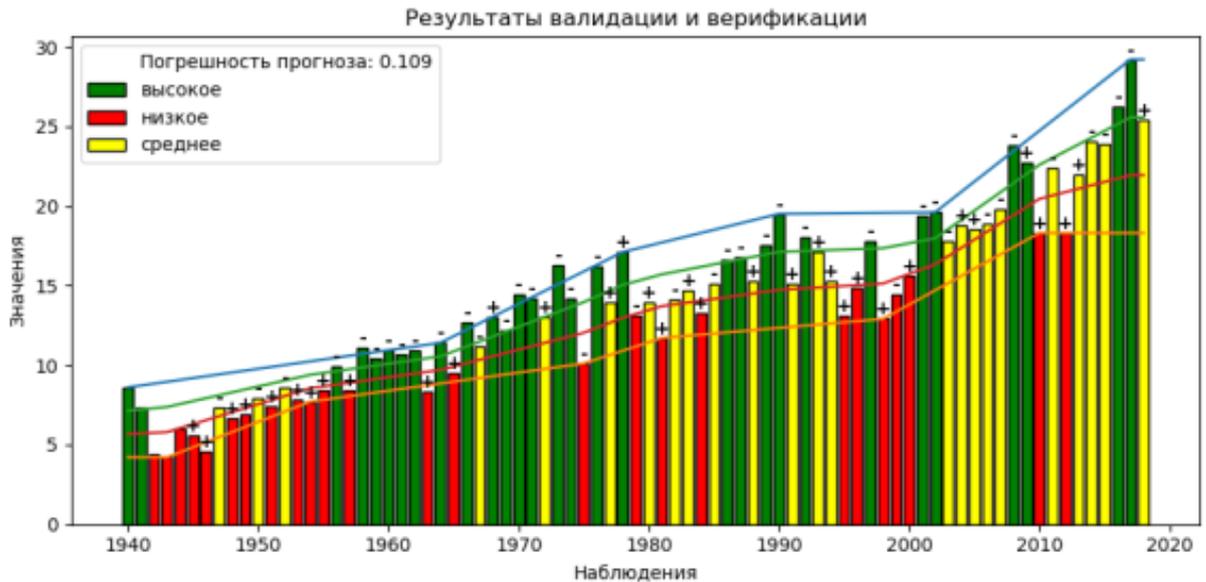


Рисунок 3.35 – Верификация прогнозной модели, построенной на базе алгоритма ЛКА для временного ряда «Зерно_РФ»

Таблица 3.3 – Сводные результаты апробации методологии многокритериального прогнозирования временных рядов экономических показателей зернового производства

Математические методы	Классическая статистика	Предпрогнозный анализ		Прогноз				
	Стат. параметры	Фазовый анализ	R/S-анализ	Линейный клеточный автомат		Скользящее среднее		
Наименование временного ряда	Коэффициент вариации, %	Наибольшая частота квазициклов, π_i	Длины квазицикла с max частотой, d_i	Точка срыва R/S-траектории	Глубина ряда, l	Ошибка прогноза (%)	Прогноз на 2022 г. (ц/га), прогноз-терм	Прогноз на 2022 г. (ц/га)
Пшеница_Адыгея	23,7	4	5	5	5	10,9	47,88 (B)	47,4
Пшеница_ВО	58,1	5	4	5	6	22,1	21,5 (C)	23,3
Пшеница_КК	25,1	4	5	4	5	9,3	55,6 (B)	58,2
Пшеница_КЧР	33	8	4	5	6	15,3	39 (B)	38,5
Пшеница_СК	77	11	5	5	6	23,2	33,9 (C)	37,4
Пшеница_РФ	40,9	5	4; 5	4	5	10,8	26,06 (B)	27,3

Исходя из данных сводной таблицы 3.3, можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдаемый коэффициент вариации для четырех временных рядов больше 30%: «Зерно_ВО», «Пшеница_КЧР», «Пшеница_СК», «Зерно_РФ». Последнее означает, что в данных временных рядах присутствуют качественно неоднородные данные.

2. Соотношения утверждений 2.1–2.3 выполняется в полном объеме для всех шести исследуемых ВР экономических показателей зернового производства регионов и страны в целом. Для исследуемой модельной серии временных рядов выполняется неравенство: $d_s \leq l_{\text{ЛКА}}$.

3. Результаты глубины памяти, полученные на базе методов R/S-анализа и фазового анализа, находятся в окрестности расчетного значения глубины памяти $l_{\text{ЛКА}}$.

4. Прогноз с высокой величиной ошибки (более 20 %) получен на базе алгоритма ЛКА лишь для временного ряда «Пшеница_СК», что также подтверждается самым высоким значением коэффициента вариации, равным 77 %.

Таким образом, в ходе визуализации данных таблицы 3.3 экспериментально подтверждается ряд утверждений 2.1–2.3 для определения и взаимосвязи величин «горизонт прогноза», полученных такими методами нелинейной динамики, как: фазовый анализ, R/S-анализ, линейный клеточный автомат.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что все временные ряды (экономические показатели зернового производства и риск-экстремальные факторы, влияющие на них) обладают свойством персистентности, что позволяет в свою очередь обоснованно ставить вопрос о необходимости разработки экономико-математической модели для получения прогноза в будущем году величины ожидаемой урожайности зерновых культур в лингвистических лексемах.

Прогнозы значений урожайностей зерновых культур в числовом виде для региона Карачаево-Черкесии в 1,5 раза ниже в отличие от Краснодарского края. Это обусловлено тем, что растениеводство, как отрасль АПК в своей динамике имеет стохастический характер. Стохастику определяют нечеткие и многокритер-

риальные факторы объективной и субъективной оценки, которые как в микроэкономическом, так и макроэкономическом масштабе порождают многообразные риски.

В таблице 3.4 представлены результаты расчетов значения коэффициента конкордации Кендалла (3.9) для исследуемых временных рядов данного раздела. Исходные данные значений урожайности зерновых культур регионов России представлены в Приложении А.

Для оценки согласованности выбранных риск-экстремальных факторов, влияющих на значения экономических показателей зернового производства и методов прогнозирования рассчитан коэффициент конкордации Кендалла (таблица 3.4). В качестве параметров используются значения прогнозов, полученные на базе методик, входящих в синергетическую методологию прогнозирования; в качестве критериев (объектов) привлечены экономические показатели зернового производства и риск-экстремальных факторов, влияющих на них.

В таблице 3.4 каждая строка соответствует расчетным значениям соответствующего критерия. Коэффициент конкордации Кендалла, равный $K \approx 0.7$ свидетельствует о тесной степени согласованности выбранных методов прогнозирования показателей урожайности зерновых культур и риск-экстремальных факторов, влияющих на них.

Как видно, предложенный подход (рисунок 3.1) агрегирует расчеты прогнозных моделей риск-экстремальных факторов с помощью кластерного анализа, определяет степень их согласованности с прогнозами экономических показателей зернового производства.

В новых условиях коренного реформирования хозяйствования, реформации организационно-правовых форм зернопроизводящих предприятий, формирования отношений на зерновом рынке, перевода земель в категорию частной собственности и пр. зерновое производство можно соотнести к рисковому сфере человеческой деятельности. В связи с вышесказанным, проблема устойчивости зернового производства является одной из актуальных тем. Стабильность важна для длительного комплексного развития зернового производства, определяя продовольственную

безопасность страны. Устойчивости невозможно достичь без расчета перспектив, без прогноза экономических показателей зернового производства. Цикличность урожайности зерновых культур не разрушает устойчивости, поскольку, будучи стационарной, не представляет собой угрозы турбулентности в экономике [166].

Таблица 3.4 – Результат вычисления коэффициента конкордации Кендалла

Наименование ВР Методы нелинейной динамики	R/S-анализ (точка срыва)	Фазовый анализ (длина квазицикла с наиб. частотой, d_s)	ЛКА (глубина памяти, l)	Σ
Осадки за апрель КК	5	4	5	
Осадки за апрель КЧР	4	5	5	
Осадки за апрель СК	4	6	6	
Пшеница СК	5	5	6	
Пшеница КК	4	5	5	
Кукуруза КК	6	5	5	
Зерновые и Зерноб КК	5	5	6	
Ячмень КК	4	4	5	
Зернобобовые КК	5	5	5	
Рис КК	5	5	5	
Кукуруза КЧР	6	5	5	
Пшеница КЧР	5	4	6	
Заморозки КЧР		6	6	
Заморозки КК		7	7	
Заморозки СК		5	5	
<i>Pis (сумма рангов)</i>	58	76	82	
<i>Pcp (среднее значение)</i>				72
<i>Pis – Pcp (отклонение)</i>	-14	4	10	
<i>(Pis – Pcp)^2</i>	196	16	100	312
Коэффициент конкордации Кендалла				0,69

Вопросы продовольственной безопасности, необходимо решать развивая зернопроизводящие предприятия АПК и поднимая уровень развития производительных сил. Отрасли зернового производства и переработки зерновой продукции напрямую влияет на устойчивое развитие всего зернового комплекса. Отрасль растениеводства в отдельных зернопроизводящих территориях России относится к зоне рискованного земледелия, а характер результатов ее деятельности в виде временных рядов урожайностей зерновых культур обладает свойствами стохастичности, многокритериальности, фрактальности, нелинейности. Значение глубины прогноза экономического показателя зернового производства или прогнозного лага явля-

ется определяющим для принятия управленческого решения. Последнее, в свою очередь, буквально вынуждает исследователя обратить свое внимание на синергию природно-климатических показателей риск-экстремальных факторов, влияющих на развитие зернового производства, характерную настоящему времени. Экономико-математическое моделирование и получение количественной оценки рисков дает возможность управлять рисками в сфере зернового производства, учитывая его всеохватывающий характер. Отдельно отметим, что предложенная платформа многокритериального прогнозирования как экономических показателей зернового производства, так и риск-экстремальных факторов, влияющих на них, позволяет управлять рисками даже в регионах с частыми засухами, которые относят к зонам рискованного земледелия. На данный момент теория оценки меры природно-климатических рисков, прогнозирования и контроля над ними еще не соответствует в достаточной степени реальным нуждам рационального сельскохозяйственного менеджмента.

Применение риск-менеджмента на базе управления по процессам, где в качестве информационной основы используются прогнозы экономических показателей зернового производства, которые в свою очередь получены в результате используемых непрерывных сплайн-аппроксимационных полиформных моделей и клеточно-автоматных моделей, подразумевает применение методов обоснования решений, например, как построение «дерева решений», представленной на рисунке 3.37 модель реализации «дерева решений» [421], где полученные прогнозы урожайности зерновых культур основываются на реальных статистических данных [153, 190].

Результативное управление – это основная задача менеджмента, в том числе аграрного. В связи с этим, применение в зерновом производстве научно-обоснованных комплексных экономико-математических методов и моделей, инструментальных средств позволит лицу, принимающему решение учитывать, как природно-климатические факторы, так и все многообразие производственно-технологических процессов в современной ситуации. Поэтапное моделирование, реализующее прогнозные модели экономических показателей зернового произ-

водства на нижнем уровне и адаптация моделей управления на верхнем уровне является рабочим инструментом в процессе маневрирования ресурсами, технологиями, и как следствие, выходы на стратегическое хозяйствование в зерновом производстве [194].

В этом разделе комплексно адаптированы и модифицированы экономико-математические методы моделирования динамики экономических показателей зернового производства, которым характерны множественность критериев, хаотичность структуры связей, интервальные или нечеткие значения входной информации.

В настоящем диссертационном исследовании апробирован многоуровневый подход (рисунок 3.37) к моделированию динамики экономического показателя зернового производства и риск-экстремальных факторов, влияющих на него, в основу которого взят двухуровневый подход, который подробно описан в источниках [190, 249, 250]. Суть двухуровневого подхода заключается в следующем: на первом уровне в качестве входного файла выступают временные ряды отдельно выбранного сектора экономики, на выходе имеем прогнозы экономического показателя; на втором уровне в качестве входной информации используются значения прогнозов, на выходе имеем варианты управленческих решений на базе метода «дерево решений».

В качестве нижнего уровня указанного подхода взяты данные, которые получены во второй главе данного исследования: результаты предпрогнозного анализа и прогноз экономических показателей зернового производства и значений риск-экстремальных факторов, влияющих напрямую на них (количество выпавших осадков в основные фазы роста зерновых культур и температура воздуха). В качестве модели верхнего уровня применяется аддитивная модель, имеющая на входе информацию в виде нечеткого множества прогнозов показателей урожайности зерновых культур и риск-экстремальных факторов (осадки, заморозки), влияющих на значений экономических показателей зернового производства и таких внешних условий, как конъюнктура цен продукции на рынке.

Фактически, модель верхнего уровня позволяет дать практические рекомендации зернопроизводителю о времени продажи запасов зерна и рациональном использовании финансовых средств. Модель реализована на реальных временных рядах данных зерновых культур, выращенных на территории Краснодарского края. Иллюстрация модели верхнего уровня представлена в виде «дерева решений» [194] (в соответствии с рисунком 3.36).

Основная идея модели верхнего уровня состоит в том, чтобы получить максимальную прибыль при реализации зерновой продукции с учетом существующих экономических рисков.

Один из вопросов, стоящих перед фермером: при собранном достаточно высоком урожае зерна имеется возможность реализовать его в марте месяце (начало посевных работ) по рыночной стоимости или придержать до июня месяца, когда цены на него могут измениться в зависимости от прогноза. Очевидным является тот факт, что при условии, если прогнозируется высокий урожай, то стоимость зерна в июне будет ниже, чем в марте.

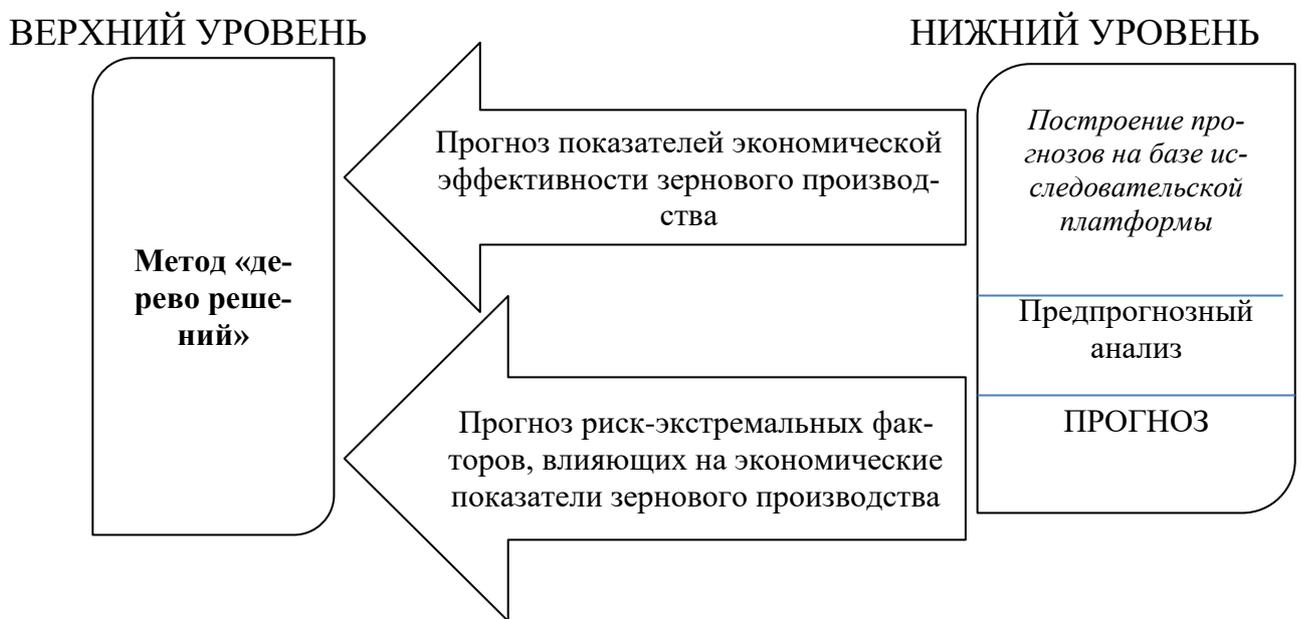


Рисунок 3.36 – Многоуровневое моделирование модель снижения предпринимательского риска в зерновом производстве с учетом прогнозов риск-экстремальных факторов

Следующим вопросом стоит получение кредита в банке при разных раскладах доходности, согласно вариантам прогноза на урожайность зерна.

В продолжение работы автора [190] в данном разделе предложена концептуальная модель верхнего уровня. Введены следующие обозначения:

K – кредит, т.е. финансовые средства необходимые для посевных работ (тыс. руб.);

t – срок кредита (количество месяцев);

r – годовая процентная ставка банка (%);

b – процентная ставка в месяц;

Z – ежемесячные выплаты по кредиту;

Для определения процентной ставки имеем:

$$b = \frac{r}{12} \times t \quad (3.10)$$

Ежемесячные выплаты за кредит составят:

$$Z = K \times b \quad (3.11)$$

n – количество лингвистических переменных в применяемом алгоритме ЛКА (при $n = 3$ имеем три цвета: H – низкий уровень ожидаемой урожайности, C – средний уровень, B – высокая урожайность зерновых культур);

M – количество зерна, имеющейся в наличии у зернопроизводителя (т.);

L – стоимость зерна в марте (т);

S_n – стоимость зерна в июне месяце, при различных прогнозах урожайности зерна;

D – доход при продаже зерна;

P_n – прогнозы различных уровней урожайностей зерновых культур (из результатов второй главы).

При условии, если прогнозируется высокий урожай зерновых культур в июне месяце, то имеем соотношение:

$$S_B < S_C < S_H \quad (3.12)$$

Согласно введенным обозначениям, далее имеем расклад доходности по трем вариантам прогноза:

$$D_n = \sum_{n=1}^3 M \times S_n - Z \quad (3.13)$$

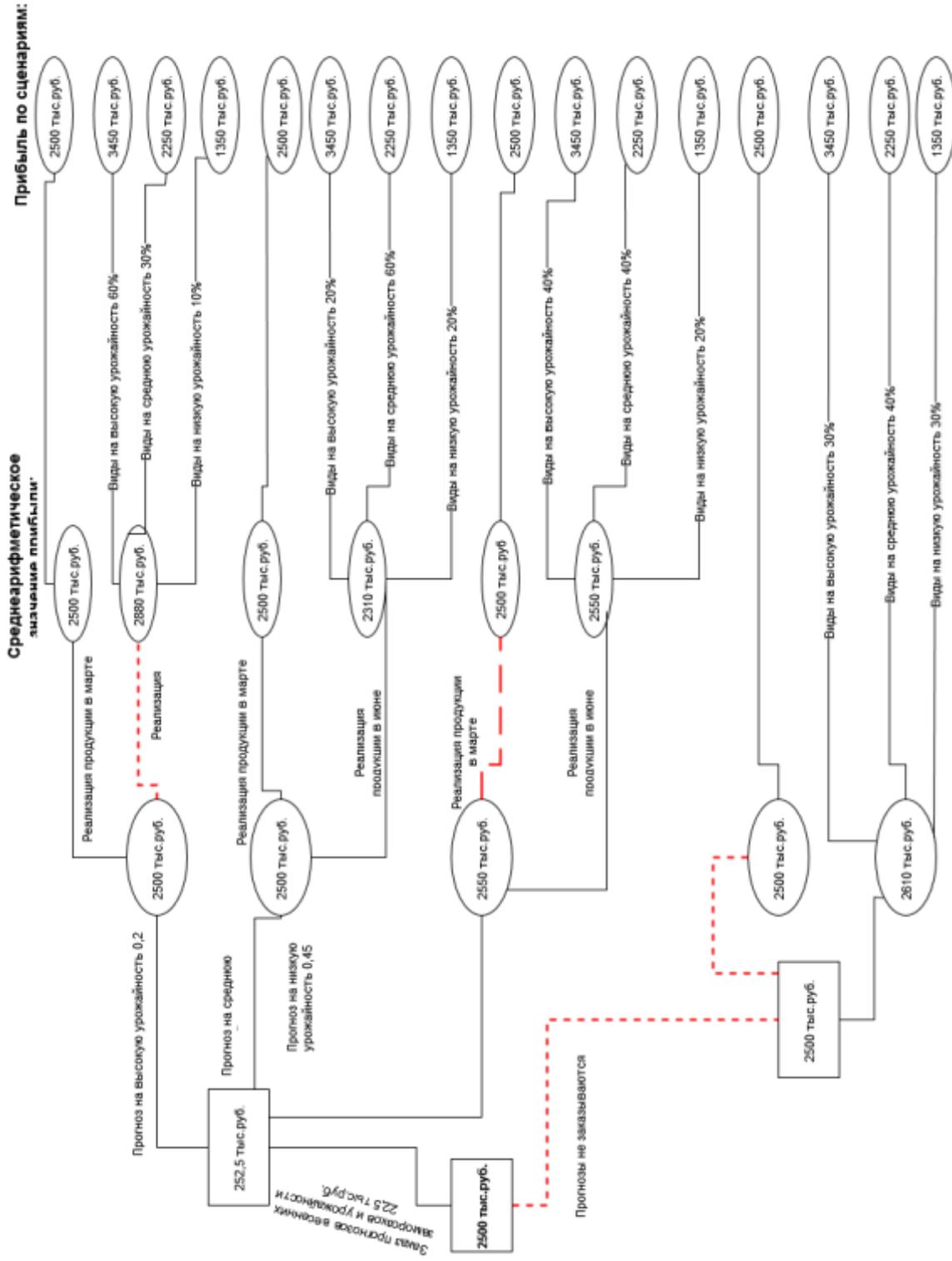


Рисунок 3.37 – «Дерево решений» как иллюстрация для выбора способа финансирования посевных работ при производстве зерна

* Составлено автором

Тогда среднеарифметическое значение прибыли при реализации зерновой продукции в июне месяце составит:

$$D = \sum_{n=1}^3 P_n \times D_n \quad (3.14)$$

Усложненная модель получения дохода от реализации продукции в июне месяце включает в себя риски прогнозных значений, которые могут варьироваться и зависеть от множества факторов.

В данную модель также можно включить отдельно стоимости прогнозов весенних заморозков и осадков. На рисунке 3.37 представлена модель «Дерево решений» – как иллюстрация для выбора варианта управленческого решения в зерновом производстве при следующем раскладе: $K = 2\,500$ тыс. руб. на три месяца выдается под 24 % годовых. Значения прогнозов на низкий, средний и высокий урожай зерновых культур составляют: 0,2; 0,35 и 0,45.

Пусть зернопроизводителю стал известен факт того, что в консалтинговом центре за невысокую оплату (в размере 22 500 тыс. руб.) имеется возможность получить прогнозы весенних заморозков и стоимости продукции на зерно в июне месяце. В данном случае на основе реальных статистических данных обоснованность прогноза центра имеет следующий расклад: в случае, если в марте месяце аналитики выдают прогноз, что виды на урожайность зерновых в июне месяце будут высокие, тогда данный прогноз исполнится с долей вероятности 0,6 (в данном случае низкие и средние значения урожайности ожидаются соответственно с вероятностями 10 % и 30 %); в случае, если консалтинговый центр выдаст прогноз на средний вид урожайности зерновых, тогда оправдываемость такого прогноза будет равно 0,6, а низких и высоких видов на урожайность зерновых по 20 %; и наконец, если центр выдаст прогноз на низкую урожайность в июне месяце с вероятностью 20 % и, соответственно, средних и высоких значений урожайности зерновых по 40 %. Предположим, что стал известен тот факт, что консалтинговый центр выдаст прогноз на высокую урожайность зерновых с вероятностью 0,22, среднюю 0,36, низкую 0,42. зернопроизводителю нужно не только принять рациональное решение относительно периода реализации продукции (реализовать зерно в марте либо в июне месяце), но и определиться с необходимостью

оплаты услуги – заказ прогноза экономического показателя зернового производства и значений риск-экстремальных факторов, влияющих в основные фазы роста пшеницы в консалтинговом центре.

Статистические центры в рамках государственных задач решают вопросы прогнозов как природно-климатических факторов, так и стоимости стратегической сельскохозяйственной продукции, к которой относятся все виды зерновых культур. Иллюстрация применения этой прогнозной информации на практическом примере представлена на рисунках 3.38–3.39. На рисунке 3.38 представлена экранная форма программной реализации изложенной концептуальной модели (среда разработки – Visual Studio [304], (св. о гос. регистрации программы для ЭВМ представлено в Приложении В).

Проект

Цена прошлого сезона	Ежемесячная выплата 150
<input type="text" value="8"/>	
Количество продукции	Ожидается в марте 2500
<input type="text" value="300"/>	

Предполагаемые цены

Прогнозная цена

Н	5
С	8
▶ В	12

Возможная прибыль в июне

при вероятности 45	1350
при вероятности 35	2250
при вероятности 2	3450

Прогнозные значения

Урожай

Н	0.45
С	0.35
▶ В	0.2
Цена	

Варианты кредитов

Кредит 1

Сумма	2500
Ставка	24
▶ Срок(мес)	3

Рисунок 3.38 – Программная реализация решения задачи «Способ финансирования посевных работ» при производстве зерна

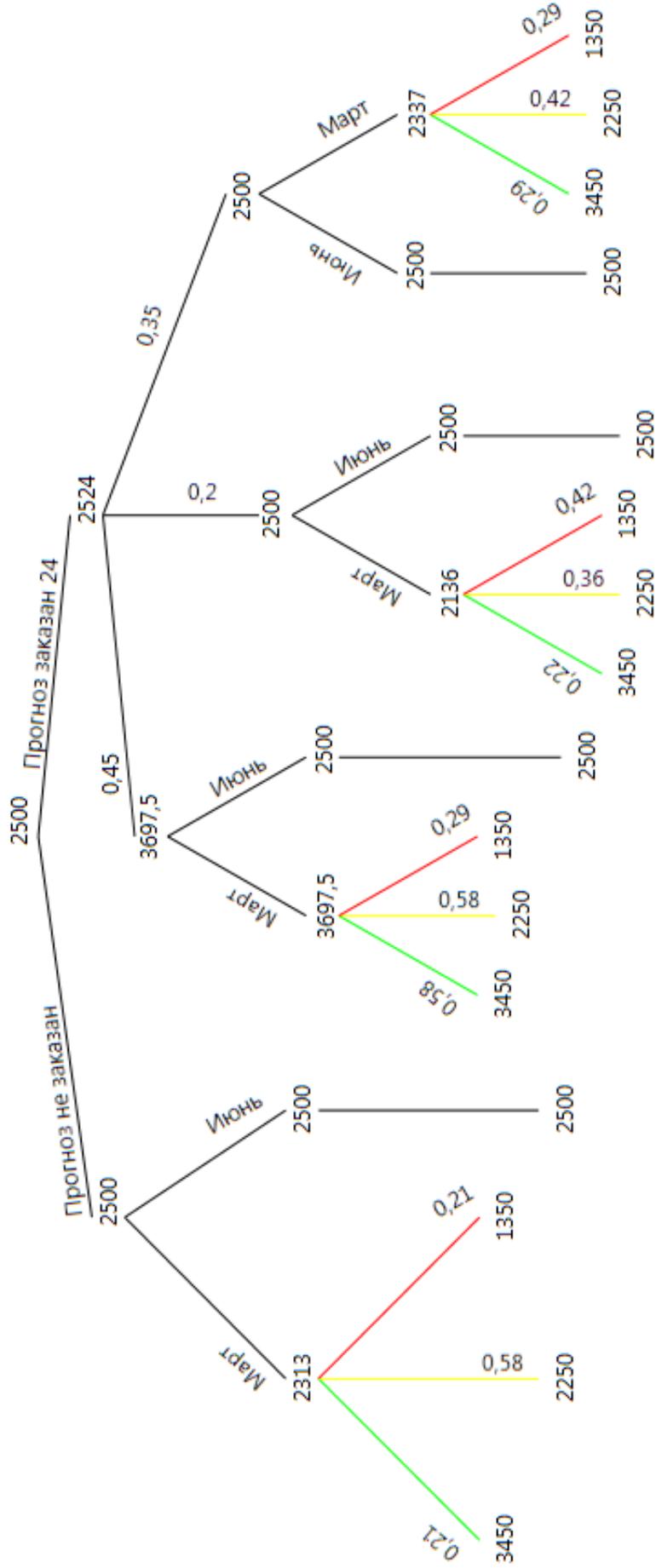


Рисунок 3.39 – Пример автоматического расчета дерева решений приложений «Способы финансирования посевных работ»

Диаграмма классов представлена в Приложении Д, рисунок П.Д.1), программа предназначена для снижения предпринимательского риска в зерновом производстве с учетом прогнозов риск-экстремальных факторов.

Согласно представленной модели зернопроизводитель имеет возможность выбора обоснованных управленческих решений, направленных на снижение предпринимательского риска и увеличения прибыли при разных сценариях риск-экстремальных факторов и экономических показателей зернового производства.

Исходя из визуализации результирующего столбца (рисунок 3.37) отметим, что в 50 % случаев он сможет покрыть затраты на кредит и получить дополнительную прибыль.

Из анализа решений представленных задач следует вывод о том, что любая информация о диапазоне цен на зерно, предполагаемом значении урожайности и пр. необходима для обоснования и выбора рациональных управленческих решений в условиях неопределенности, многокритериальности и стохастичности. Важно только грамотно уметь ее должным образом применять.

В качестве заключительного вывода, можно отметить, что в условиях неопределенности, стохастичности и наличия большого количества критериев для оценки принимаемого решения информацию о стоимости зерновой продукции и урожайности зерновых культур необходимо квалифицированно применять и профессионально использовать.

3.5. Ранжирование макрорегионов России на базе многокритериальной оценки их экономической эффективности

(на примере производства зерновых и зернобобовых культур)⁶

Учет региональной динамики весьма сложен, т. к. требует одновременного рассмотрения большого числа показателей. В этой связи логичным выглядит ис-

⁶ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Плотниковым В.А., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Кумратова, А. М. Ранжирование макрорегионов России на базе многокритериальной оценки / А. М. Кумратова, В. А. Плотников // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 5. – С. 100-106. – DOI 10.32651/235-100.

пользование методов экономико-математического моделирования, ориентированного на поиск оптимальных решений, в т. ч. за счет минимизации рисков участников хозяйственной деятельности. Отметим, что в настоящее время потенциал экономико-математического моделирования значительно вырос благодаря развитию как теории моделирования, так и инструментальных методов, что позволяет эффективно применять его для принятия управленческих решений.

Отличительной особенностью настоящего момента является возрастание скорости изменений в экономике, что обусловлено переходом ее к постнормальной стадии развития. Это усложняет моделирование, а также делает затруднительным построение достаточно обоснованных и достоверных прогнозов даже на среднесрочную перспективу. Основным возмущающим фактор в современной российской экономике – внешние санкции, поток которых не только не прекращается, но – напротив – постоянно возрастает, что влечет за собой вторичные возмущения, в частности, необходимость использования мобилизационных инструментов управления экономикой, которые вносят искажения в рыночные механизмы взаимодействия экономических агентов.

При этом стоит отметить, что изменчивость различных экономических процессов, наблюдаемых на региональном уровне, различается, что определяется их природой, а также такими свойствами, как инерционность и степень чувствительности к влиянию возмущающих факторов. Одними из наиболее изменчивых являются процессы, связанные с производством продукции растениеводства, которое, помимо традиционного набора влияющих факторов социальной, политической, макроэкономической и т.д. природы, также значительно зависит от природно-климатических условий (неуправляемый фактор).

Важной особенностью отрасли растениеводства в России является тот факт, что текущая геополитическая нестабильность оказывает на него как негативное (санкции коллективного Запада, ограничивающие как поставки в Россию определенных ресурсов, необходимых для сельскохозяйственного производства, так и экспорт продукции растениеводства [260]), так и положительное (продовольственное эмбарго, введенное в России в 2014 г. в качестве ответа на санкции кол-

лективного Запада, и ставшее мощным стимулом для развития национального агропромышленного комплекса) влияние.

При моделировании динамики зернового производства на региональном уровне возникают многообразные сценарии с высокой вариативностью, вызываемой многочисленными случайными возмущениями и событийными составляющими.

Высокая производительность при выращивании зерна является одним из факторов успешного хозяйствования на уровне макрорегионов России, т. к. не только способствует занятости, получению доходов (в т. ч. и за счет развития экспорта), пополнению бюджетов бюджетной системы, но и решению важнейших проблем обеспечения продовольственной безопасности, значимость которых в современных турбулентных условиях существенно возросла как в России, так и в мире в целом. И по имеющимся оценкам значимость обеспечения продовольствием населения в среднесрочной перспективе снижаться не будет.

Определение на основе моделирования наиболее прибыльных (наименее рискованных) хозяйствующих субъектов включает в себя разработку механизма оценки потенциала экономической эффективности зернового производства макрорегионов России. Это, в свою очередь, требует исследования и классификации рисков в зерновом производстве на базе современных математических методов, стохастической парадигмы, инструментальных и информационных сред с конструктивным получением решений.

В современных условиях для нашей страны аспекты эффективного управления зерновой отраслью [106] можно представить следующей триадой: (1) повышение экономической эффективности зернового комплекса (в том числе получение высоких урожаев) [1]; формирование отраслевой информационной базы, на основе формирования сети data-центров, как источника точных прогнозов для всех видов зерновых культур и погодных риск-факторов; получение, на основе моделирования, множества альтернатив поведения исследуемой системы на базе применения адаптивных методов и многокритериальной оптимизации для принятия эффективных решений в условиях неопределенности.

Механизм оценки потенциала экономической эффективности зернового производства макрорегионов (под макрорегионами в контексте данного исследования понимаются федеральные округа) России определяется следующими критериями и показателями: рентабельность произведенной зерновой продукции, урожайность зерновых культур. Возникает научная задача определения макрорегионов с высоким потенциалом экономической эффективности зернового производства, основанного на имеющихся ресурсах и производственных мощностях. Оценка потенциала экономической эффективности зернового производства (ЭЭЗП) осуществляется на базе учета многокритериальной природы экономического риска.

В классическом подходе к решению многокритериальных задач одним из самых распространенных прямых методов под принятием решений является показатель средней взвешенной суммы значений критериев и, таким образом, используя этот подход можно получить оценку в виде интегральной величины потенциала экономической эффективности зернового производства. Также, используя правило нормирования данных, можно привести к единой соразмерности значения критериев. Тогда интегральная величина потенциала экономической эффективности зернового производства P_{EEGP} выражается формулой (3.15):

$$P_{EEGP} = \sum_{j=1}^s N_j \cdot V_j \rightarrow \max, \quad (3.15)$$

где s – количество критериев;

V_j – веса важности критериев;

N_j – нормированные значения критериев.

В представленной работе демонстрируется апробация обобщенного решающего правила [269], включающего в себя стандартные критерии оценки риска: MINMAX, MINSUM, расстояние до идеальной точки, мультипликативное решающее правило. Отдельно остановимся на «принципе Парето», которому уделено особое внимание в теории принятия решений [249]. В источнике [269] сказано, что каждый элемент, входящий в паретовское множество альтернатив является парето-оптимальным объектом. В работе предлагается выполнить ранжирование

(рейтинг) паретовских оптимумов по степени убывания значений рисковых критериев. Отдельно уточним, что все исследуемые макрорегионы входят в паретовское множество как векторно-несравнимые элементы полного множества альтернатив.

Представляет научный интерес провести ранжирование хозяйствующих субъектов зернового производства по значениям рисковых критериев. Экспертным путем определяются факторы, влияющие на потенциал развития зернового производства, которые, в свою очередь, являются вектором повышения производственной мощности выращивания зерновых и зернобобовых в регионе.

Комплекс рисковых критериев, обуславливающих состояние хозяйствующего субъекта, условно можно разделить на 2 группы: показатели ЭЭЗП, недополученная прибыль (ущерб от риск-экстремальных факторов). Отбор критериев осуществлялся на основе экспертного мнения ученых, занимающихся разработкой передовых методов и обоснованием направлений и механизмов инновационного развития зернового производства России [105, 106, 248].

Для оценки потенциала ЭЭЗП выбраны две группы показателей, характеризующие производительную мощность выращивания зерна хозяйствующих субъектов (таблица 3.5):

1. Группа показателей, характеризующих экономическую эффективность зернового производства:

F_1 – валовой сбор зерновых и зернобобовых культур (тыс. ц);

F_2 – посевные площади зерновых и зернобобовых культур (тыс. га);

F_3 – урожайность зерновых и зернобобовых культур (ц/га);

F_4 – уровень рентабельности (убыточности) проданной зерновой продукции (%);

2. Группа показателей, характеризующих недополученную прибыль хозяйствующих субъектов:

F_5 – средние потери и вероятность снижения урожайности озимых культур от засушливых условий (засуха в период «выход в трубку – колошение», ц/га);

F_6 – средние потери и вероятность снижения урожайности ранних яровых зерновых культур от засушливых условий (засуха в период «посев – кущение», ц/га).

Значения критериев взяты из открытых источников [486].

Таблица 3.5 – Значения показателей, характеризующих потенциал экономической эффективности зернового производства

Критерий Федеральный округ	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
ЦФО	300088,47	8243,40	36,80	60,08	5,12	6,42
СЗФО	11454,92	346,42	34,20	12,19	4,26	3,85
ЮФО	352730,78	9020,08	39,30	38,50	6,25	6,15
СКФО	128936,45	3366,47	38,60	19,98	6,25	6,15
ПФО	194365,19	13172,37	16,10	24,06	7,06	6,30
УФО	37893,65	3378,83	12,10	12,47	5,30	3,40
СФО	175866,23	8961,38	19,70	28,30	9,15	6,75
ДФО	12637,67	516,98	26,00	7,88	0,00	0,00

Комплекс рассматриваемых критериев имеет разную природу, основными условиями применения прямых методов поддержки принятия решений является соизмеримость (единая система измерения) и однородность (по виду экстремума) значений критериев [95]. Критерии первой группы имеют направление на экстремум «max». Для выполнения первого условия воспользуемся следующей процедурой нормирования значений всех критериев $F_1 - F_6$:

1. Выбирается наибольший элемент из столбца значений (F_j^i , где i – количество элементов в выборке, $i = \overline{1, n}$, $n = 8$ – количество макрорегионов, где j – количество критериев, $j = \overline{1, m}$, $m = 6$); обозначим его как F_j^{max} .

2. Все значения критериев F_j^i делим на соответствующий элемент F_j^{max} .

Для выполнения второго условия значения критериев второй группы необходимо перенаправить с min на max посредством следующей процедуры:

1. Определим наибольший элемент для критерия F_5 ;

2. Вычислим обратную величину для всех значений этого критерия $\left(\frac{1}{F_5}\right)$;

3. Аналогично проводим расчеты для критерия F_6 .

Нормированные значения по критериям представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Нормированные значения показателей, характеризующих потенциал экономической эффективности зернового производства

Группы критериев	Показатели ЭЭЗП				Недополученная прибыль	
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Федеральный округ						
ЦФО	0,85	0,63	0,94	0,6	0,2	0,16
СЗФО	0,03	0,03	0,87	0,12	0,23	0,26
ЮФО	1,00	0,68	1,00	0,39	0,16	0,16
СКФО	0,37	0,26	0,98	0,20	0,16	0,16
ПФО	0,55	1,00	0,41	0,24	0,14	0,16
УФО	0,11	0,26	0,31	0,12	0,19	0,29
СФО	0,50	0,68	0,50	0,28	0,11	0,15
ДФО	0,04	0,04	0,66	0,08	0,00	0,00

Для получения оценки потенциала ЭЭЗП макрорегионов страны предложено апробировать многокритериальный подход, на основе использования которого в конечном итоге получим ранжированную последовательность эффективности зернопроизводящих макрорегионов.

Отличительной особенностью данной экономико-математической модели является то, что в нее включен рисковый критерий «Недополученная прибыль», под которой следует понимать потери зерновой продукции при наличии засушливых периодов в макрорегионах страны. Все критерии $F_1 - F_6$ входят в состав векторно-целевой функции (ВЦФ). Все рисковые критерии, кроме группы «Недополученная прибыль» направлены на экстремум в виде максимизации численного значения.

Для реализации рассмотренной выше экономико-математической модели была использована веб-информационная система Vue.js 3. Языком программирования, используемым при разработке веб-информационной системы, является РНР 8.2. Для проектирования интерфейса веб-информационной системы в целях

визуальной привлекательности и удобства пользователя, использованы каскадные таблицы стилей (CSS). На рисунке 3.40 представлен вид интерфейса приложения, реализующего алгоритм обобщенного решающего правила прямых методов принятия решений.

При использовании обобщенного решающего правила [269] получена последовательность (выполнено ранжирование) зернопроизводящих макрорегионов России по степени возрастания риска (рисунок 3.40).

Имя объекта	F1	F2	F3	F4	F5	F6
ЦФО	0,85	0,63	0,94	0,6	0,2	0,16
СЗФО	0,3	0,03	0,87	0,12	0,23	0,26
ЮФО	1	0,68	1	0,39	0,16	0,16
СКФО	0,37	0,26	0,98	0,2	0,16	0,16
ПФО	0,55	1	0,41	0,24	0,14	0,16
УФО	0,11	0,26	0,31	0,12	0,19	0,29
СФО	0,5	0,68	0,5	0,28	0,11	0,15
ДВФО	0,04	0,04	0,66	-0,03	0,1	0

Результат: (ЦФО)(ЮФО)(ПФО)(СКФО)(СФО)(СЗФО)(ДВФО)(УФО)

Рисунок 3.40 – Результат апробации предложенной экономико-математической модели для 6-критериальной задачи

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что наименее рискованным макрорегионом для производства зерна является Центральный федеральный округ. Самым рискованным значением для этого округа является наличие или высокая частота появления засушливых периодов в производстве озимых зерновых культур, которая проявляется через значения высоких потерь в урожайности озимой пшеницы.

Макрорегион ЮФО обладает достаточно высоким потенциалом экономической эффективности зернового производства в разрезе шести рискованных критериев, занимая вторую позицию в рейтинге. Все показатели макрорегиона имеют высокие значения, кроме группы «Недополученная прибыль». Вследствие риск-экстремальных проявлений (засуха, град и пр.) в период вегетации зерновых

культур у ЮФО наблюдаются значимые потери в показателях экономической эффективности зернового производства, в том числе урожайности озимых и яровых культур. Из полученной последовательности видно, что наименее привлекательным с точки зрения экономической эффективности зернового производства являются Дальневосточный и Уральский федеральные округа, занимающие две последние позиции рейтинга, что обусловлено климатическими условиями этих макрорегионов и другими рисковыми факторами производства зерна.

На рисунке 3.41 представлен пространственный анализ зернопроизводящих территорий страны, где наиболее насыщенным цветом обозначены менее рискованные макрорегионы.

Оценка экономической эффективности зернового производства макрорегиона – это важный элемент в эффективном управлении зерновым комплексом страны. С практической точки зрения ранжирование макрорегионов Российской Федерации (аналогичные расчеты можно выполнить и для субъектов федерации, и даже для внутрирегиональных территорий, например, муниципальных образований или сельскохозяйственных зон) дает основание для разработки сценарного подхода для развития каждого макрорегиона в долгосрочной перспективе в целях снижения инвестиционного риска. Механизм оценки потенциала экономической эффективности и ресурсообеспеченности зернопроизводящих территорий является важным инструментом для распределения государственной поддержки хозяйствующих субъектов.

Заметим, что предложенный подход, основанный на экономико-математическом моделировании, является достаточно универсальным и может использоваться для ранжирования территорий и по иным критериям.

Развитие сельского хозяйства способствует стимулированию экономического роста, повышению занятости и сокращению бедности, как в региональном масштабе, так и в масштабе страны. Высокий уровень организации сельскохозяйственного производства является предпосылкой для обеспечения прочного социально-экономического фундамента и реализации глобальных стратегических приоритетов. Исходя из этого, оценка степени развития сельского хозяйства, требует

дальнейших, более детальных исследований, в том числе с использованием методов классической статистики, нелинейной динамики и машинного обучения.

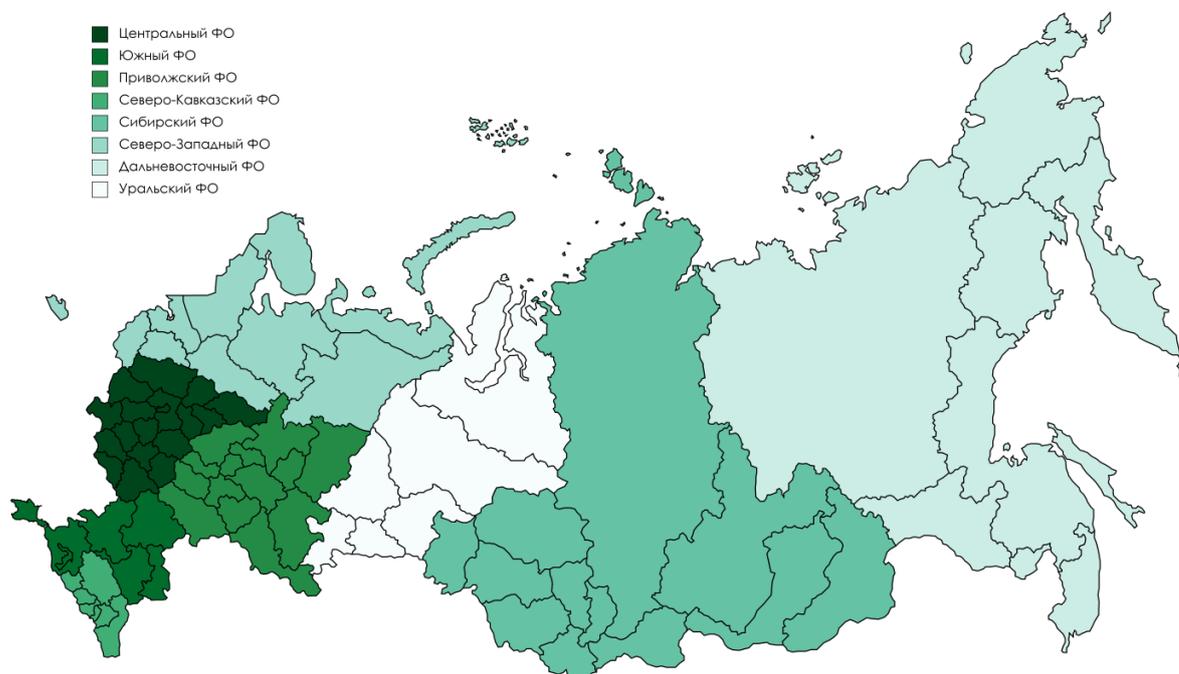


Рисунок 3.41 – Карта макрорегионов России с градацией по степени оценки их экономической эффективности (на примере производства зерновых и зернобобовых культур)

Для исследования положений третьей главы (пункты научной новизны №№ 6, 7, 9) использованы авторские программы для ЭВМ, которые подтверждены свидетельствами о регистрации программного обеспечения №№ 2020612899, 2017611266, 2021664506, 2022680968, 2023661854», приведены в Приложении В.

Положения третьей главы могут быть использованы при реализации и корректировке: Национальных проектов РФ (Цифровая экономика, Наука и университеты, Малое и среднее предпринимательство); документов и проектов (Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, Цифровое сельское хозяйство, Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации на 2016–2025 годы и на перспективу до 2030 года, О развитии сельского хозяйства, Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы), при

интеграции полученных результатов в существующие ФГИС страны в отрасли зернового производства: «Зерно», «Меркурий», «Сатурн».

3.6. Выводы

1. Разработана и апробирована концепция получения прогноза значений экономических показателей (на примере сектора зернового производства). Результаты расчета могут быть использованы при принятии управленческих решений органами государственного управления различных уровней, руководителями агрохолдингов и страховых компаний для регулирования процессов зернового производства. Разработанная методика включает в себя алгоритмы методов нелинейной динамики и генетического алгоритма, отличается от традиционных мономоделей и метода наименьших квадратов аналитичностью, что позволяет выявить качественно новые прогностические характеристики исследуемых риск-факторов, определить топологические и метрические характеристики циклов риск-экстремальных факторов; выявить глубину долговременной (конечной) памяти ВР риск-экстремальных факторов, что является значимым параметром в системе поддержки принятия управленческих решений отдельно взятой сектора экономики.

2. Построение прогнозных моделей для циклических процессов, влияющих на экономические показатели зернового производства с учетом наличия в них риск-экстремальных значений, подтвердили работоспособность принципов разработанной во второй главе платформы многокритериального прогнозирования.

3. Предложена концепция прогнозирования значений экономических показателей на базе алгоритма линейного клеточного автомата, которая получает новые полезные прогнозные характеристики: 1) наличие свойства «долговременной» памяти у ВР; 2) выявление длин циклов и квазициклов в качестве предпрогнозной информации; 3) определение глубины долговременной памяти ВР.

4. Объединение различных методов на базе платформы многокритериального прогнозирования позволяет сформировать кластер локальных прогнозов «первичных» и «вторичных» факторов путем вычисления значения конкордации Кен-

далла, что определяет достоверность применяемой методики прогнозирования. В качестве практической реализации процесса управления в зерновом производстве в условиях риска и неопределенности предложено использовать двухуровневую экономико-математическую модель, каждому уровню которой соответствует конкретная задача: 1) исследование методами нелинейной динамики экономических показателей и влияющих на них риск-экстремальных факторов; 2) разработка сценария в виде дерева решений для лица, принимающего решение. Разработанный инструментарий позволяет зернопроизводителю осуществить выбор управленческого решения для маневрирования материальными ресурсами и выбора времени продаж зерновой продукции в условиях неопределенности и риска, вызванных условиями риск-экстремальных факторов.

5. Оценка экономической эффективности зернового производства макрорегиона – это важный элемент в эффективном управлении зерновым комплексом страны. С практической точки зрения ранжирование макрорегионов Российской Федерации (аналогичные расчеты можно выполнить и для субъектов федерации, и даже для внутрирегиональных территорий, например, муниципальных образований или сельскохозяйственных зон) дает основание для разработки сценарного подхода для развития каждого макрорегиона в долгосрочной перспективе в целях снижения инвестиционного риска. Механизм оценки потенциала экономической эффективности и ресурсообеспеченности зернопроизводящих территорий является важным инструментом для распределения государственной поддержки хозяйствующих субъектов.

Глава 4. Экономико-математические методы прогнозирования временных рядов финансового рынка

4.1. Аналитический инструментарий векторной оценки рисков финансового рынка⁷

Сменилось много поколений людей с того времени, как золото однозначно утвердилось в виде всеобщего эквивалента, выделившись из многообразия других товаров. Золото имеет двойственную природу – товар и средство платежа. Именно это свойство двойственности предопределило функции и роль золота, которые видоизменялись с совершенствованием человеческого общества.

Объем сделок – это показатель, который в концентрированной форме характеризует весь мировой рынок. Рынок драгоценных металлов находится под влиянием соотношения спроса и предложения и эволюционирует по общим законам рынка. Только по золоту количество совершенных сделок в 1996 г. составило более 30 млн тройских унций на сумму более десятка млрд долл. По серебру – более 270 млн тройских унций общей стоимостью около полутора млрд долл.

В России первые поставочные биржевые торги золотом и серебром были запущены на Московской Бирже в октябре 2013 г. Международный финансовый рынок существенно изменил свое состояние под влиянием процессов глобализации мировой экономики, развития торговли, информационных технологий, отмены валютных ограничений во многих странах.

Структура современного финансового рынка России характеризуется как совокупность отдельных элементов рынка и связей между ними: кредитный рынок, валютный рынок, рынок недвижимости; рынок драгоценных металлов, рынок ценных бумаг, фондовый рынок, рынок инвестиций и страховой рынок.

⁷ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Поповой Е.В., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Аналитический инструментарий векторной оценки рисков финансового рынка / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Д. Н. Савинская [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 122. – С. 481-495. – DOI 10.21515/1990-4665-122-035.

Поэлементный состав рынка драгоценных металлов представим следующим перечнем: золото, серебро, платина, палладий; ценные бумаги, котируемые в золоте, рынок изделий из драгоценных металлов.

Для выявления новых качественных предпрогнозных характеристик в главе апробирована авторская исследовательская платформа в получении предпрогнозной информации и построении прогнозных моделей для отдельных элементов финансового рынка.

В представленном разделе предложены результаты исследования ежемесячных данных временных рядов следующих элементов финансового рынка:

- валютный рынок: котировки курса «Доллар/Рубль», «Евро/Рубль»;
- рынок драгоценных металлов: цены за грамм золота, серебра, платины, палладий;
- рынок акций: цены на акции российских финансовых конгломератов «Сбербанк» и «Ростелеком».

С целью выявления оптимальных инвестиционных решений, проведем векторную оценку выбранных элементов финансового рынка. При определяющем показателе финансово-экономической эффективности и значимости, равной максимальной цене $F_1(x) = M^x \rightarrow \max$, определим состав векторно-целевой функции (ВЦФ), которая представляет собой векторную оценку меры риска [160, 246, 249]:

$$F(x) = (V^x, A^x, E^x), \quad (4.1)$$

где $X = \{1, 2, \dots, 8\}$ – отдельные элементы финансового рынка: $i = 1$ – временной ряд значений цен за 1 грамм золота; $i = 2$ – ВР значений цен за 1 грамм серебра; $i = 3$ – ВР значений цен за 1 грамм палладия; $i = 4$ – ВР значений цен за 1 грамм платины; $i = 5$ – ВР значений котировок курса доллар/рубль; $i = 6$ – ВР значений котировок курса евро/рубль; $i = 7$ – ВР значений цен на акции ПАО «Сбербанк»; котировок курса доллар/рубль; $i = 8$ – ВР значений цен на акции ПАО «Ростелеком» за период с 3 сентября 2007 г. по 31 декабря 2023 г. (5 073 точек, выбраны постоянные цены на момент закрытия торгов). Выбор модельной серии временных рядов обоснован простым наличием на сайте www.finam.ru и продемонстри-

рованы результаты исследования для отдельных сегментов финансового рынка: драгоценные металлы, курсы валют, акции.

В таблице 4.1 представлены статистические показатели исходных временных рядов финансового рынка.

Таблица 4.1 – Статистические показатели оценки меры риска для элементов финансового рынка

Элементы финанс. рынка	$D^x(M)$	$D_{3\sigma}^x$	$D_{3\sigma}^x/D^x$ в %	$E^x(M)$	$E_{3\sigma}^x$	$E_{3\sigma}^x/E^x$ в %
Золото	107434,78	0	0 %	2,127	0	0 %
Серебро	34,674	5,777	14,28%	2,334	1,755	43 %
Палладий	436095,178	1872,8	0,42 %	3,012	0,0459	1,6 %
Платина	106832,24	838,075	0,77 %	2,369	0,076	3,1 %
Доллар/Рубль	394,19	9,62	2,4 %	1,701	0,3538	17 %
Евро/Рубль	360,164	8,245	2,2 %	1,816	0,3507	16 %
Сбербанк	6192,014	14,594	0,2 %	2,4205	0,0225	0,92 %
Ростелеком	3271,77	474,73	12,6 %	3,817	1,318	25,6 %

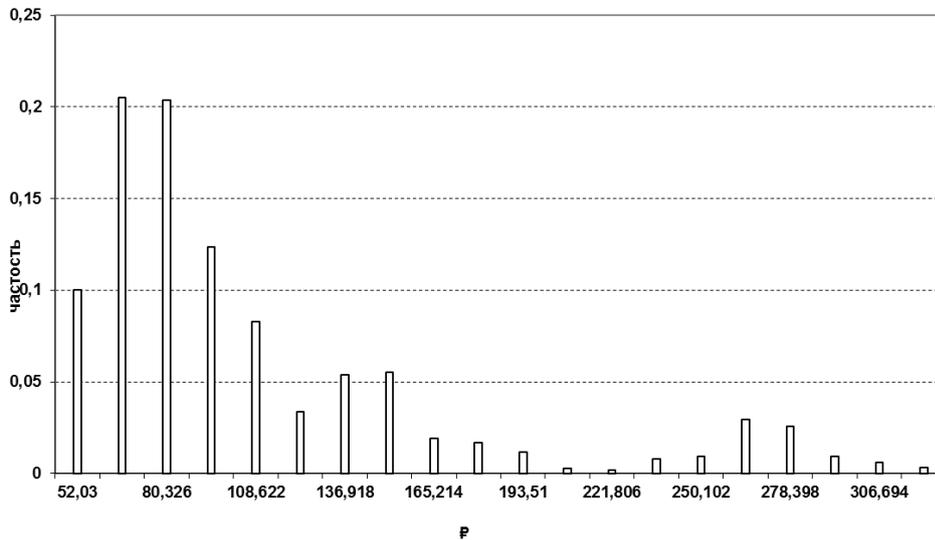
Отдельно определим численное значение вклада в коэффициент эксцесса E^x точек хвоста как $E_{3\sigma}^x$. Критерии V^x, A^x, E^x являются минимизируемыми. Экстремумы для этих критериев зависят от вида эмпирической функции распределения. Анализ рисунка 4.1, а также ряд, вычисленных статистических параметров для представленных графически эмпирических функций распределения позволяют сделать следующие выводы:

- кроме временного ряда цен на золото, все эмпирические функции не подчиняются нормальному закону распределения;
- у временных рядов «Серебро», «Палладий», «Ростелеком» выражен отчетливо правосторонний «тяжелый хвост» [198].

Числовое значение «тяжелого хвоста» отражается соотношением $E_{3\sigma}^x/E^x$ (%), которое указывает вклад в коэффициент эксцесса точек ЭФР находящихся за пределами точек $M \pm 3\sigma$.

Визуализация рисунка 4.1 и наличие положительного значения показателя $E_{3\sigma}^8/E^8$ говорит о неподчинении исследуемого процесса закону Гаусса, а также значения коэффициентов асимметрии A^x и эксцесса E^x , который для рассматри-

ваемых значений ВР принимает соответственно значения $E^1 < 3$, $E^2 > 3$, $E^3 > 3$, $E^4 < 3$, $E^5 < 3$, $E^6 < 3$, $E^7 < 3$, $E^8 > 3$. Отметим, что в случае нормального распределения коэффициент эксцесса принимает значение $E = 3$.



$$\begin{aligned}
 M^8 &= 116,66 \\
 D^8 &= 3746,5 \\
 D^8(M) &= 3271,77 \\
 D_{3\sigma}^8 &= 474,73 \\
 \sigma^8 &= 61,21 \\
 V^8 &= 0,52 \\
 A^8 &= 1,69 \\
 E^8 &= 5,13 \\
 E^8(M) &= 3,81 \\
 E_{3\sigma}^8 &= 1,32 \\
 E_{3\sigma}^8 / E^8 &= 74,3\%
 \end{aligned}$$

Рисунок 4.1 – Эмпирическая функция распределения временного ряда ежемесячных значений цен на акции ПАО «Ростелеком» с 03.09.2007 г. по 31.12.2023 г.

Наличие правосторонних «тяжелых хвостов» подтверждают результаты расчетов статистических показателей, которые представлены в таблице 4.1. Так, столбцы 4 и 7 таблицы 4.1 подтверждают факт наличия правых «тяжелых хвостов» для таких временных рядов как «Серебро», «Палладий», «Ростелеком».

Вышеописанный факт означает, что при оценке поведения финансового рынка необходимо использовать иное толкование коэффициента эксцесса, отличное от классического, а именно степень «вытянутости вверх» или «приплюснутость вширь». В качестве примера, на рисунке 4.1 представлена в виде гистограммы эмпирическая функция распределения ежедневных данных временного ряда цен на акции ПАО «Ростелеком».

На рисунке 4.2 представлено процентное соотношение $E_{3\sigma}/E(M)$ ежедневных данных временных рядов курса «Доллар/Рубль», акций ПАО «Ростелеком» и цен на палладий за период с сентября 2007 г. по декабрь 2023 г.

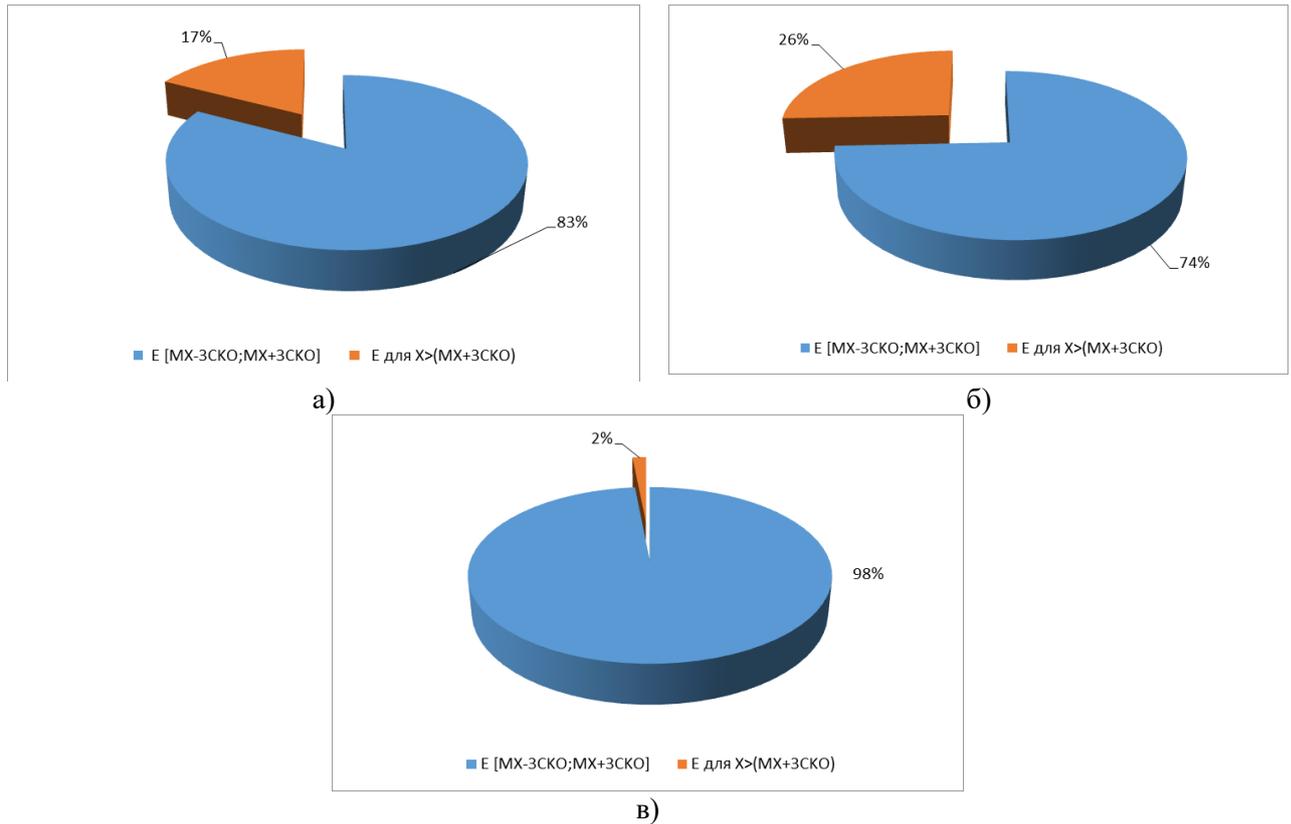


Рисунок 4.2 – Пропорции веса «хвоста» к весу «головы» ежедневных данных:
 а) ВР курса доллар/рубль, б) ВР цен на акции ПАО «Ростелеком», в) ВР цен на палладий

Примечание. Критерий, представленный коэффициентом эксцесса, является минимизируемым [247]:

$$E(X) = \sum_{i=1}^L \left(\frac{D_i(x) - D(x)}{\sigma(x)} \right)^4 \cdot P_i \rightarrow \min.$$

С учетом того, что не все ЭФР исследуемых финансово-экономических процессов не подчиняются закону Гаусса и примечания, определим состав критериев ВЦФ (4.2):

$$V^x \rightarrow \min, E^x \rightarrow \min, A^x \rightarrow \min \quad (4.2)$$

Суть представленного состава ВЦФ состоит в том, что, ранжируя рассматриваемые ВР финансового рынка, с примерно одинаковыми значениями критерия ожидаемых цен и котировок, необходимо минимизировать риск превышения пороговых значений цен на драгоценные металлы и курсов валют вкладом «правых тяжелых хвостов» [171].

Отметим, коэффициент асимметрии определяет степень несимметричности эмпирической функции распределения. При $A > 0$ имеем смещение ЭФР в сторо-

ну положительных значений, при $A < 0$ – смещение графика ЭФР в сторону отрицательных значений.

В таблице 4.2 представлены значения статистических показателей, которые выбраны в качестве переменных векторно-целевой функции.

Таблица 4.2 – Числовые значения критериев векторно-целевой функции

Номер	Элементы финансового рынка	V^x	A^x	E^x
1	Золото	0,233	0,098	2,127
2	Серебро	0,308	1,13	4,09
3	Палладий	0,634	1,0446	3,0579
4	Платина	0,272	0,699	2,445
5	Доллар/Рубль	0,392	0,238	2,055
6	Евро/Рубль	0,309	0,26	2,167
7	Сбербанк	0,549	0,68	2,443
8	Ростелеком	0,5246	1,695	5,135

Рассмотрим результаты, представленные в таблице 4.2. Значения критериев ВЦФ временного ряда «Ростелеком» выступают доминирующими, при попарном сравнении с остальными элементами выборки. Представляет интерес рассмотреть кортежи, входящие в паретовское множество альтернатив [247], значения которых будут векторно-несравнимыми, например, ВР «Сбербанк» и «Платина»: $V^7 > V^4, A^7 < A^4, E^7 < E^4$.

В результате реализации обобщенного решающего правила или прямых методов поддержки принятия решений [247] имеем последовательность по возрастанию степени риска: Ростелеком, золото, доллар/рубль, евро/рубль, платина, Сбербанк, палладий, серебро.

Проблемы нахождения оптимального решения на практике и в задачах вида «риск-доход» существовали всегда. Причем, события последнего времени, и мировой экономической кризис способствовали возникновению целого ряда причин, способствующих обострению этих проблем: 1) сокращается время принятия решений в условиях неопределенности; 2) многообразие инструментальных средств значительно увеличивает количество вариантов управленческих решений; 3) увеличение уровня сложности каждого решения из МДР; 4) наличие зависимости

между различными вариантами управленческих решений и их последствий; 5) увеличение уровня требований к принимаемым управленческим решениям [198, 213, 245, 246].

В связи с вышесказанным, процесс принятия решений в условиях неопределенности зависит не только от используемых инструментальных средств визуализации, анализа оценки рисков, но также и от существующих проблем альтернативных вариантов.

Согласно источнику [76], оценка риска осуществляется на базе альтернативы «риск-доходность». Существует ли линейная зависимость при связке параметров: рискованные инвестиции – высокий доход? Применение векторно-целевой функции обеспечит оптимальный выбор объекта x из множества допустимых решений (МДР) X .

Результатом применения прямых методов поддержки принятия решений [247] является следующая последовательность индексов для отдельных элементов финансового рынка по степени убывания значений степени рискованных показателей: 8, 1, 5, 6, 4, 7, 3, 2. Более стабильным, с низкой степенью «рисковости» обладает рынок драгоценных металлов. Динамика сбережений населения страны говорит о том, что число трейдеров на валютном рынке значительно превышает количество инвесторов на рынке драгоценных металлов, несмотря на высокую волатильность валютного рынка. Представленную векторно-целевую функцию (4.1) можно использовать лицу, принимающему решение⁸ как инструмент в контексте повышения инвестиционного потенциала и снижения уровня финансово-экономического риска.

Предлагаемые экономико-математические методы и инструментальные средства могут быть включены в арсенал конструкторов для трейдеров, ЛПР в сфере банковских систем, маркетплейсов, а также для разработки проблемно-ориентированных СППР [187].

⁸ Представленные выше средства не являются «панацеей от всех бед». Принятие решений на 50 % является искусством использования интуиции и опыта. Верно то, что с помощью методов теории принятия решений можно значительно улучшить качество принимаемых решений. Однако для ЛПР возникает сложный вопрос о полноте этого набора решений.

4.2. Метод фазового анализа в исследовании динамики элементов финансового рынка⁹

На рисунках 4.3 и 4.4 представлена графическая визуализация исследуемых временных рядов цен на палладий и серебра за период с 1.09.2007 г. по 31.12.2023 г., мощность выборки составила $|N_1| = |N_2| = 196$, обозначенных соответственно:

$$P = \langle p_i \rangle, i = \overline{1, n}, \quad (4.3)$$

$$S = \langle s_i \rangle, i = \overline{1, n}. \quad (4.4)$$

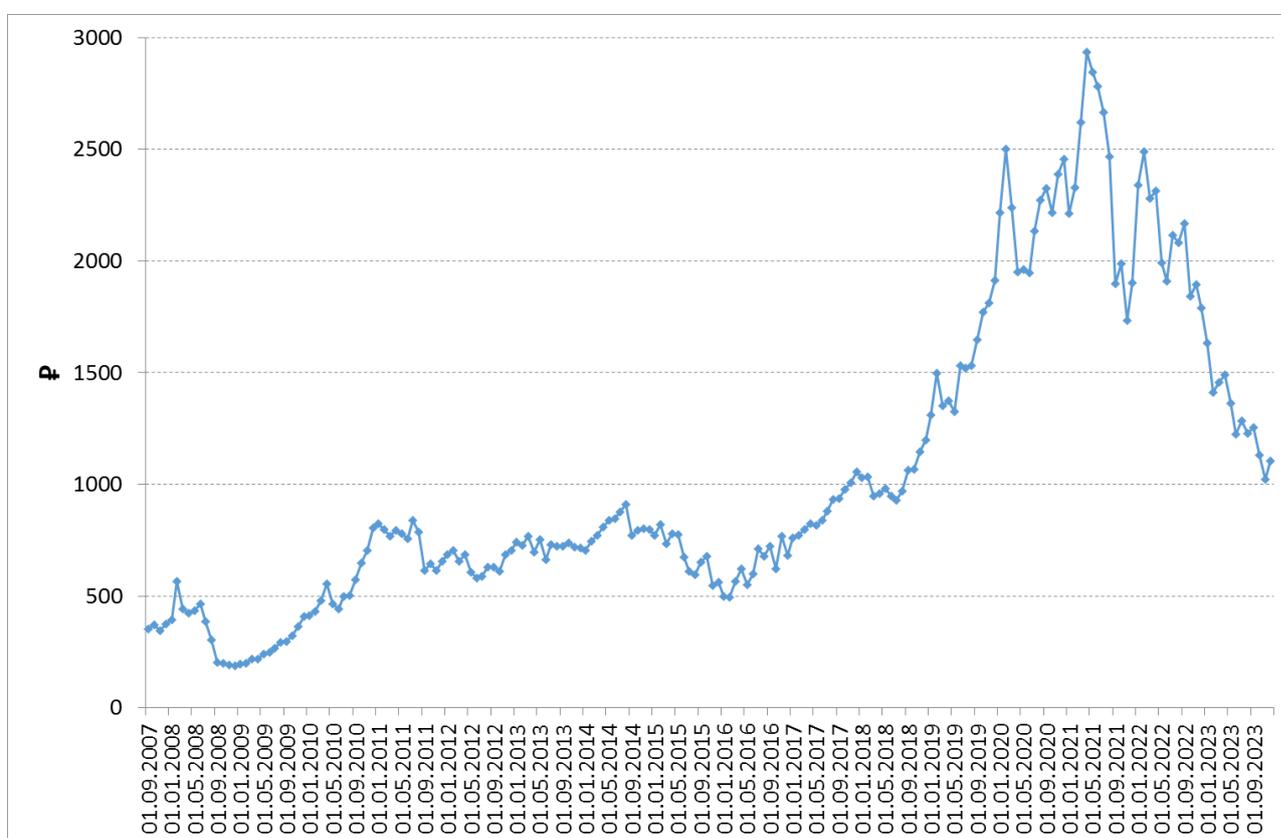


Рисунок 4.3 – Графическое представление ежемесячных значений финансово-экономического процесса – цены на палладий за период с 1.09.2007 г. по 31.12.2023 г.

Представляет научный и практический интерес выявить критические события [324] для исследуемых финансово-экономических ВР P и S . Касаясь вопросов

⁹ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Поповой Е.В., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Предпрогнозный фазовый анализ эволюционного развития элементов финансового рынка / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, И. С. Мусатов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 128. – С. 772-785.

визуализации динамики ежемесячных значений временного ряда цен на палладий, можно отметить, что выделяются два периода:

- I подпериод с 1.09.2007 г. по 31.03.2021 г.;
- II подпериод с 1.04.2021 г. по 31.03.2021 г.

Первый подпериод характеризуется наличием возрастающего тренда [314], для второго подпериода – убывающий.

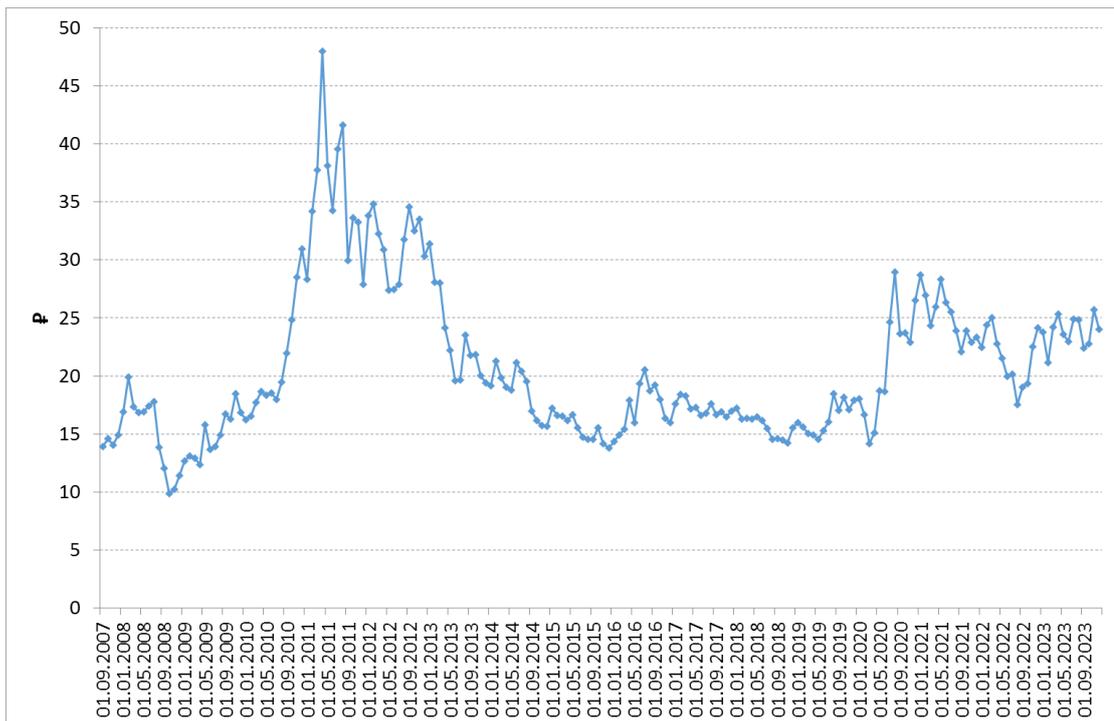


Рисунок 4.4 – Графическое представление ежемесячных значений финансово-экономического процесса – цены на серебро за период с 1.09.2007 г. по 31.12.2023 г.

Относительно визуализации процесса временного ряда цен на серебро, можно отметить наличие нескольких циклов в виде реверса «подъем-спад».

Неподчинение закону Гаусса отдельных элементов финансового рынка, говорит о неприменимости или невозможности построении адекватных прогнозных моделей на базе методов классической статистики. Эта неадекватность относится, прежде всего, к прогнозированию выбросов («джокеров»), которые характеризуются наличием таких приращений $\Delta p_n = p_{n-1} - p_n$ и $\Delta s_n = s_{n-1} - s_n$, с которых в определенные моменты начинают свое развитие такие критические явления финансовых крахов [324], как «пузыри» (в случае большого количества положитель-

ных приращений) и «*просадки*» (в случае большого количества отрицательных приращений).

В таблице 4.3 представлены значения положительных и отрицательных флуктуаций для определения вида краха.

Согласно определениям видов краха [324] и представленных расчетов в таблице 4.3 можно соотнести временной ряд значений цен на палладий к «*просадкам*», а временные ряды значений цен на акции «Ростелеком» и на цены за грамм серебра к временным рядам с «*пузырями*» (имеет максимальное значение положительных приращений, равное 99 шт.).

Таблица 4.3 – Количество значений приращений ВР элементов финансового рынка

Элементы финансового рынка	Количество отрицательных приращений	Количество положительных приращений
<i>евро/рубль</i>	98	97
<i>доллар/рубль</i>	104	91
<i>золото</i>	100	95
<i>серебро</i>	96	99
<i>палладий</i>	117	78
<i>платина</i>	102	93
<i>Сбербанк</i>	110	84
<i>Ростелеком</i>	95	99

На практике перед исследователем часто возникает проблема разработки конструктивного метода построения прогнозных моделей и предпрогнозного анализа волатильных временных рядов, в том числе на базе апробации методов нелинейной динамики, квазигенетических алгоритмов, машинного обучения, нейронных сетей и др. [188]. Целью апробации фазового анализа является построение аттрактора и выделение из него отдельных циклов и квазициклов [208, 313, 447].

Описание терминов и определений, характеризующих критические события с наличием риск-экстремальных событий представлено в источнике [324]. Предпосылками наступления критических событий: *просадки*, *пузыри*, *дефолты* (*джокеры*, *риск-экстремумы*), *крахи* и пр. являются такие состояния финансово-экономической системы, при которой она переходит в неустойчивую фазу и при

этом даже незначительное возмущение внешних факторов выводят ее из состояния равновесия, нарушая самоорганизацию системы.

Считается, что наличие и частота «просадков» характеризует исследуемый временной ряд, как процесс, более подверженным наступлению краха. Просадка выражается постепенным снижением значений исследуемого процесса $j, j + 1, \dots, j + k$, где $k \geq 1$. Суммарная потеря значений планомерного убывания от max до min (в %) характеризует объем просадки. Наличие просадков говорит о неблагоприятном сценарии исследуемого процесса. Представляет научный и практический интерес определить наличие просадков в исследуемых элементах финансового рынка [324].

Для временного ряда цен на серебро (рисунок 4.4) наблюдается снижение значений до 01.01.2013 г. (6 точек от даты 01.07.2013 г.), тем самым, можно говорить о наличии краха в этот период.

Например, для исследуемого процесса – временного ряда цен на палладий, можно отметить наличие просадки в период с 01.05.2021 г. по 01.09.2021 г. (рисунок 4.3).

Наличие и частота просадков дает исследователю количественную характеристику исследуемого процесса. Для получения качественных характеристик временного ряда привлекают арсенал методов нелинейной динамики, например, фазовый анализ. Он позволяет выявить закономерности исследуемого процесса, которые приводят к критическим событиям.

Проведем апробацию алгоритма фазового анализа на примере временного ряда значений цен на серебро (4.4). Рассмотрим последовательность его фрагментов: $s_i, s_{i+1}, \dots, s_{i+M-1}$, где $i = \overline{1, n - M + 1}$, называемых M -историями [208]. Величина M – это размерность фазовой траектории (портрета). Сам портрет представляет собой множество:

$$F_M(S) = \{(s_i, s_{i+1}, \dots, s_{i+M-1})\}, \text{ где } i = \overline{1, n - M + 1}. \quad (4.5)$$

В представленном параграфе приведены расчеты для фазового портрета, величина размерности которого равна $M = 2$:

$$F_2(S) = \{(s_i, s_{i+1})\}, i = \overline{1, n-1} \quad (4.6)$$

Графическая реализация фазового портрета (4.6) исследуемого ВР цен на серебро представлена на рисунке 4.5.

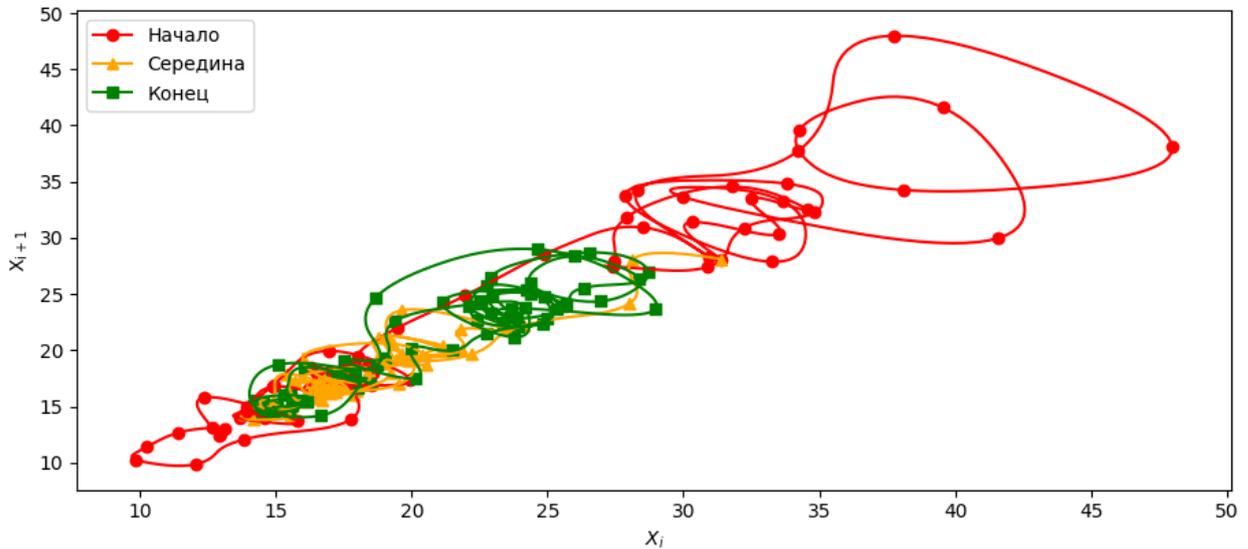


Рисунок 4.5 – Двумерный фазовый портрет ежемесячных значений финансово-экономического процесса – цены на серебро за период с 1.09.2007 г. по 31.12.2023 г.

Значения временного ряда «Серебро» поделены на три части и окрашены соответственно в красный, желтый и зеленый цвет, относящиеся к началу, середине и к концу ряда соответственно (рисунок 4.5). Можно выделить три аттрактора по цветам. Эволюция аттракторов такова: фазовая траектория начинает движение в диапазоне I-го аттрактора (28; 48), затем перемещается в зону II-го аттрактора, диапазон (14; 23), далее смещается в зону III-го аттрактора, диапазон (21; 30). Можно заметить, что II-ой аттрактор является самым «плотным», его составляют данные, относящиеся ко всем трем частям подпериодов исходного временного ряда (в нем перемешаны все три цвета).

Сам фазовый портрет (траектория) состоит из квазициклов. Представляет научный интерес исследовать поведение и вращение соседних звеньев (z_i, z_{i+1}) , (z_{i+1}, z_{i+2}) для его фрагмента, называемого квазициклом. Отдельно отметим, что квазициклом называют последовательность точек фазовой траектории (4.3), для которой характерно понятие «цикла». Отличительной особенностью этих двух понятий является то, что начальная не всегда сходится с конечной точкой, а мо-

жет находиться в ее окрестности. Типичные квазициклы для исследуемого процесса – временного ряда цен на серебро представлены на рисунке 4.6. Обозначим через K_r^1 , их длину (число точек) – соответственно через n_r^1 , где индексы пронумерованы $r=1,2,\dots,32$. Длины построенных квазициклов получили следующие значения:

$$n_7^1 = n_9^1 = n_{11}^1 = n_{12}^1 = n_{14}^1 = n_{17}^1 = n_{18}^1 = n_{19}^1 = n_{20}^1 = n_{24}^1 = n_{26}^1 = n_{28}^1 = 6;$$

$$n_{13}^1 = n_{16}^1 = n_{22}^1 = n_{23}^1 = n_{29}^1 = n_{30}^1 = n_{31}^1 = 5;$$

$$n_3^1 = n_5^1 = n_8^1 = n_{25}^1 = n_{32}^1 = 4;$$

$$n_4^1 = n_6^1 = n_{27}^1 = 7;$$

$$n_1^1 = n_{15}^1 = 8;$$

$$n_2^1 = n_{10}^1 = 10;$$

$$n_{21}^1 = 11;$$

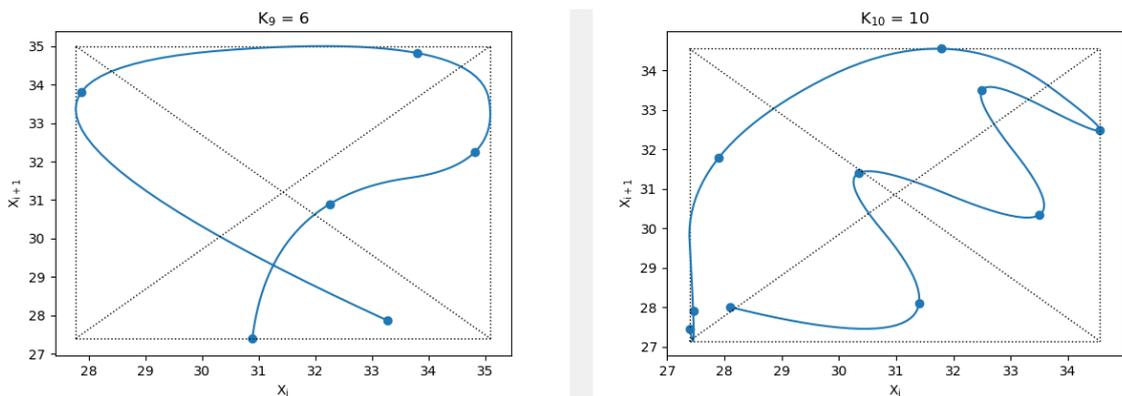


Рисунок 4.6 – Типичные квазициклы временного ряда цен на серебро $F_2(S)$ на квазициклы K_r^1 , $r=\overline{1,32}$.

Частота длин квазициклов временного ряда цен на серебро представлена на рисунке 4.7.

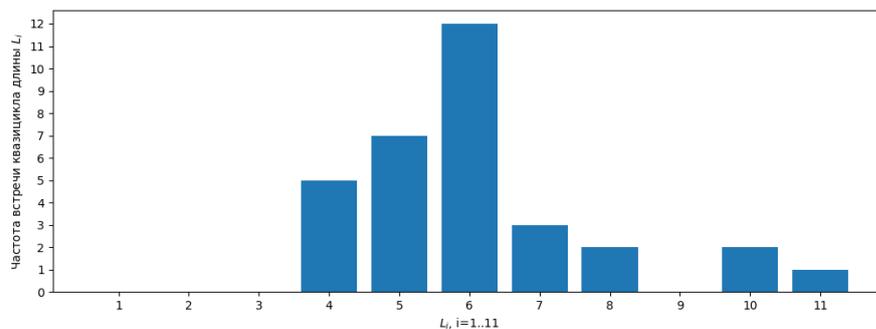


Рисунок 4.7 – Динамика длин квазициклов с соответствующими частотами для временного ряда ежемесячных значений цен на серебро

Для проведения сравнительного анализа полученной предпрогнозной информации исследуемых процессов, на рисунке 4.8 представлена фазовая траектория $F_2(P)$ – временного ряда цен на палладий.

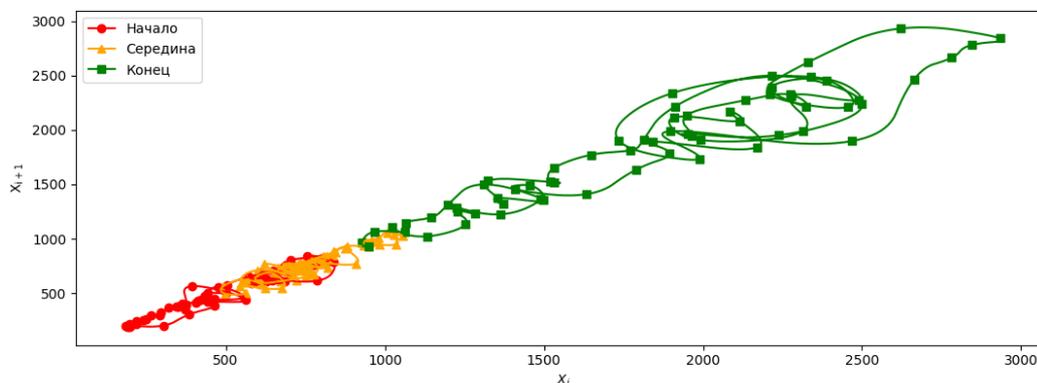


Рисунок 4.8 – Двумерный фазовый портрет ежемесячных значений финансово-экономического процесса – цены на палладий за период с 1.09.2007 г. по 31.12.2023 г.

Исходя из визуализации фазовой траектории (рисунок 4.8) можно отметить, что данные третьего подпериода практически не перемешаны с другими, что подтверждает отсутствие высоких значений в I-ом и II-ом подпериодах. Типичные квазициклы $K_r^2, r = \overline{1,27}$ для исследуемого процесса – временного ряда цен на палладий представлены на рисунке 4.9.

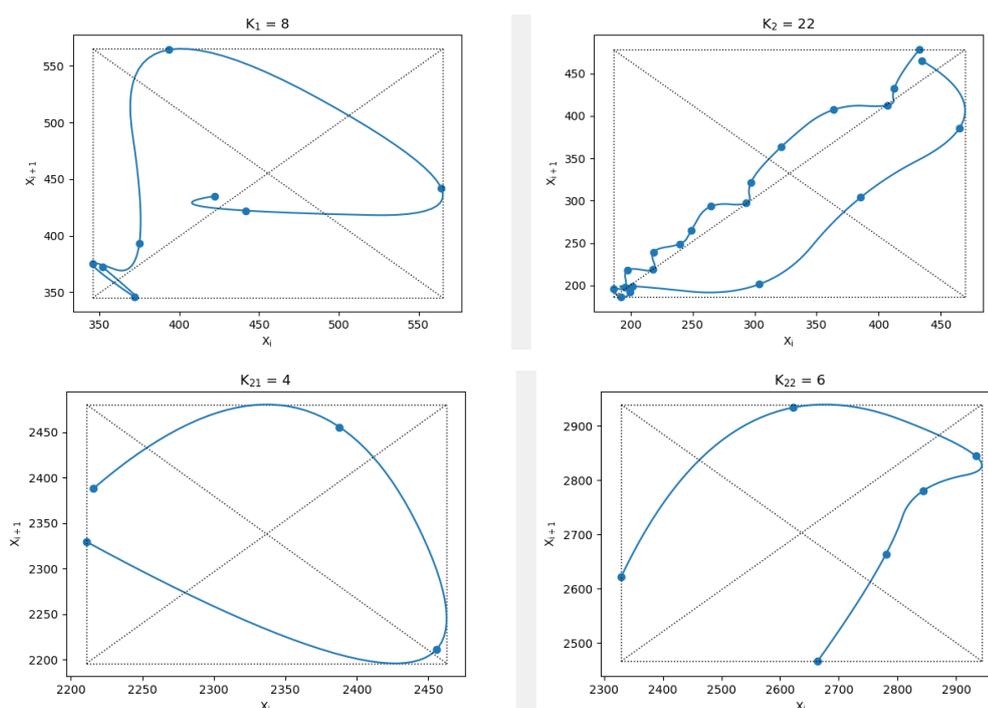


Рисунок 4.9 – Типичные квазициклы временного ряда цен на палладий для фазового портрета $F_2(P)$ на квазициклы $K_r^2, r = \overline{1,27}$

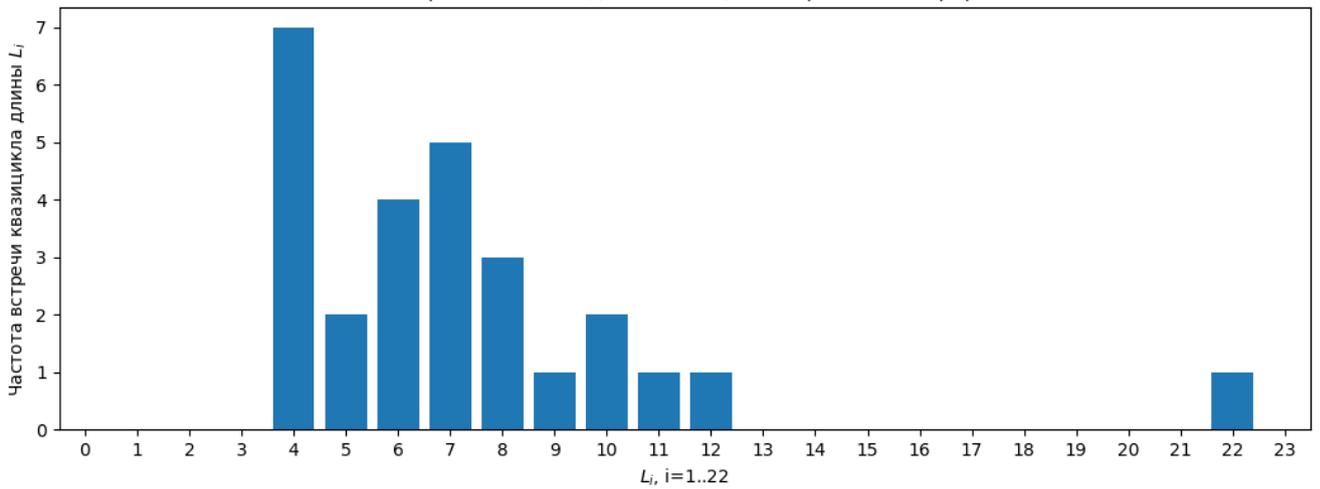


Рисунок 4.10 – Динамика длин квазициклов с соответствующими частотами для временного ряда ежемесячных значений цен на палладий

Согласно визуализации рисунков 4.6 и 4.9 – результаты построения квазициклов исследуемых процессов, можно сказать, что значительная часть узлов вращается по часовой стрелке, лишь незначительное количество узлов (звеньев) имеют противоположное направление.

Частота и наличие квазициклов, длина которых $l \geq 5$, характеризуют исследуемые процессы, как временные ряды, обладающих долговременной памятью. Исходя из проведенного исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Диапазон длин квазициклов для всех рассматриваемых элементов финансового рынка $l: l \in \{3, 4, \dots, 24\}$, причем основная часть длин квазициклов находится в первой половине этого множества значений.
2. Для отдельных элементов финансового рынка – временные ряды значений котировок евро/рубль, доллар/рубль, а также значений цен на палладий и цен на акции ПАО «Сбербанк» являются более структурированными с точки зрения надежности прогноза.

Исходя из предпрогнозной информации, полученной на базе апробации фазового анализа, вытекает основание ожидать значительной степени надежности построения прогнозных моделей на базе квазигенетического алгоритма [176] для исследуемых процессов – отдельных элементов финансового рынка.

Апробация авторской исследовательской платформы (таблица 4.4) позволяет сделать следующий вывод: предпосылки для надежного среднесрочного про-

гнозирования имеются в значительной степени у тех исследуемых процессов, глубина памяти l_{LCA} которых совпадает с длиной квазицикла с наибольшей частотой. Утверждения 2.1–2.3 выполняются в полной мере.

Таблица 4.4 – Результаты расчет квазигенетического алгоритма и фазового анализа в исследовании отдельных элементов финансового рынка

Элементы финансового рынка	Глубина памяти ЛКА (l)	Ошибка прогноза ЛКА (в %)	Прогноз ЛКА, руб. (терм)	Диапазон длин квазициклов (ФА)	Длина квазицикла с наибольшей частотой (частота, шт.)
<i>евро/рубль</i>	8	8,2 %	89,33 (С)	4-13	4 (9); 6 (5)
<i>доллар/рубль</i>	7	9 %	89,66 (В)	4-16	4 (11); 5 (5)
<i>золото</i>	7	4,5 %	1880,08 (В)	4-13	4, 5 (9); 6, 7 (4)
<i>серебро</i>	7	7,8 %	23,25 (В)	4-11	6 (12); 5 (7)
<i>палладий</i>	7	10,5 %	1306,04 (Н)	4-22	4 (7); 7 (5)
<i>платина</i>	7	5,6 %	970,73 (С)	4-24	4, 5, 6 (7); 7 (5)
<i>Ростелеком</i>	7	8,7 %	72,74 (С)	4-11	6 (8); 4 (7)
<i>Сбербанк</i>	7	11,9 %	254,44 (В)	4-14	5 (10)

Глубина памяти $l_{LCA} \in (7; 8)$ означает наличие корреляционной зависимости до 8 соседствующего элемента в исследуемом процессе, что позволяет говорить о построении среднесрочного прогноза для таких волатильных процессов $V^x \in (23 \%; 63 \%)$, как элементы финансового рынка.

4.3. Среднесрочное прогнозирование элементов финансового рынка на базе алгоритма линейного клеточного автомата и методов машинного обучения¹⁰

К ранее выбранным элементам финансового рынка применим векторно-целевую функцию, состав которой определим из следующих статистических параметров: $M(X)$ – матожидание; $D(X)$ – величина дисперсии; σ – СКО; V – значения коэффициента вариации; A – значение коэффициента асимметрии; E – значение коэффициент эксцесса.

¹⁰ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Поповой Е.В., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Прогнозирование эволюционного развития финансового рынка на базе программного инструментария линейного клеточного автомата / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, В. В. Романович, И. Д. Оглы // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 121. – С. 568-580. – DOI 10.21515/1990-4665-121-027.

Результаты расчетов вычисленных статистических показателей для отдельных элементов финансового рынка представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Статистические показатели и предпрогнозные характеристики элементов финансового рынка

Наим. ВР Стат. показатели	евро/ рубль	доллар/ рубль	золото	се- ребро	палла- дий	плати- на	Росте- леком	Сбер- банк
M	62,05	51,25	1405,12	20,64	1043,39	1204,09	116,66	143,49
D	368,41	403,81	107434,7	40,45	437968	107670	3746,5	6206,609
σ	19,19	20,095	327,7	6,36	661,79	328,13	61,208	78,78
V	0,309	0,392	0,233	0,308	0,634	0,272	0,524	0,549
A	0,26	0,238	0,098	1,13	1,044	0,699	1,695	0,68
E	2,167	2,054	2,127	4,0906	3,057	2,445	5,135	2,443
$E(M)$	1,816	1,701	2,127	2,334	3,012	2,369	3,817	2,42
$E_{3\sigma}$	0,35	0,353	0	1,755	0,046	0,076	1,318	0,0225
$E_{3\sigma}/E$ (в %)	16	17	0	43	1,6	3,1	25,6	0,92
Глубина памяти ЛКА (l)	8	7	7	8	7	7	7	7
Ошибка прогноза ЛКА (в %)	8,2	9	4,5	10,3	10,5	17,4	8,7	11,9

Исходя из результатов таблицы 4.5 и построенных эмпирических функций распределения в параграфе 4.1, можно сделать выводы:

- 1) не все ЭФР исследуемых финансово-экономических процессов подчиняются закону Гаусса;
- 2) для некоторых ЭФР характерно наличие ярко выраженных правосторонних «тяжелых хвостов» [160, 198]. Величина последних выражается соотношением $E_{3\sigma}^x/E^x$ (%), т. е. зависит от значения коэффициента эксцесса тех точек ЭФР, которые находятся за пределами окрестности $M \pm 3 \cdot \sigma$, где $E_{3\sigma}^x$ – численное значение в коэффициент эксцесса E^x точек хвоста.

Представленные выводы обуславливают неприменимость методов классической статистики к построению прогнозных моделей для отдельно выбранных элементов финансового рынка. В связи с вышесказанным, применим аппарат квазигенетического алгоритма линейного клеточного автомата.

Далее представлена демонстрация авторской разработки «Линейный клеточный автомат» [171, 308] на базе программной платформы Python 2.7.

В программу заложены рутинные расчеты алгоритма ЛКА: от преобразования числовых значений процесса в термы до представления прогнозной модели и исходных данных на одном графике.

При проведении процедуры валидации модели, наименьшая ошибка верификации прогнозной модели зафиксирована у финансово-экономического процесса – временного ряда ежемесячных значений цен за 1 грамм золота. Ошибка прогноза, процедуры верификации прогнозной модели временного ряда цен на золото равна 4,5 %.

В представленном параграфе более подробно остановимся на расчетах алгоритма линейного клеточного автомата на примере временного ряда ежемесячных значений цен на платину за период с 01.03.2018 г. по 01.12.2023 г.:

$$P: p_i, i = \overline{1, n}, \quad (4.7)$$

которые перенумерованы индексом i , где $n = 12.2023 - 03.2018 = 70$ (шт.); p_i – цены на платину (руб.) на товарном рынке в i -ом месяце. На рисунке 4.11 представлена графическая визуализация временного ряда (4.7) значений цен на платину на товарном рынке России.

Используем интервальные значения для раскраски исходного временного ряда в классическом представлении трехцветной модели. Преобразование числового ряда в лингвистический (ЛВР) происходит следующим образом:

- определяют количество интервалов для раскраски ВР, т. е. количество цветов (термов) прогнозной модели [100], например $s = 3$, терм-множество обозначим через $\overline{U} = \{u\} = \{\text{красный, желтый, зеленый}\}$;

- каждый элемент ряда должен принадлежать только одному из соответствующих интервалов $\forall p_i \in \{\text{красный, желтый, зеленый}\}, i = \overline{1, n}$, где каждому интервалу значений (низкие, средние, высокие) присвоен соответствующий цвет раскраски.

Введем обозначения: $u = H$ – низкое значение цены на платину, $u = C$ – средняя цена, $u = B$ – высокая цена за 1 грамм платины. Заменяя элементы p_i ря-

да (4.7) соответствующими элементами из терм-множества \bar{U} , получаем лингвистический временной ряд (ЛВР):

$$\bar{U}: u_i, i = \overline{1, n}. \quad (4.8)$$

Определим понятия нижней, средней и верхней огибающих ломаных (НОЛ, СОЛ и ВОЛ). Первый шаг алгоритма линейного клеточного автомата состоит в выборе точек низких и высоких значений (на рисунке 4.11 представлены нижняя и верхняя ломаные).

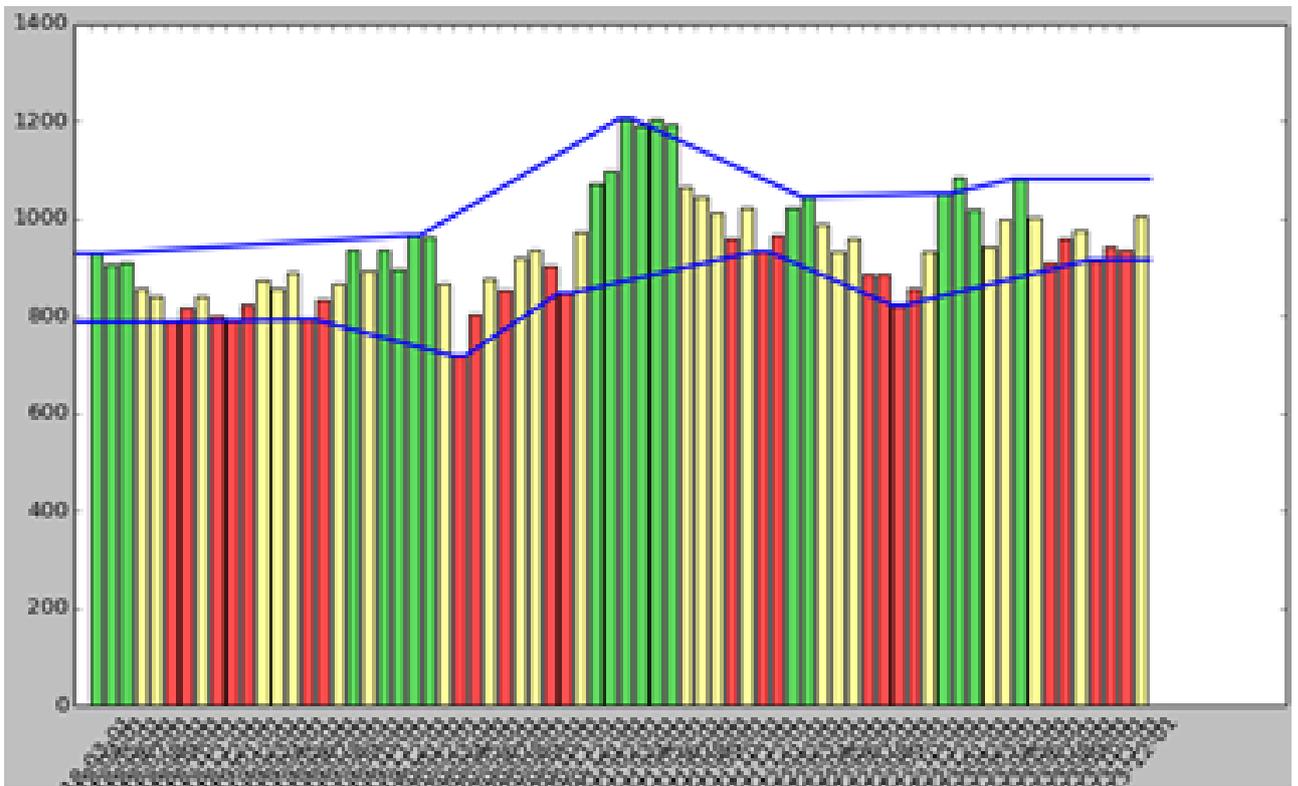


Рисунок 4.11 – Графическая визуализация лингвистического временного ряда цен на платину после I и II второго этапа)

Для первого варианта раскраски выберем расклад, в котором точками минимума выбраны узлы под номерами: 6, 15, 25, 32, 45, 54, 67; точками максимума выбраны: 1, 22, 36, 48, 57, 62.

Второй шаг алгоритма ЛКА состоит в том, чтобы определить принадлежность каждого узла исследуемого временного ряда к одному из интервалов (для трехцветной раскраски имеем соответственно три коридора). Границы НОЛ и ВОЛ делятся на количество интервалов, при этом они варьируются в зависимости

от расположения ранее выбранных низких и высоких точек ВР. Одной из особенностей алгоритма ЛКА является то, что для «исторических» данных может возникнуть ситуация, при которой значения высоких точек начала исследуемого процесса могут быть в диапазоне низких для конца ВР. Например, исследуя ВР значений урожайности зерновых культур за 100 лет, можно отметить, что условная величина в 25 ц/га считалась высокой в довоенный период, а для настоящего времени – считается низкой. Коридор, получаемый при делении на три части диапазона между НОЛ и ВОЛ называют средней огибающей ломаной.

Каждый элемент исследуемого процесса p_i (4.4) должен быть окрашен согласно следующей процедуре:

- красным цветом, если элемент ряда принадлежит коридору между НОЛ и нижней границей СОЛ, обозначаем термом H ;
- желтым цветом, если элемент ряда находится в диапазоне СОЛ, обозначаем термом C ;
- зеленым цветом, если элемент ряда принадлежит диапазону значений от верхней границы СОЛ и ВОЛ, обозначаем термом B .

Для временного ряда (4.5) в результате применения к нему алгоритма, получен конкретный ЛВР, который представлен таблицей Ж.1 (Приложение Ж) и отражает значения цен на платину [34].

Подробное описание расчетов алгоритма линейного клеточного автомата представлено в Приложении Ж.

Важным *отличием* программы является возможность выбора и редактирования минимальных и максимальных точек для построения ломаных [168] из МДР. Все рутинные операции расчета квазигенетического алгоритма автоматизированы и предусмотрен импорт входных данных, экспорт результатов верификации, валидации и дефазификации в MS Excel (Приложение Ж).

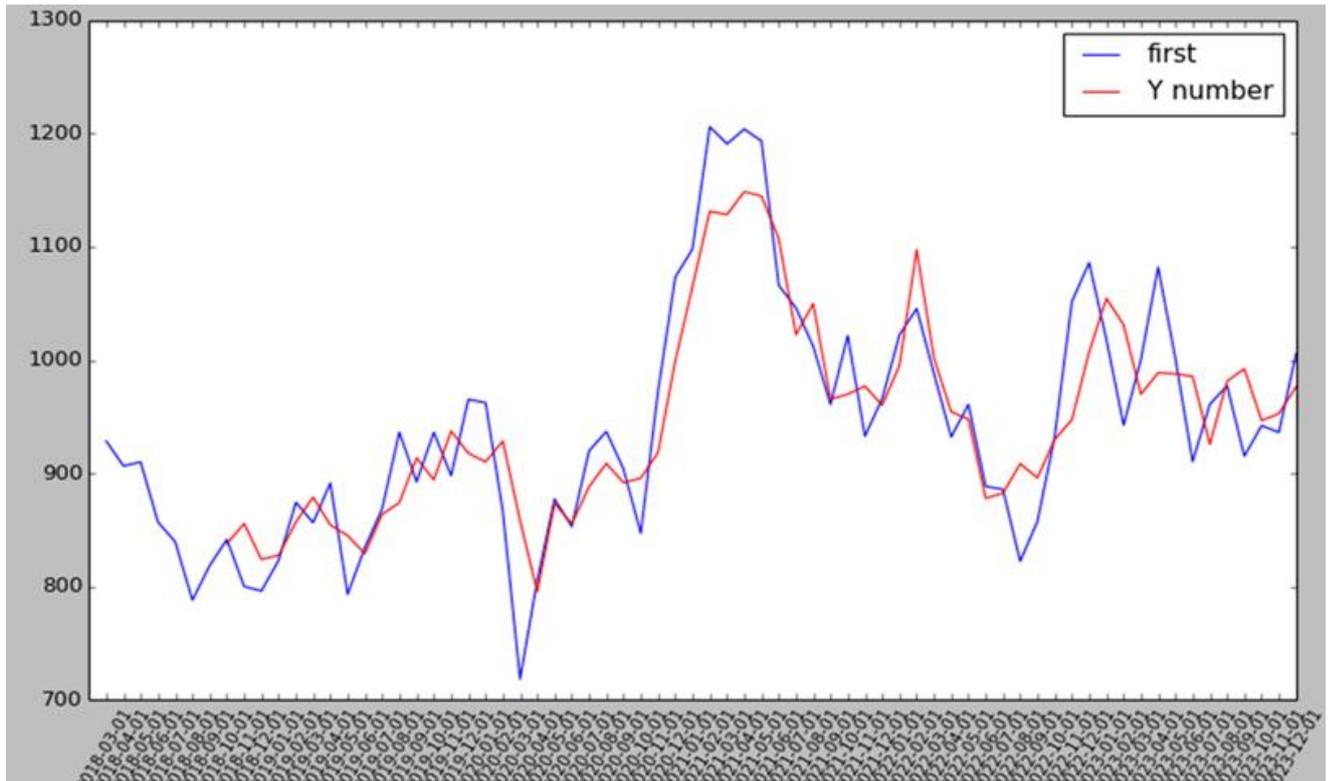


Рисунок 4.12 – Результирующий график I варианта раскраски после процедуры дефаззификации (красный цвет) и входной информации (синий цвет)

В целях *самообучения* алгоритма линейного клеточного автомата, предусмотрена возможность редактирования номеров точек исследуемого временного ряда (точки ломаных) в целях достижения наименьшей ошибки прогноза при проведении процедуры верификации. На рисунке 4.13 представлен второй вариант раскраски ВР цен на платину, где точки минимумов и максимумов представлены на верхней панели экранной формы. На рисунке 4.14 представлен результат верификации прогнозной модели временного ряда цен на платину (второй вариант).

Результирующий график после процедуры дефаззификации ЛКА с исходными данными представлен на рисунке 4.12 (по оси ординат представлены значения цен на платину (руб.), по оси абсцисс – соответствующие даты).

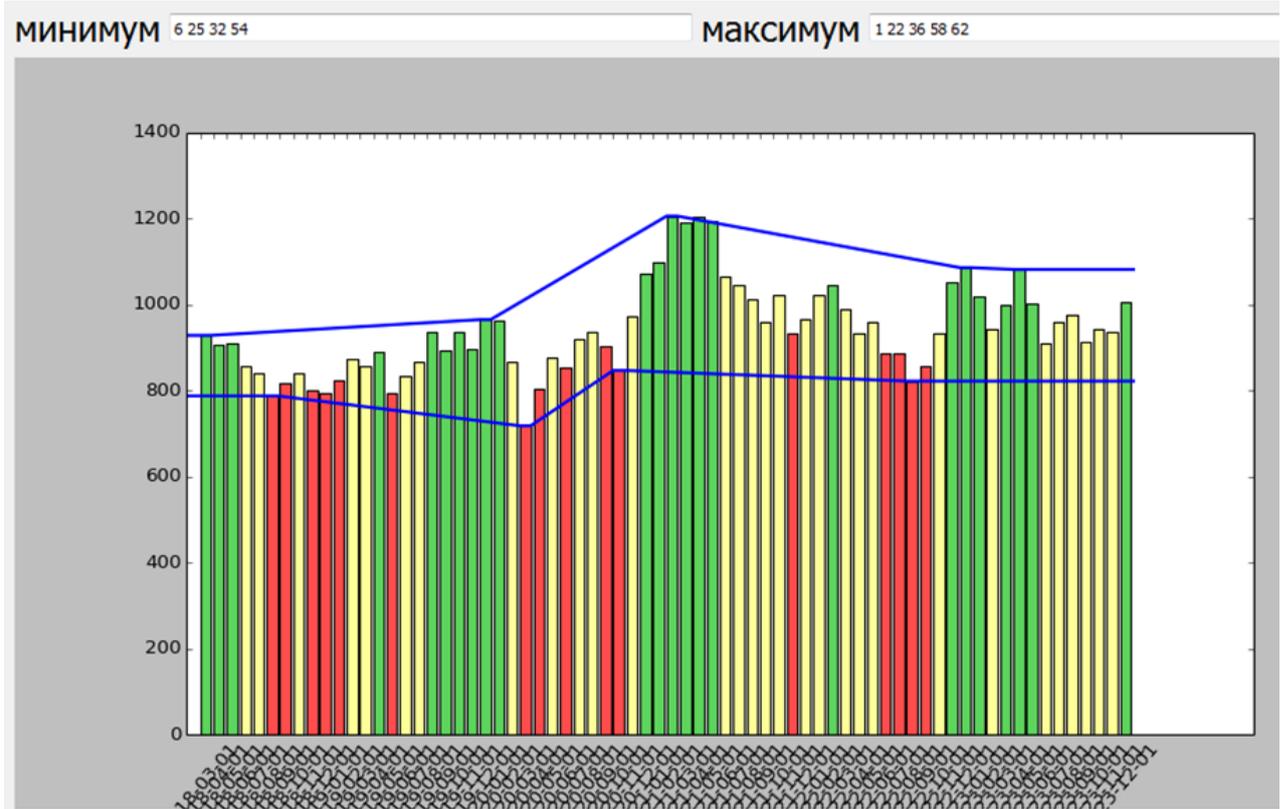


Рисунок 4.13 – Гистограмма второго варианта раскраски временного ряда значений цен на платину за период с 01.03.18 г. по 01.12.2023 г. (после I и II второго этапа)

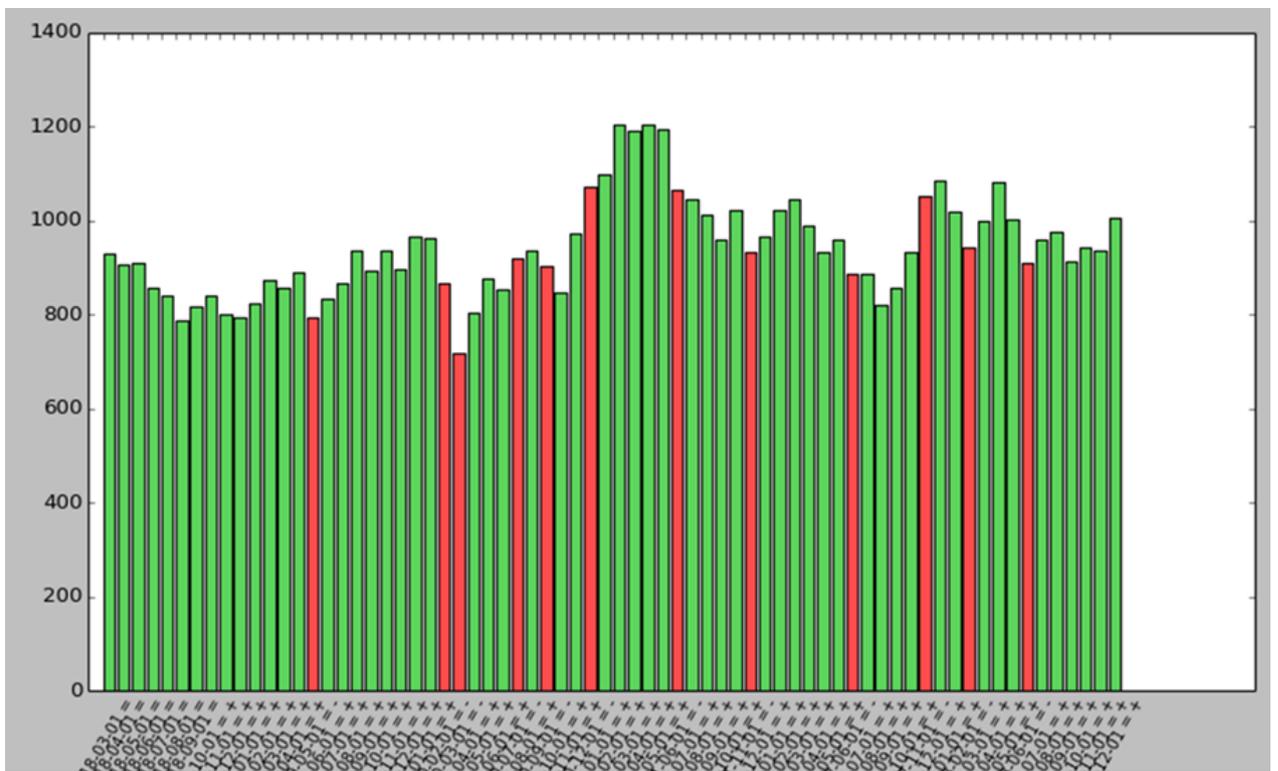


Рисунок 4.14 – Второй вариант проведения процедуры верификации для временного ряда значений цен на платину (51 – угаданных уровней, 12 – неугаданных)

Согласно расчетной формуле процедуры дефаззификации [100], построим прогноз в числовом виде:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{t=1}^3 \mu_t y_t^0 = 0,18 \cdot 857,4 + 0,25 \cdot 940,25 + 0,57 \cdot 1003,5 = 961,34 \text{ руб.},$$

где индексом $t = 1,2,3$ перенумерованы соответственно термы H, C, B : $\mu_1 = \mu_H = 0,18$, $\mu_2 = \mu_C = 0,25$, $\mu_3 = \mu_B = 0,57$. Прогноз в виде терма – В.

Получено значение глубины памяти $l_{LCA} = 7$, $\varepsilon_{LCA} = 17,1\%$. Процесс обучения алгоритма линейного клеточного автомата применяется в случаях, когда необходимо снизить ошибку валидации прогнозной модели за счет выбора точек ломаных (сужение диапазона эпох), тем самым можно говорить о подборе адекватной модели для изучаемого процесса.

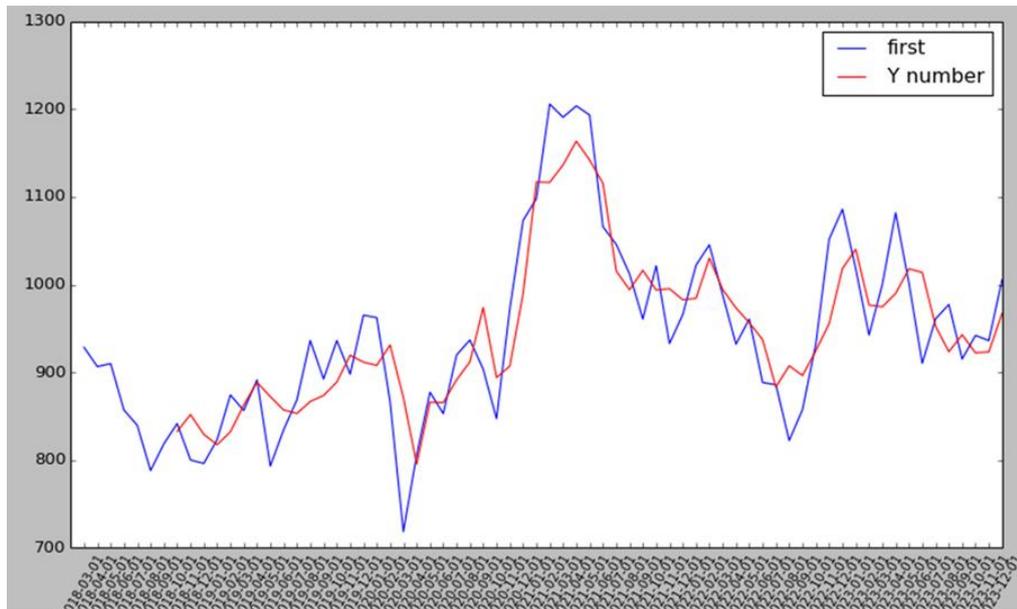


Рисунок 4.15 – Результирующий график II варианта раскраски после процедуры дефаззификации (красный цвет) и входной информации (синий цвет)

Существует множество различных методов прогнозирования, основанных на статистическом, техническом, фундаментальном анализе, машинном обучении и других подходах. Однако, на сегодняшний день ни один из существующих методов не является универсальным и не обеспечивает точного прогноза во всех случаях.

Представляет научный интерес провести сравнительный анализ при построении прогнозных моделей на базе методов классической статистики и нелинейной

динамики. Последнее обуславливает цель исследования, которая решает следующие задачи:

1) оценить эффективность таких методов экономико-математического прогнозирования временных рядов, как: экспоненциальное сглаживание, модель Хольта-Винтерса (алгоритм тройного экспоненциального сглаживания), алгоритм линейного клеточного автомата для среднесрочного прогнозирования экономических волатильных процессов;

2) обработать большие объемы данных (Big Data) и показать эффективность метода тройного экспоненциального сглаживания – реализовано и машинное обучение с использованием кросс-валидации при обучении элементов финансового рынка;

3) адаптировать метод тройного экспоненциального сглаживания к моделированию и построению прогнозной модели волатильных процессов, выявить синергетический эффект от исследования сезонной компоненты в разрезе результатов триады: дневной, недельной, сезонной.

Метод Брауна, также известный как простое экспоненциальное сглаживание, используется для прогнозирования будущего уровня временного ряда на основе предыдущих наблюдений. Он особенно эффективен в случаях, когда временные ряды отличаются стабильностью и отсутствием ярко выраженного тренда или сезонности. Модель прогнозирования строится путем экспоненциального сглаживания значений временного ряда в каждом местоположении куба пространства-времени. Затем эта модель используется для прогнозирования будущих временных шагов. Подгонка модели экспоненциального сглаживания к каждому временному ряду измеряется среднеквадратичной ошибкой прогноза (RMSE), которая равна квадратному корню из среднего квадрата разницы между моделью экспоненциального сглаживания и значениями временного ряда:

$$\text{Ошибка прогноза} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (c_t - r_t)^2}{T}}, \quad (4.9)$$

где T – количество временных шагов, c_t – подогнанное значение из экспоненциального сглаживания, а r_t – необработанное значение временного ряда во времени t .

Метод Хольта-Винтерса является расширением метода Брауна и предназначен для прогнозирования временных рядов с трендами и/или сезонностью. Он учитывает три компонента: уровень, тренд и сезонность, и отлично подходит для прогнозирования данных, которые имеют регулярные колебания.

Представим расчеты для проведения тройного экспоненциального сглаживания исследуемого процесса. Уравнение выглядит следующим образом:

$$S_t = \alpha \frac{y_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}), \quad (4.10)$$

Сглаживание тенденции:

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma) \cdot b_{t-1}, \quad (4.11)$$

Сглаживание сезонности представлено соотношением (4):

$$I_t = \beta \frac{y_t}{S_t} + (1 - \beta) \cdot I_{t-L}, \quad (4.12)$$

Далее рассчитываем прогноз в виде соотношения (5):

$$F_{t+m} = (S_t + m \cdot b_t) \cdot I_{t-L+m}, \quad (4.13)$$

где, значения параметров $\alpha, \beta, \gamma \in [0; 1]$, y – узлы исследуемого процесса, S – значение временного ряда после процедуры сглаживания, b – коэффициент тенденции, I – вычисленный индекс сезонности, F – прогноз на m будущих шагов (периодов), t – индекс текущего значения временного ряда.

Подбор параметров α, β, γ осуществляется таким образом, чтобы среднеквадратическую ошибку свести к минимуму. Отдельно выделим величину L , которая определяет число (шагов) периодов. По нему необходимо выстроить соответствующие значения начальных индексов сезонности. Метод тройного экспоненциального сглаживания с точки зрения расчета индексов сезонности требует наличия *минимум* L точек временного ряда. Наличие полных циклов гарантирует вычисление точных значений начальных индексов сезонности [492].

Индексы сезонности рассчитываются следующим образом – предположим, есть данные наблюдений за n сезонов по L периодов. Тогда:

1) для каждого сезона рассчитывается среднее значение

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^L y_{ij}}{L}, j \text{ меняется от } 1 \text{ до } n \quad (4.14)$$

2) для каждого периода рассчитывается индекс сезонности

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{y_{ij}}{A_j}}{n}, i \text{ меняется от } 1 \text{ до } L, \quad (4.15)$$

где y_{ij} – наблюдение, соответствующее i -му периоду j -го сезона.

Соотношение для оценки тенденции:

$$b = \frac{1}{L} \left(\frac{y_{L+1} - y_1}{L} + \frac{y_{L+2} - y_2}{L} + \dots + \frac{y_{L+L} - y_L}{L} \right) \quad (4.16)$$

Лучше всего применять тройное экспоненциальное сглаживание для данных, показывающих стойкую тенденцию и наличие сезонных колебаний, при этом необходимо располагать результатами $2L$ и больше наблюдений.

В качестве объекта исследования рассмотрен временной ряд ежедневных значений цен на платину¹¹ за период с 20.04.2020 г. по 19.04.2024 г. Мощность выборки составила 1243 элемента (рисунок 4.12). Авторское инструментальное средство по обработке больших данных, реализующее алгоритмы перечисленных методов классической статистики разработано с помощью языка программирования Python (версия 3.8.2).

Представляет научный интерес провести сравнительный анализ при построении прогнозных моделей на базе методов классической статистики и нелинейной динамики. Продемонстрируем возможности программы «Методы нелинейной динамики» (вкладка «Линейный клеточный автомат») в исследовании временного ряда ежемесячных значений цен на платину (4.7), показав возможности разработанного инструмента [305]. Алгоритм линейного клеточного автомата (ЛКА) состоит из этапов: верификация, валидация, дефаззификация (рисунок 4.16).

Результаты апробации алгоритма ЛКА: 1) прогнозное значение равно: 964.272 тыс. руб.; 2) получен прогноз в виде лингвистической переменной S ; 3) конечная погрешность равна 0.047 (ошибка прогноза – 4,7 %); 4) MAE равно 44.98; 5) глубина памяти $l = 6$ (мес.). Последнее означает то, что каждые полгода

¹¹ www.finam.ru

тенденция и вариация ряда – повторяются или другими словами, конфигурация из шести узлов исследуемого процесса обладает памятью.

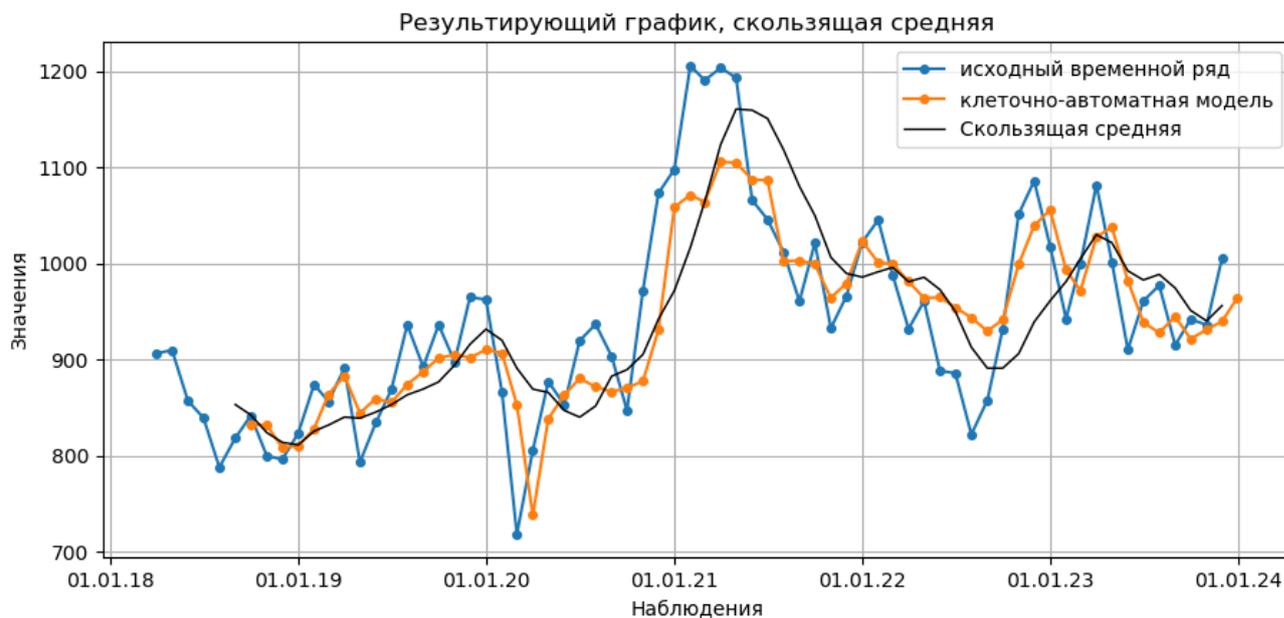


Рисунок 4.16 – Прогнозная модель для временного ряда «Платина» за период с 01.03.18 г. по 01.12.2023 г. на базе алгоритма линейного клеточного автомата

Отметим, что квазигенетический алгоритм ЛКА предоставляет ряд качественных предпрогнозных характеристик в прогнозировании волатильных экономических процессов как для малых выборок, так и в исследовании больших данных.

В работе также представлена авторская комплексная система прогнозирования элементов временных рядов, характеризующих сложные процессы (рисунки 4.17–4.21). Система обладает модульной структурой и поддерживает такие модели прогнозирования, как простое и тройное экспоненциальные сглаживания [335]. Для перечисленных моделей предусмотрен ручной ввод необходимых параметров, а также для последнего реализовано машинное обучение с использованием кросс-валидации. Благодаря такой реализации пользователь получает возможность с достаточной точностью подобрать параметры моделей, не занимаясь ручной подборкой. Интерфейс программы позволяет настроить параметры CSV или XLSX файлов, содержащих исходные показатели, выбрать необходимый

файл, указать интересующий столбец с данными для анализа и после выбрать интересующую модель для прогнозирования.

На рисунке 4.17 представлен интерфейс авторского инструментального средства, вкладка «Экспоненциальное сглаживание».

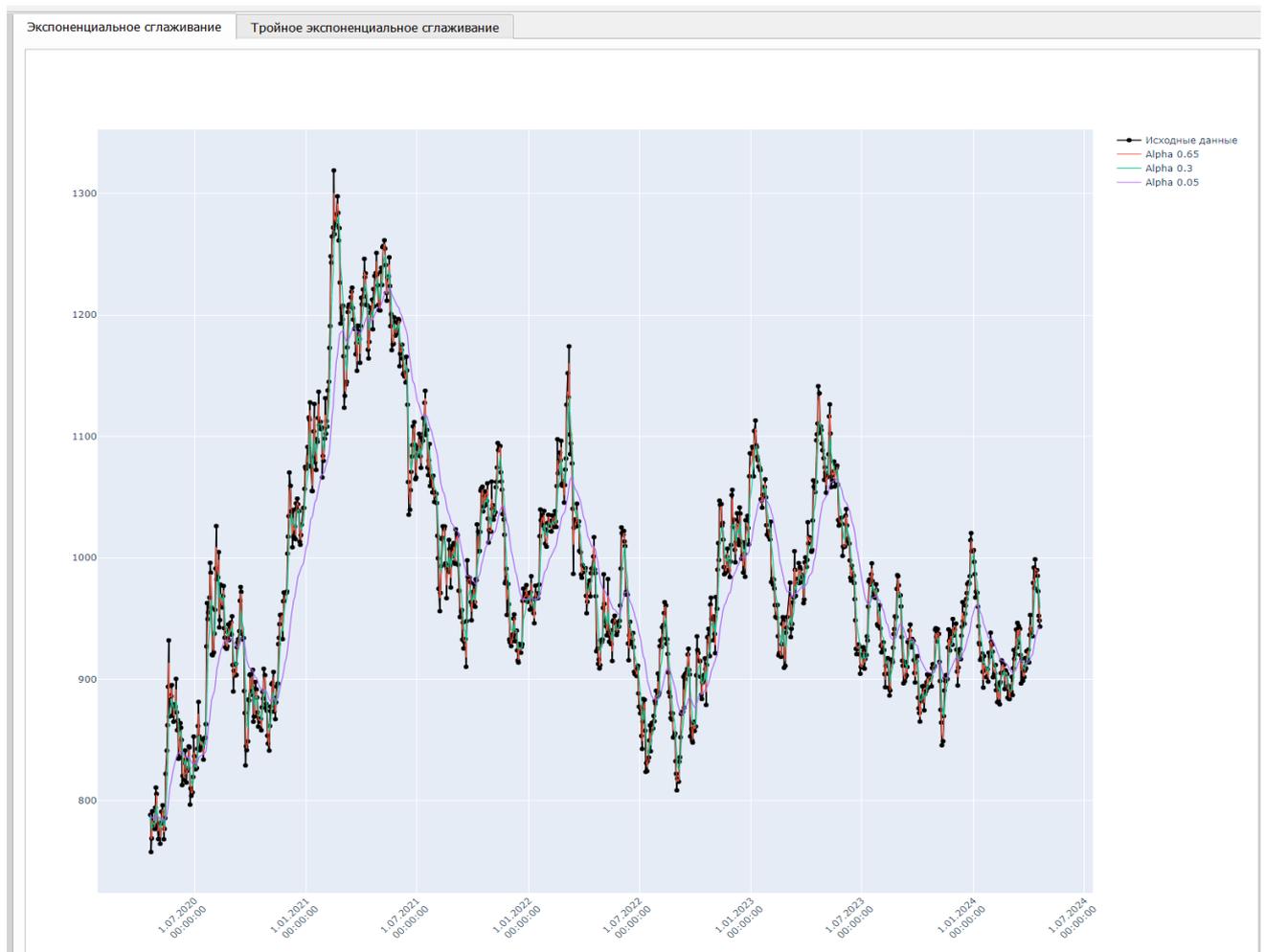


Рисунок 4.17 – Прогнозная модель для временного ряда «Платина» за период с 20.04.2020 г. по 19.04.2024 г. с помощью экспоненциального сглаживания

Отметим, что метод экспоненциального сглаживания (метод Брауна) применяется для прогнозирования нестационарных временных рядов, имеющих случайные изменения уровня и угла наклона.

Отличительной особенностью метода является выявление сезонных и трендовых компонент исследуемого процесса, а также определение выбросов (аномалий). При сглаживающем факторе $\alpha = 0.3$ имеем наиболее релевантную (адекватную) прогнозную модель с минимальной ошибкой прогноза валидации.

На рисунке 4.18 представлен результат работы вкладки «Тройное экспоненциальное сглаживание». Обучение (процедура кросс-валидации) при коэффициенте сезонности ряда, равным 24 точкам обусловлено наличием большого количества аномальных значений. Последнее говорит об отсутствии сезонной компоненты с указанным коэффициентом.

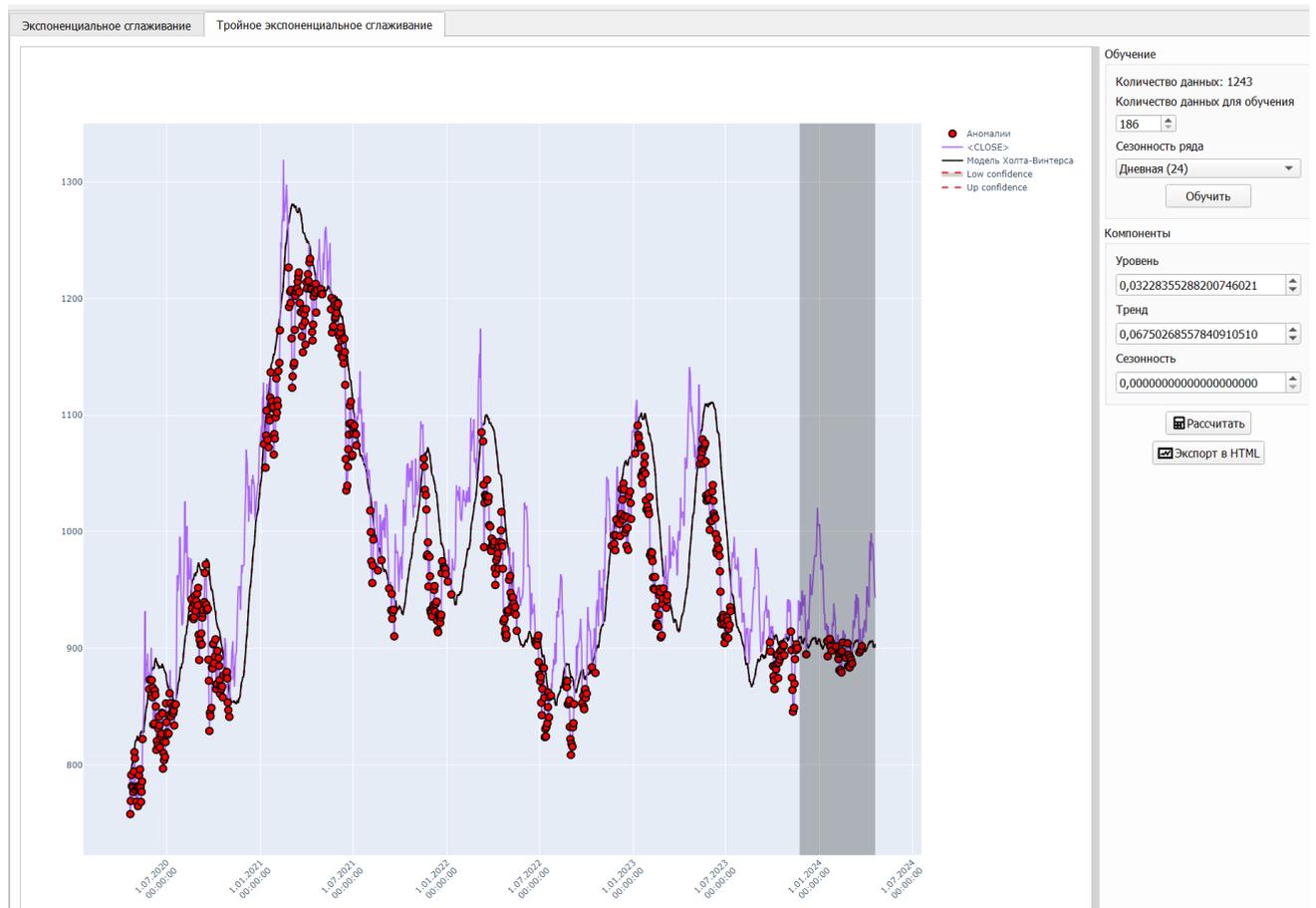


Рисунок 4.18 – Прогнозная модель для временного ряда «Платина» за период с 20.04.2020 г. по 19.04.2024 г. с помощью тройного экспоненциального сглаживания (коэффициент сезонности ряда равен 24 точкам)

Подбор параметров прогнозной модели является одной из важных задач в исследовании волатильных процессов и обработке больших массивов данных.

В представленном авторском инструментальном средстве реализована возможность самообучения прогнозной модели для следующих коэффициентов сезонности ряда: годовой (12) если ряд представлен ежемесячными значениями; годовой (365), месячный (30), дневной (24), недельный (7) при ежедневных значе-

ниях входного параметра; сезонный (3) для временных рядов без явной визуализации сезонной компоненты.

На рисунке 4.19 представлена графическая визуализация прогнозной модели для недельного коэффициента сезонности ряда.

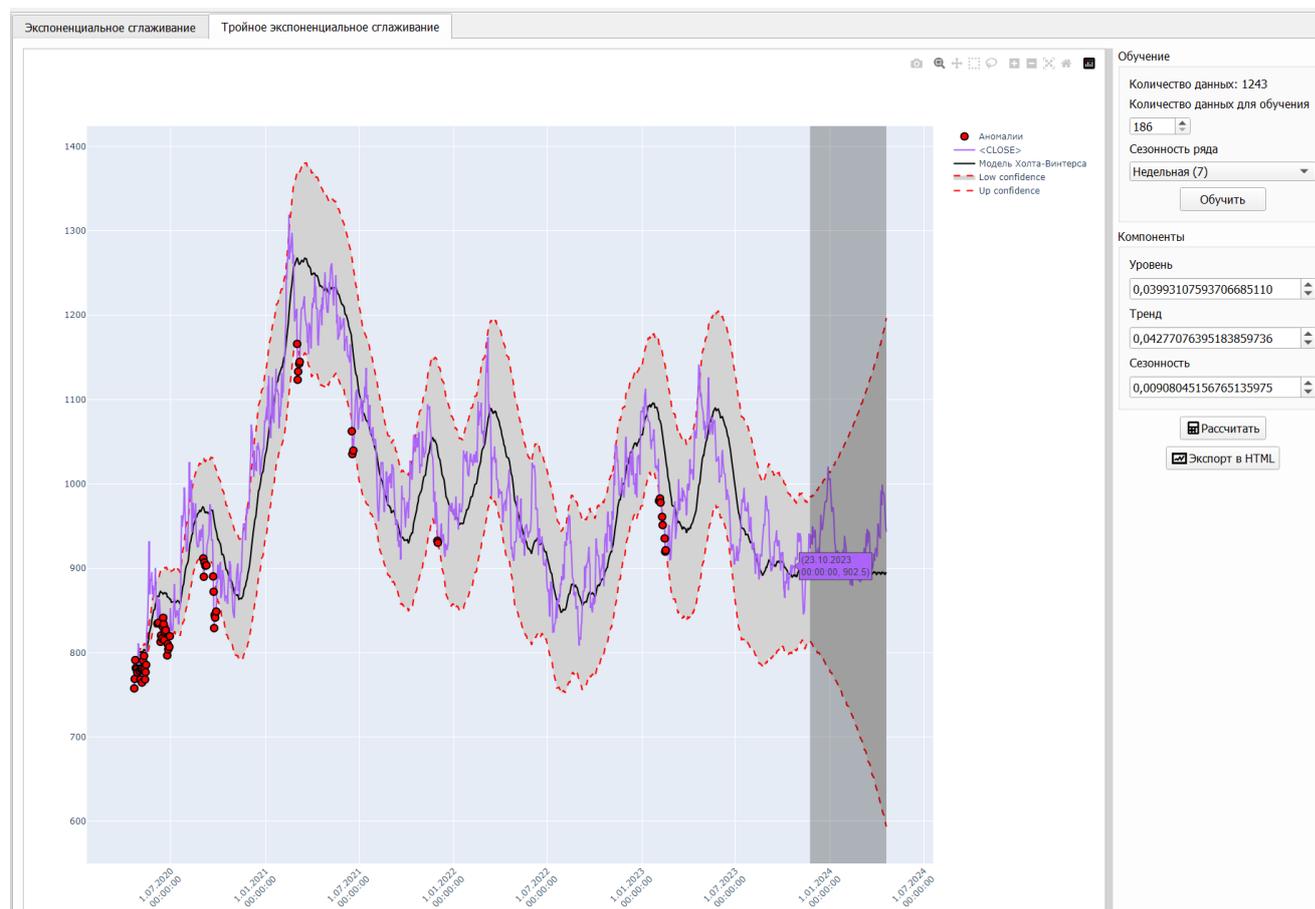


Рисунок 4.19 – Прогнозная модель для временного ряда «Платина» за период с 20.04.2020 г. по 19.04.2024 г. с помощью тройного экспоненциального сглаживания (коэффициент сезонности ряда равен семи точкам)

Исходя из визуализации рисунка 4.19, можно отметить, что количество аномальных значений значительно уменьшилось, что говорит о верном подборе параметров прогнозной модели. Для сравнения, на рисунке 4.20 представлен результат апробации метода Хольта-Винтерса для коэффициента сезонности ряда, равного трем точкам. Можно отметить, что область доверительного интервала более расширена и величина аномальных выбросов значительно возросла.

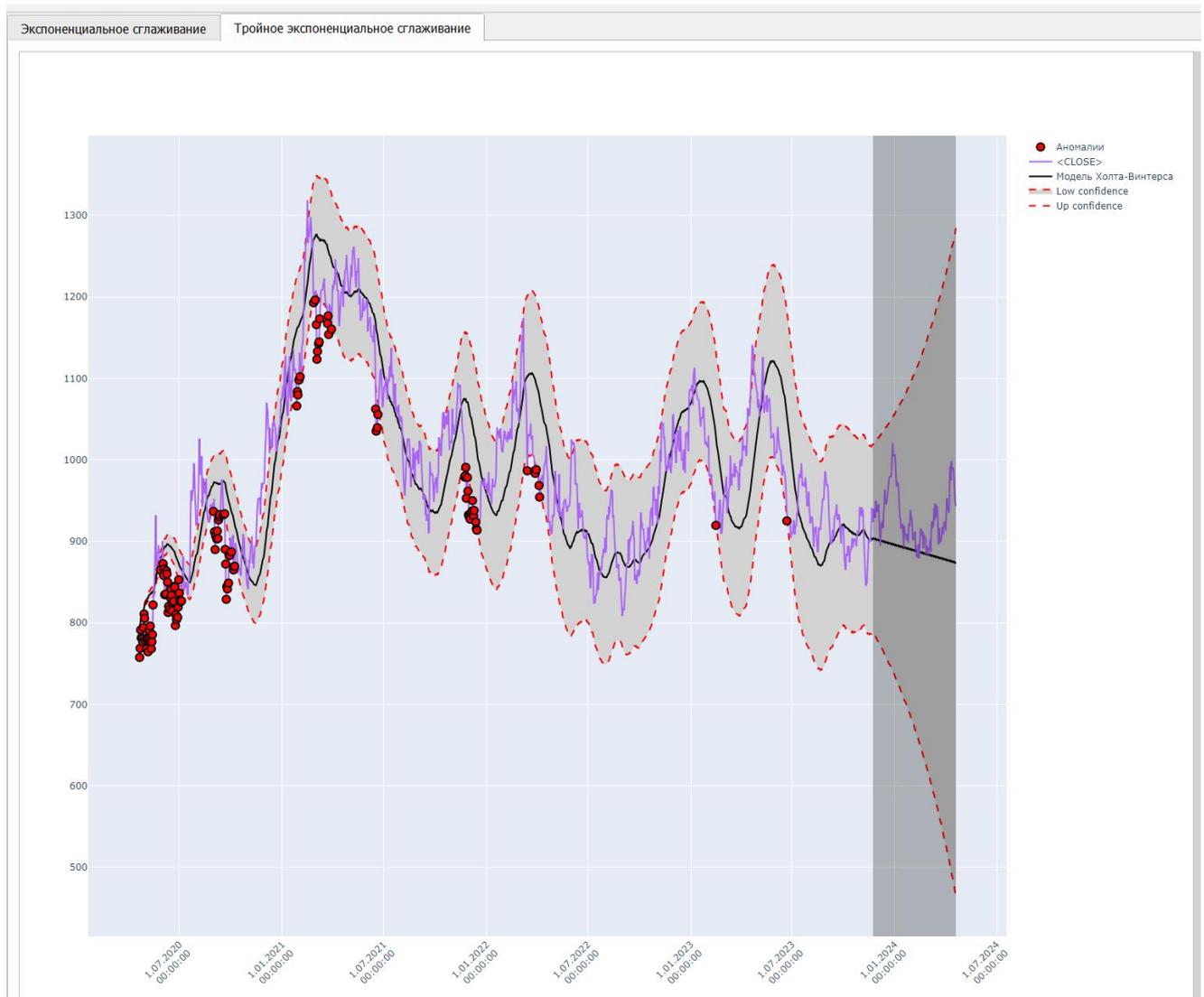


Рисунок 4.20 – Прогнозная модель для временного ряда «Платина» за период с 20.04.2020 г. по 19.04.2024 г. с помощью тройного экспоненциального сглаживания (коэффициент сезонности ряда равен трем точкам)

Исходя из представленных рисунков 4.18–4.20, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящим параметром для построения прогнозной модели в исследовании временного ряда «Платина» является недельный коэффициент сезонности. Другими словами, для ежедневных значений цен на платину выявлена сезонная компонента, равная 7 точкам (рисунок 4.21).

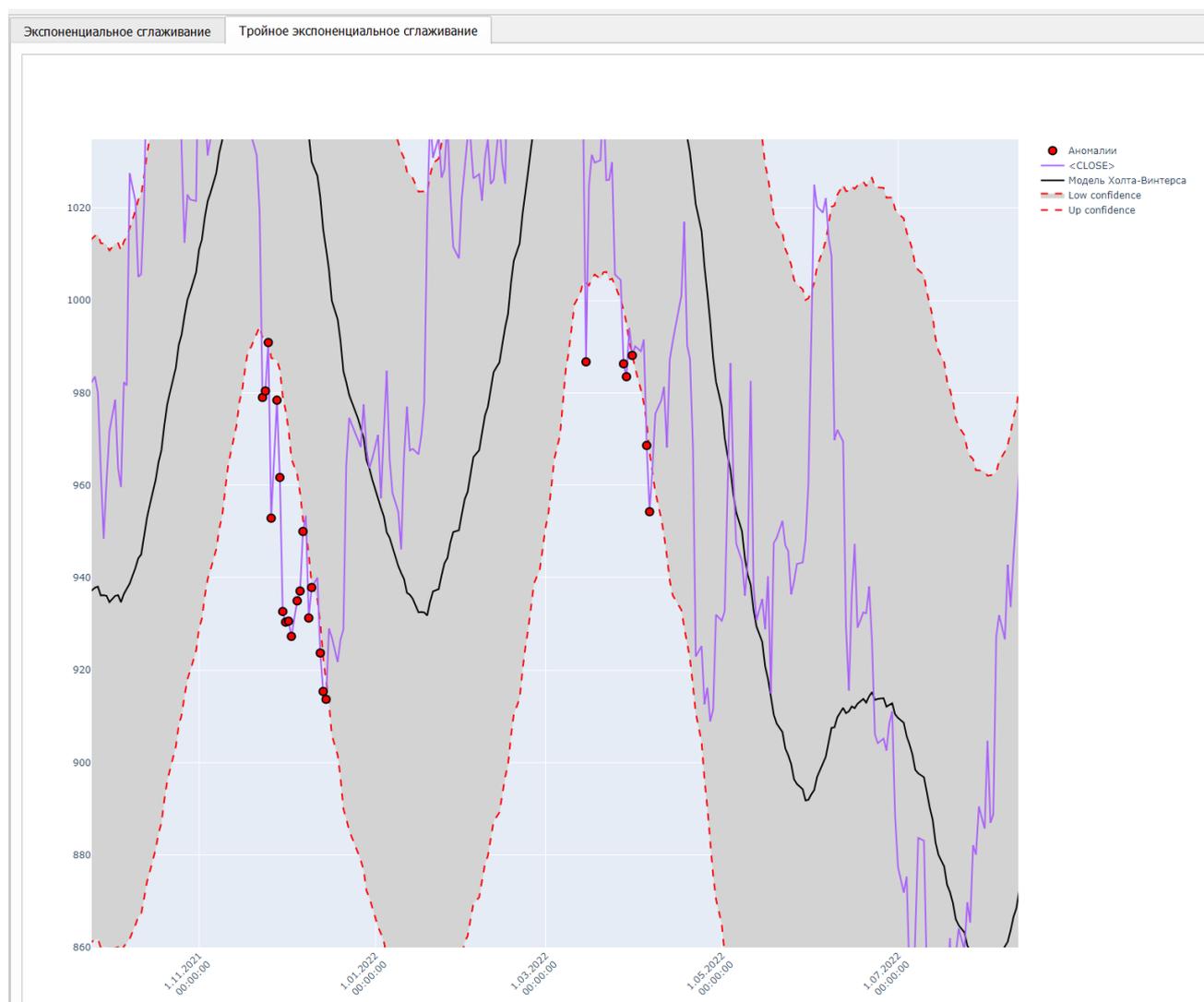


Рисунок 4.21 – Фрагмент прогнозной модели для временного ряда «Платина» за период с 20.04.2020 г. по 19.04.2024 г. (коэффициент сезонности ряда равен трем точкам)

Отличительной особенностью представленного инструментального средства является масштабирование (рисунок 4.21) выделенной области построенной прогнозной модели для удобства работы конечного пользователя. На практике часто возникают случаи, когда из-за событийных составляющих нужно более детально исследовать волатильный процесс для заранее известных реперных точек.

Результаты апробации алгоритма линейного клеточного автомата в исследовании временного ряда цен на платину (элемент товарного рынка России) показали, что прогнозная модель обладает высокой точностью (ошибка валидации $\varepsilon < 5\%$). Эффективность метода Брауна достигнута при сглаживающем факторе $\alpha = 0.3$. В ходе апробации метода Хольта-Винтерса, можно сказать, что наиболее под-

ходящим параметром для построения прогнозной модели в исследовании временного ряда «Платина» является недельный коэффициент сезонности.

В ходе исследования обработаны большие объемы данных (Big Data) элементов товарного рынка России. Рассматривая дневные, недельные и сезонные показатели, можно выявить сезонную компоненту, которая может быть скрыта при более общем анализе. Дневной анализ позволяет выявить краткосрочные колебания цен, связанные с текущими событиями на рынке. В то же время, недельный анализ может обнаружить более долгосрочные тенденции, вызванные, например, политическими или экономическими событиями. Наконец, сезонный анализ позволяет идентифицировать долгосрочные циклы, которые повторяются год за годом.

Применение всех трех уровней анализа одновременно позволяет получить более полное представление о динамике цен на платину. Это не только помогает лучше понять текущее состояние рынка, но и предсказать будущие тенденции. Таким образом, синергетический эффект исследования временного ряда цен на платину заключается в том, что интегрированный анализ дает гораздо более точные и полезные результаты, чем каждый уровень анализа по отдельности.

4.4. Комбинированный подход применения модели ConvLSTM для прогнозирования элементов финансового рынка

Прогнозирование сложных процессов – это одна из ключевых задач в различных сферах, таких как финансы, экономика, метеорология и многие другие. Прогнозирование позволяет предсказывать будущее на основе прошлых данных и анализа существующих тенденций.

Нейронные сети являются одним из самых эффективных инструментов для прогнозирования сложных процессов. Нейронные сети состоят из множества связанных между собой нейронов, которые обмениваются информацией и работают вместе для решения задач.

Прогнозирование сложных процессов с помощью нейронных сетей осуществляется путем обучения сети на основе исторических данных. На первом

этапе данные подаются на вход сети, затем происходит обработка их нейронами и вычисление результата. Обработка данных происходит в несколько этапов, включая пропуск данных через несколько слоев нейронов, настройку весов и определение функции активации. Такое прогнозирование имеет ряд преимуществ. Во-первых, нейронные сети могут обрабатывать большие объемы данных [91] и находить скрытые зависимости между ними. Во-вторых, нейронные сети могут обучаться на основе различных типов данных, включая текст, звук и изображения. В-третьих, нейронные сети могут учитывать нелинейные зависимости между данными, что делает их более эффективными для прогнозирования сложных процессов.

Однако, прогнозирование сложных процессов с помощью нейронных сетей также имеет свои недостатки. Во-первых, нейронные сети требуют больших объемов вычислительных ресурсов и времени для обучения. Во-вторых, нейронные сети могут быть склонны к переобучению, что может привести к неверным результатам.

Нейронные сети предлагают несколько преимуществ, когда дело доходит до анализа временных рядов:

1. **Нелинейность.** Нейронные сети могут моделировать нелинейные отношения между переменными, что особенно полезно при анализе временных рядов, где отношения между переменными могут быть нелинейными и сложными. Это позволяет нейронным сетям фиксировать закономерности и тенденции, которые могут быть упущены линейными моделями, такими как ARIMA.

2. **Гибкость.** Нейронные сети гибки и могут обрабатывать широкий спектр типов входных данных, таких как числовые, категориальные или даже графические данные. Это особенно полезно при анализе временных рядов, когда данные могут быть в различных формах и могут требовать различных методов обработки.

3. **Авторегрессия.** Нейронные сети можно научить прогнозировать будущие значения временного ряда на основе прошлых значений. Это делается с помощью авторегрессии, когда сеть учится использовать предыдущие значения временного ряда для прогнозирования будущих значений. Это делает нейронные сети особен-

но полезными в приложениях прогнозирования, где критически важны точные прогнозы будущих значений.

В качестве объектов исследования выбраны следующие временные ряды финансового рынка:

- курсы котировок акций ПАО «Сбербанк» за период 01.01.2015–01.03.2021;
- курсы котировок акций компании «Полиметалл» за период 01.01.2015–01.03.2021;
- курсы котировок акций группы компании «Россети» за период 01.01.2015–01.03.2021;

В работе представлена демонстрация авторского инструментального средства «Neuron». Web-ориентированная платформа «Neuron» написана с привлечением библиотек keras, matplotlib, numpy языка программирования Python (l.v.).

Для прогнозирования временных рядов применяются следующие виды нейронных сетей:

- Рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети с долговременной кратковременной памятью (LSTM);
- Сверточные нейронные сети (CNN).

Слой LSTM могут фиксировать долгие зависимости в данных. Они могут запоминать важные закономерности из более ранних временных шагов и использовать эту информацию для более точных прогнозов. LSTM особенно эффективны при обработке данных временных рядов, поскольку они могут моделировать последовательности различной длины и фиксировать временные зависимости между входными функциями. Слой CNN эффективны для выявления пространственных закономерностей во входных данных, которые имеют отношение к прогнозу. В частности, слой 1D CNN можно использовать для извлечения функций из данных временных рядов на основе подхода скользящего окна, который позволяет сети изучать закономерности в данных в разных масштабах. Часто для прогнозирования временных рядов слои CNN и LSTM используют совместно. CNN мо-

жет извлекать пространственные характеристики из ряда, а LSTM может моделировать временные зависимости. В качестве модели для прогнозирования временных рядов используется ConvLSTM модель с двумя сверточными и двумя LSTM слоями. Результаты предсказания обученной модели показаны на рисунках 4.22–4.24.

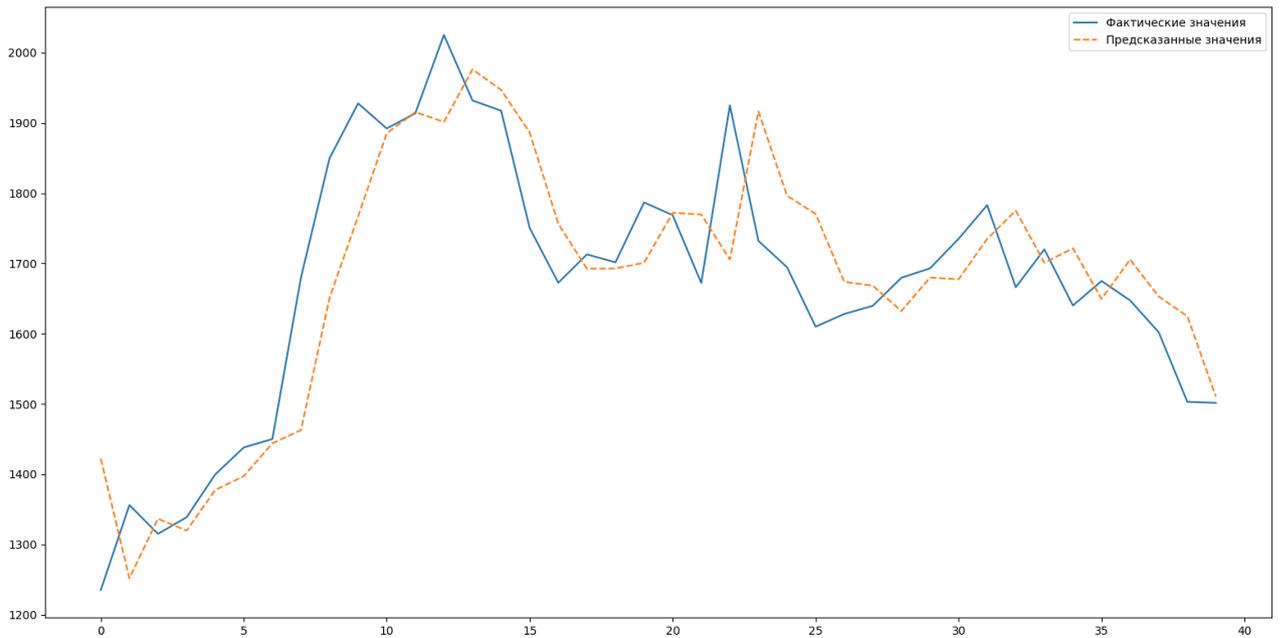


Рисунок 4.22 – Результаты предсказания модели для котировок акций компании «Полиметалл»



Рисунок 4.23 – Результаты предсказания модели для котировок акций группы компании «Россети»

Разработка точных моделей нейронных сетей для прогнозирования временных рядов не лишена проблем. Существует несколько факторов, влияющих на точность прогнозов.

1. Данные необходимо обработать. Зачастую данные могут быть не нормализованы, часть из них может быть пропущена, в виду тех или иных причин. Это приводит к неточным прогнозам;

2. Выбор релевантных признаков. Выбор релевантных признаков из временного ряда затруднен из-за наличия коррелированных и зашумленных данных;

3. Работа с нестационарными данными: данные временных рядов нестационарны, что означает, что статистические свойства данных меняются со временем. Обработка нестационарных данных требует применения таких методов, как дифференцирование, удаление тренда и сезонная декомпозиция;

4. Обучение и проверка. Обучение и проверка моделей нейронных сетей для прогнозирования временных рядов требует тщательного рассмотрения гиперпараметров, таких как скорость обучения, размер пакета и количество эпох. Также требуется надежная стратегия проверки, чтобы гарантировать, что модель хорошо обобщает невидимые данные;

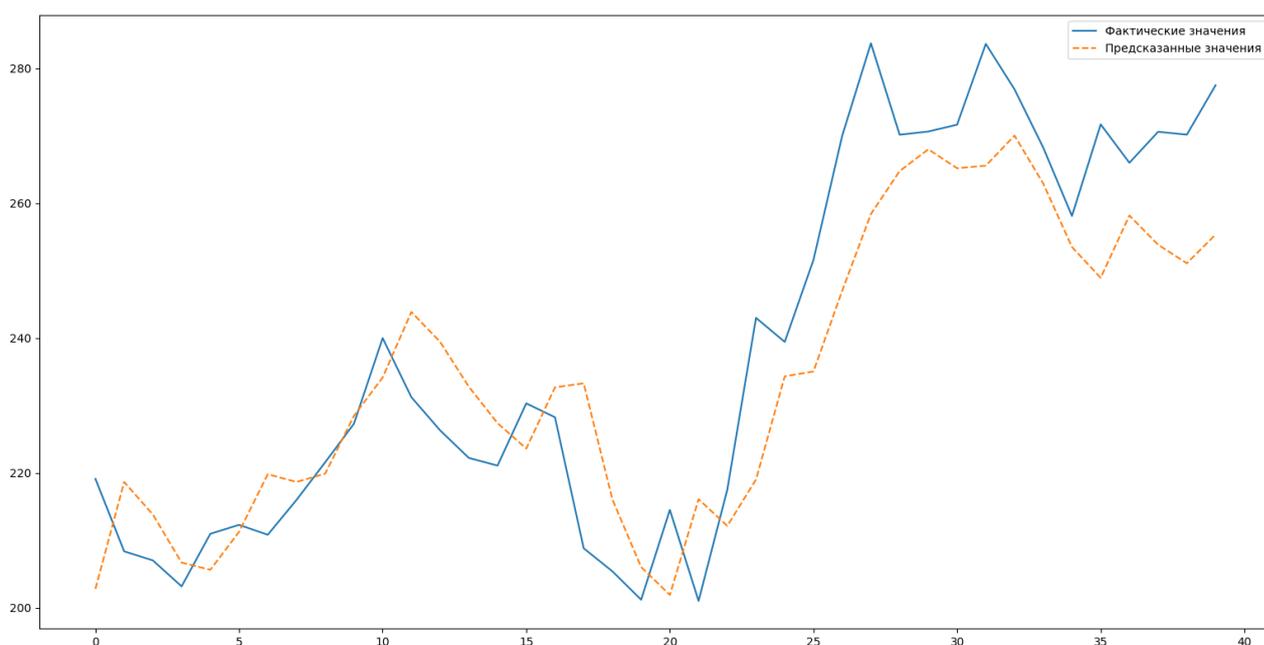


Рисунок 4.24 – Результаты предсказания модели для котировок акций ПАО «Сбербанк»

5. Интерпретация результатов. Интерпретация результатов модели нейронной сети для прогнозирования временных рядов может быть сложной задачей из-за сложности модели. Такие методы, как анализ чувствительности, ранжирование переменных по важности и визуализация, могут помочь понять поведение модели.

В таблице 4.6 представлены результаты проведенного исследования – прогнозирование сложных процессов на базе применения нейронной сети.

Исходя из результирующей таблицы 4.6, можно сделать вывод о том, что наиболее обучаемым является временной ряд котировок акций группы компаний «Россети», которой присуща наименьшая ошибка погрешности.

Таблица 4.6 – Выходные результаты апробации нейронной сети в исследовании модельной серии временных рядов финансового рынка (руб.)

Вид ошибки Временной ряд	MAD	MSE	MAPE	MPE	Стандартная ошибка
Сбербанк	10.3682	171.2334	0.0431	0.0128	13.08
Полиметалл	71.6452	8744.7753	0.0432	-0.0014	93.51
Россети	0.0075	0.0001	0.0369	0.0348	0.0088

Природно-климатический риск (засухи, наводнения, заморозки, пыльные бури) – это один из факторов, влияющих на производство и цены на пшеницу на мировых рынках. В качестве объекта исследования используется временной ряд товарного рынка (Big Data)¹²: цены за бушель¹³ пшеницы в американских центах: еженедельные данные (средняя) за период 21.10.2018–01.06.2023 (далее для удобства представлен как ВР «Пшеница_Н»; ежедневные данные за период 01.05.2022–05.06.2023 (далее для удобства представлен как ВР «Пшеница_Д»).

В качестве модели для прогнозирования временных рядов используется ConvLSTM модель с двумя сверточными и двумя LSTM слоями. Результаты предсказания обученной модели для нормированных данных исследуемых временных рядов показаны на рисунке 4.25–4.26.

¹² <https://www.finam.ru/>

¹³ Бушель – единица объема, которая используется в английской классической системе мер. Бушель применяется для измерения сыпучих товаров, в том числе и сельскохозяйственных. Ориентировочно один бушель пшеницы равен 27,2 кг.

В таблице 4.7 представлены результаты проведенного исследования – прогнозирование сложных процессов на базе применения нейронной сети.

Таблица 4.7 – Выходные результаты апробации нейронной сети

Вид ошибки Временной ряд	MAD (ϕ)	MSE (ϕ)	MAPE (%)	MPE (%)	Стандартная ошибка ка (ϕ)
Пшеница_Д	19	49,2	0.03	-0.03	22,2
Пшеница_Н	36.1	198.8	0.05	-0.05	44.6

Исходя из результирующей таблицы 4.7, можно сделать вывод о том, что наиболее обучаемым является временной ряд «Пшеница_Д», которому присуща наименьшая ошибка погрешности. Важен получаемый синергетический эффект от исследования сложных экономических процессов в разрезе результатов диады: исходного временного ряда и агрегированных данных.



Рисунок 4.25 – Результаты обучения модели для временного ряда «Пшеница_Д»

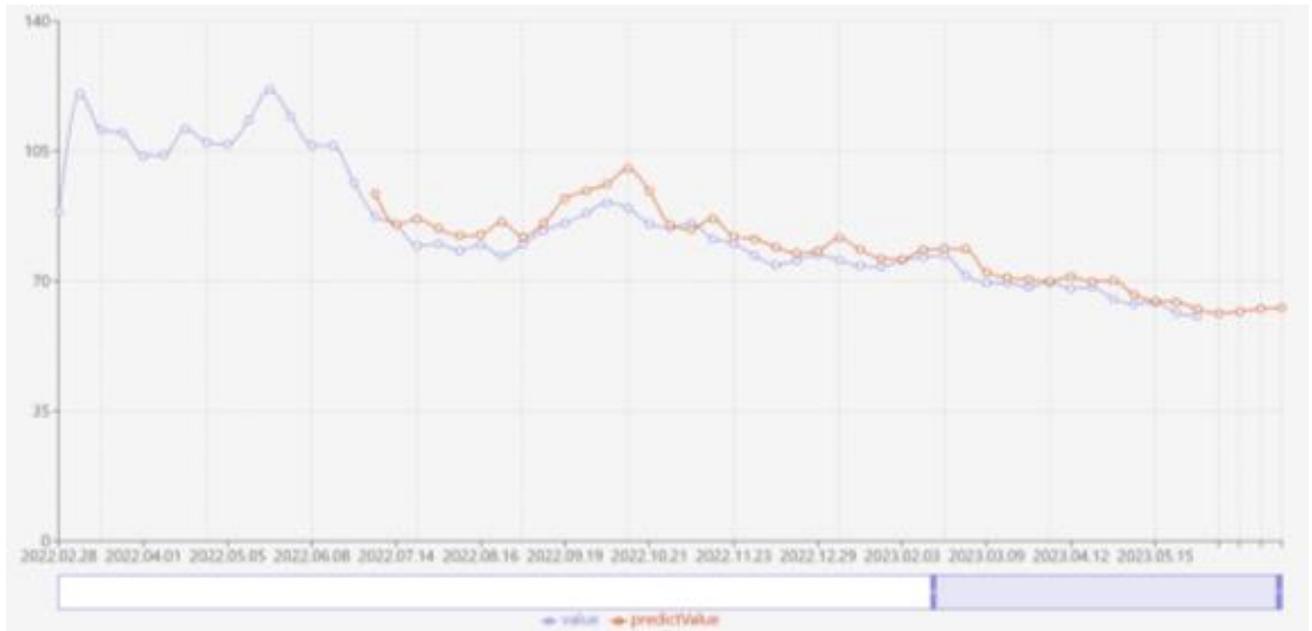


Рисунок 4.26 – Результаты обучения модели для временного ряда «Пшеница_Н»

Сравнительный анализ результатов исследования модельной серии временных рядов финансового рынка и агроэкономического сектора показал, что значения стандартной ошибки у первой группы на порядок ниже. Последнее позволяет сделать вывод о том, что прогнозируемость отдельных элементов финансового рынка выше, чем у товарного.

В заключение можно сказать, что нейронные сети оказались эффективными инструментами для прогнозирования сложных процессов. Они способны обрабатывать огромные объемы данных и распознавать закономерности, которые людям было бы трудно идентифицировать. Однако точность и надежность прогнозов нейронных сетей сильно зависят от качества и количества данных, используемых для обучения. Поэтому очень важно тщательно выбирать данные, чтобы обеспечить оптимальные результаты.

Для исследования положений третьей главы (пункты научной новизны №№ 3, 6, 8, 9) использованы авторские программы для ЭВМ, подтверждены «Свидетельствами о регистрации программного обеспечения (авторские разработки) №№ 2016661998, 2020611841, 2020662164», приведены в Приложении В.

Положения четвертой главы могут быть использованы при реализации и корректировке: Национальных проектов РФ (Цифровая экономика, Наука и уни-

верситеты); нормативных документов по вопросам анализа и прогнозирования сложных процессов (Постановление Правительства Российской Федерации от 11.11.2015 г. № 1218 «О порядке разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период»).

4.5. Выводы

1. В ходе детального поэлементного анализа и характеристики предметной области – «финансовый рынок», показана невозможность использования единого комплексного критерия для замены совокупности критериев или использования процедуры свертки критериев, как стандартной процедуры решения задачи многокритериальной оптимизации. Наглядно показано, что такие критерии как критерии «риска» необходимо рассматривать как оценку степени отклонения возможного значения от ожидаемого значения данного критерия.

2. Наличие и частота просадков дает исследователю количественную характеристику исследуемого процесса. Для получения качественных характеристик временного ряда привлекают арсенал методов нелинейной динамики, например, фазовый анализ. Он позволяет выявить закономерности исследуемого процесса, которые приводят к критическим событиям.

3. Обучение, самообучение прогнозной модели на базе алгоритма линейного клеточного автомата происходит посредством выбора и редактирования низких и высоких значений для построения ломаных и дальнейшей работы в автоматическом режиме. Сравнительный анализ сценариев и полученных прогнозных характеристик позволяет выбрать модель с наименьшей ошибкой валидации.

4. Оценена эффективность нейронной сети при обучении ВР котировок акций. В качестве модели для прогнозирования исследуемых временных рядов используется ConvLSTM модель с двумя сверточными нейронными сетями (CNN) и двумя LSTM слоями (рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети с долговременной кратковременной памятью), что позволило обработать огромные объемы данных.

Глава 5. Синергетические аспекты моделирования трендов в исследовании динамики туристических потоков

5.1. Методы классической статистики в исследовании социально-экономических процессов¹⁴

Актуальность исследования и моделирования рекреационно-туристской деятельности вытекает из последствий сложившейся на настоящий момент международной политической обстановки и результатов роста политической нестабильности в мире в целом и странах Ближнего Востока в частности. Излюбленные направления отдыха россиян перестают быть привлекательной туристической дестинацией. В противовес природные ландшафты большинства регионов России все больше привлекают как отечественных, так и иностранных туристов. Причиной роста востребованности и интереса к внутренним туристско-рекреационным ресурсам РФ также является динамичное обновление сложившейся инфраструктуры ее туристско-рекреационных систем [39].

В условиях эпидемиологической ситуации в мире большое внимание уделяется вопросам развития внутреннего туризма, в связи с чем количественный прогноз величины туристического потока позволит контролировать один их основных моментов – вопрос управления туристско-рекреационной деятельностью, например, в планировании занятости номерного фонда как отдельно взятой гостиницы, так и туристско-рекреационного комплекса региона в целом.

Настоящая реальность туристско-рекреационной сферы каждого отдельного региона России укрепляет свои позиции на внутреннем рынке, что сказывается на социально-экономическом развитии, как самого региона, так и страны в целом. Статистика бронирований дают возможность предположить, что на сегодняшний день основное население России планирует отдых в пределах страны, и даже в пределах региона проживания. Именно этот факт на практике даст возможность

¹⁴ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Поповой Е.В., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Декомпозиционный многокритериальный подход к анализу временных рядов туристических потоков / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, С. И. Турлий, Л. К. Дунская // Современная экономика: проблемы и решения. – 2019. – № 5(113). – С. 8-16. – DOI 10.17308/meps.2019.5/2100.

региональным туристско-рекреационным комплексам продемонстрировать свои возможности в предоставлении качественных услуг, улучшит инвестиционный климат в сфере туризма, увеличит количество коллективных средств размещения, развитие комплекса услуг лечебно-оздоровительного, делового и профессионального характера. Все вышесказанное способствует развитию новых направлений в туристической отрасли каждого региона в отдельности и страны в целом, определит проблемы развития региональной туристической индустрии, позволив выделить приоритетные направления устойчивого развития российского туризма.

Таким образом, определяя роль и место туристической отрасли в экономике регионов в реалиях сегодняшнего дня можно отметить значительное укрепление позиции и влияния, как на социально-экономическое развитие региона, так и на структуру его экономики. По сообщениям главы Ростуризма З. В. Догузовой в рамках первого этапа программой воспользовались 60 тыс. граждан России, потратив на туры и размещения более 1,4 млрд руб. Самыми популярными направлениями в рамках программы кэшбэка стали Краснодарский край, Ставрополье, Крым. Значительно увеличился поток туристов в зимний период и в Карачаево-Черкессию, Кабардино-Балкарию – горнолыжные курорты. Горнолыжный сезон в этих регионах еще продолжается, он достаточно длительный, включая майские праздники. Именно на майских праздниках в эти регионы ожидается наибольший внутренний (российский) туристический поток, интенсивность которого выступает одним из индикаторов состояния и оценки туристического рынка, наравне с такими индикаторами как туристские ресурсы, финансы туристской сферы и инвестиции в сфере туризма, организация деятельности туристских фирм, платные услуги в сфере туризма (цены на туристские услуги), туристские перевозки, гостиничные предприятия и специализированные средства размещения, сеть общественного питания, производство товаров для туризма.

Оценка общих перспектив развития туризма как для любого региона, так страны и мира в целом с позиции экономической эффективности и социального эффекта базируется на совокупности перечисленных индикаторов, в том числе на индикаторе – туристический поток [389].

Для выявления новых качественных предпрогнозных характеристик в главе апробирована авторская исследовательская платформа в исследовании данных туристической отрасли.

Декомпозиционный подход к анализу ежедневного временного ряда туристического потока в своей базовой основе содержит классические методы статистики и теории вероятности: сбор данных, кластеризация данных по дням недели, составление матрицы коэффициентов корреляции между отдельными временными рядами по дням недели, определение зависимых между собой декомпозиционных временных рядов по дням недели.

На первом этапе анализа происходит планирование сбора данных, после чего аналитик переходит ко второму этапу – первичному и предварительному анализу (исследованию) [200].

Для предварительного исследования данные, называемые предпрогнозной информацией, должны быть представлены в виде временных рядов (ВР) показателей. Существуют некоторые проблемы, связанные с возможностью выделения временных рядов об исследуемой системе или процессе, однако благодаря предварительным подсчетам, данные анализируются, описываются и обобщаются, после чего структурированная информация позволяет выбрать и обосновать оптимальные методы и подходы для дальнейшего анализа [254, 314].

В целях получения предпрогнозной информации, определения закономерностей исследован внутренний туристический поток в пос. Домбай Карачаево-Черкесской республики [11], который представлен на рисунке 5.1.

Представленный временной период выбран в качестве демонстрации динамики начала интенсивного развития внутреннего туризма. Для построения прогноза не подходят типичные значения или изменчивость совокупности предоставленных данных, которые обычно характерны для временных срезов. В процессе анализа полученных данных важную информацию несет непосредственно последовательность наблюдений, так как для построения прогноза необходимо знать, что произойдет на следующих шагах. По итогам построения прогноза на основе данных по временному ряду, отражающему ежедневный объем туристского пото-

ка (на основе моделей поведения данной системы в прошлом), будет спрогнозировано наиболее близкое поведение системы [186].

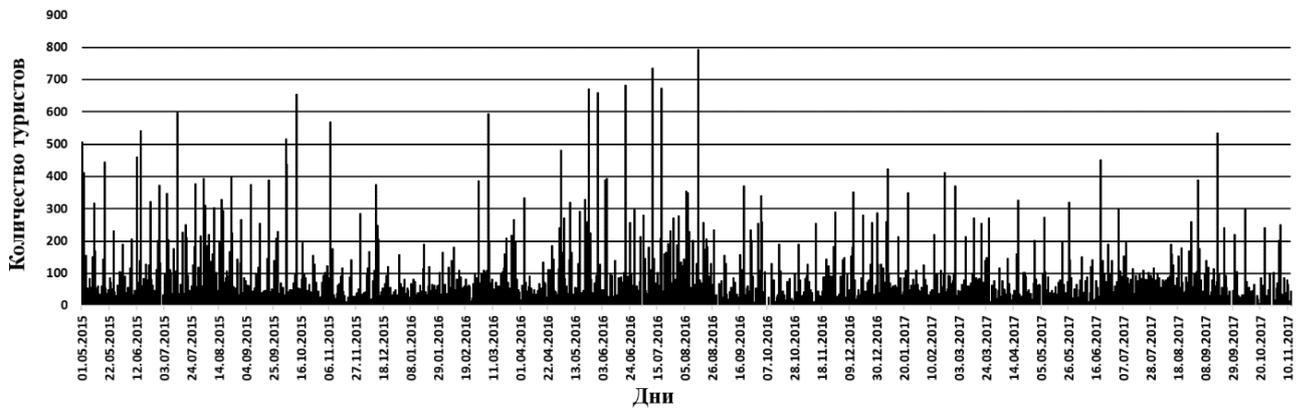


Рисунок 5.1 – Гистограмма VR туристического потока в пос. Домбай за период с 01.05.2015 г. по 10.11.2017 г.

Следующий шаг в исследовательской работе – получение предпрогнозной информации. На рисунке 5.2 представлена R/S-траектория исследуемого временного ряда туристического потока. Значение показателя Хёрста $H = 0,65$, принадлежит диапазону серого шума. Последнее говорит о том, что исследуемый процесс обладает свойством трендоустойчивости [250, 268]. От данного критерия будет зависеть дальнейшая надежность прогнозирования (рисунок 5.2).

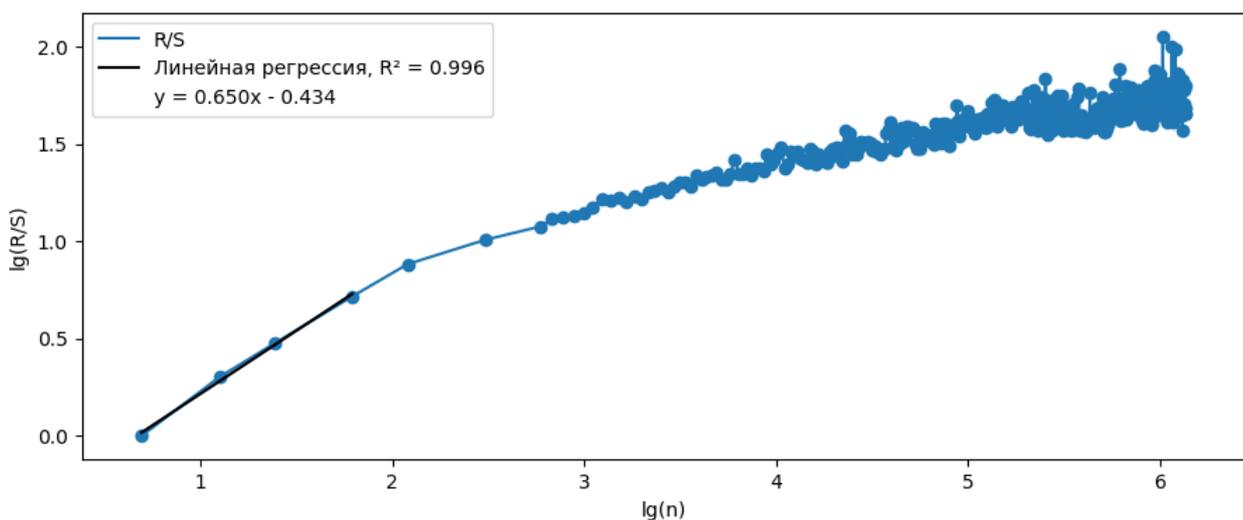


Рисунок 5.2 – R/S-траектория исследуемого временного ряда туристического потока ($H = 0,65$; принадлежит диапазону серого шума)

Наличие выбросов в исследуемом процессе и «тяжелого хвоста» в эмпирической функции распределения переводит исследование динамики туристического потока в более сложный процесс, с привлечением дополнительных процедур предварительной подготовки данных. Предлагается провести процедуру декомпозиции исходного временного ряда, например, по дням недели [83, 274].

Визуальная декомпозиция временного ряда представлена на рисунке 5.3 в разрезе семи вершинного графа $G = (V, E), V = \{v_1, v_2, \dots, v_7\}$, где $v_i \in V, i = \overline{1,7}$, т.е. (v_1 – понедельник, v_2 – вторник и т.д.) [274].

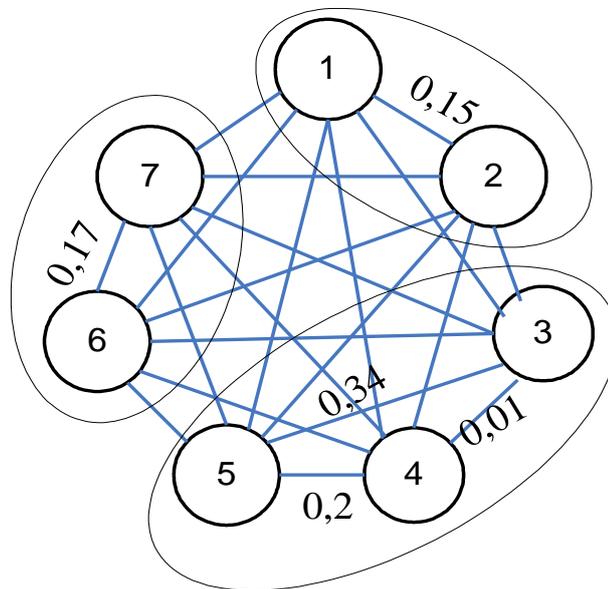


Рисунок 5.3 – Семивершинный взвешенный граф G

Далее для каждой пары $v_i, v_j \in V$ вычисляем коэффициент корреляции k_{ij} между ВР, которые соответствуют этим вершинам. После чего каждому ребру $e = (v_i, v_j) \in E$ приписывается вес $w(e) = k_{ij}$. Проведенная процедура кластеризации по значениям коэффициентов корреляций (рисунок 5.3) определяется следующим разбиением: (пн, вт), (ср, чт, пт), (сб, вс).

Далее реализуем четвертый этап исследования – проверка гипотез, а именно проведем сравнительный анализ рисков [249] статистических показателей, представленных в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Рисковые статистические показатели декомпозиционных ВР

Временной ряд	Коэффициент вариации (V)	Коэффициент асимметрии (A)	Коэффициент эксцесса (E)	Коэффициент эксцесса за пределами «голова ВР» [$M \pm 3\sigma$]
1	2	3	4	5
$V_1 = \{v_1, v_2\}$	0,58	1,74	6,68	4,05 (60,6%)
$V_2 = \{v_3, v_4, v_5\}$	0,57	1,43	5,34	3,35 (62,7%)
$V_3 = \{v_6, v_7\}$	0,62	0,98	3,58	1,48 (41%)

Согласно представленному выше рисковому показателю в столбце 4 наиболее устойчивым является третий ВР (СБ, ВС) с минимальным значением эксцесса, при этом стоит отметить, что вклад тяжелого хвоста в общее значение эксцесса также является минимальным.

Исследуем отдельные элементы финансового рынка на базе методов классической статистики. В качестве основных рисковых критериев рассмотрим следующие статистические показатели: матожидание, дисперсия, СКО, коэффициенты асимметрии и эксцесса:

$$A = \sigma^{-3} \sum_{s=1}^n (W_s - M)^3 P_s \quad (5.1)$$

и эксцесс:

$$E = \sigma^{-4} \sum_{s=1}^n (W_s - M)^4 P_s, \quad (5.2)$$

где P_s - это вероятность (относительная частота) появления численного значения случайной величины, равного W_s , $1 \leq s \leq n$. Расчетные значения этих показателей для ВР ежедневного туристического потока по дням недели представлены в таблице 5.2.

Вопросы управления туристическим бизнесом в условиях турбулентности требует четкого понимания текущей ситуации, гибкости в принятии решений и способности использовать возникающие возможности для дальнейшего развития региона. В связи с вышесказанным, возникает необходимость подходить с позиций использования прямых методов принятия решений к оценке величины турпо-

тока в пос. Домбай. Построенная модель на базе методов многокритериальной оптимизации позволит проранжировать исследуемые декомпозиционные временные ряды значений туристических потоков в порядке увеличения степени риска. Далее, введем соответствующие обозначения.

Таблица 5.2– Значения рисков статистических параметров для декомпозиционных временных рядов туристических потоков

Наименование временного ряда Статистические показатели	турпоток по понедельни- кам	турпоток по вторникам	Турпоток по средам	Турпоток по четвергам	Турпоток по пятницам	Турпоток по субботам	Турпоток по воскресеньям
<i>MX</i>	63,8	61,26	57,22	94,06	93,61	135,78	209,79
<i>DX</i>	2468,46	2170,21	1192,47	6645,16	7931,8	10165,6	30237,5
<i>СКО</i>	49,68	46,58	34,53	81,52	89,06	100,82	173,88
<i>V</i>	0,77	0,76	0,6	0,86	0,95	0,74	0,83
<i>A</i>	2,92	2,01	1,79	2,34	2,61	1,43	1,31
<i>E</i>	15,26	8,52	8,18	10,07	11,32	5,41	4,35
<i>E [MX-3СКО; MX+3СКО]</i>	1,08	1,5	1,38	2,12	0,93	2,09	2,76
<i>E для X > (MX+3СКО)</i>	14,18	7,02	6,8	7,95	10,38	3,31	1,58

В качестве множества допустимых решений (МДР) рассмотрим множество декомпозиционных временных рядов по дням недели: $V = \{v\}$. Например, $v_1 = 1$ – декомпозиционный ВР туристов, въехавших по понедельникам, ..., $v_7 = 7$ – декомпозиционный ВР туристов, въехавших по воскресеньям.

Определим ВЦФ многокритериальной модели:

$$F(v) = (F_1(v), F_2(v), \dots, F_N(v)), \quad (5.3)$$

Состоящей из критериев, направленных на \max [249]:

$$F_i(v) \rightarrow \max, i = \overline{1, N_1}, N_1 \leq N, \quad (5.4)$$

В качестве критериев (5.4) выступают значения статистических показателей таблицы 5.2. Более привлекательными будут дни недели с высокими значениями статистических показателей

Представим состав ВЦФ:

$F_1 = M_i \rightarrow \max$ – критерий математического ожидания декомпозиционного турпотока по дням недели i ;

$F_2 = \sigma_i \rightarrow \max$ – критерий СКО декомпозиционного турпотока по дням недели i ;

$F_3 = A_i \rightarrow \max$ – критерий коэффициента асимметрии декомпозиционного турпотока по дням недели i ;

$F_4 = E_i \rightarrow \max$ – критерий коэффициента эксцесса декомпозиционного турпотока по дням недели i .

В результате апробации обобщенного решающего правила [165, 248] получена последовательность по степени убывания риска: $v_3, v_2, v_1, v_4, v_5, v_6, v_7$ (рисунок 5.4).

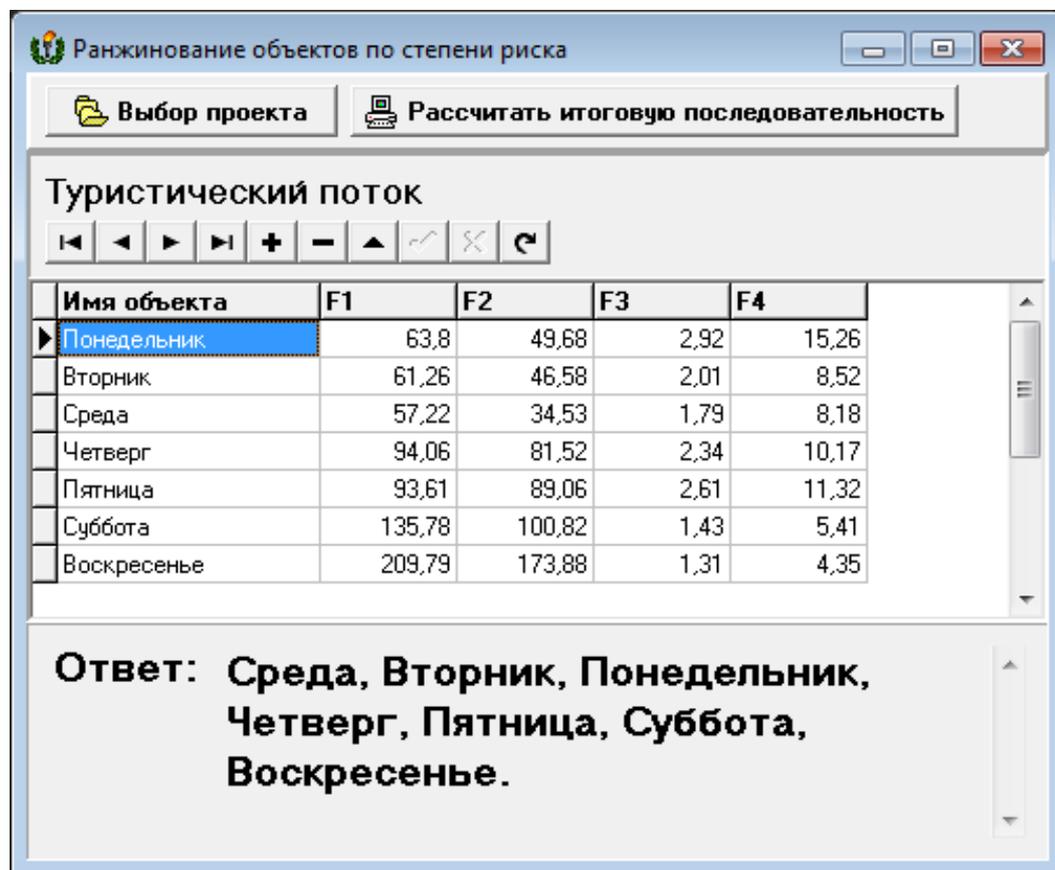


Рисунок 5.4 – Ранжирование декомпозиционных временных рядов турпотоков на базе многокритериальной оценки их экономической эффективности

Самой высокой пропускной способностью обладает декомпозиционный временной ряд по воскресеньям, именно он занял последнее место в последовательности, как объект с низкой «степенью риска». По воскресеньям проводятся экскурсии для небольших групп из соседних регионов: Ставропольский край, Ро-

стовская область и Краснодарский край. Значительная «степень риска» присуща таким декомпозиционным временным рядам турпотоков по средам и вторникам. Как правило, в будние дни фиксируется невысокое количество въезжающих туристов, а выбросы в таких временных рядах характеризуются следующими событиями составляющими: праздничные дни, открытие сезона, проведение конференций и соревнований и пр.

5.2. Фазовый анализ в исследовании цикличности квазициклов туристических потоков¹⁵

2020 год ознаменован редкими, но масштабными риск-экстремальными событиями, которые перевели мир в эпоху джокеров. Прогнозная информация стала востребованной, даже не с точки зрения управления будущими событиями, а хотя бы с точки зрения обладания знаниями о возможных границах происходящих изменений [491].

Проектирование сложной системы представляет трудоемкий процесс решения совокупности плохо формализуемых задач. Среди основных параметров проектируемой технической системы следует выделить параметры, изменяемые во времени.

В параграфе представлена авторская разработка информационной системы предпрогнозного анализа сложных социально-экономических процессов методом исследования локальных колебаний временного ряда (ВР) [303]. Для визуализации модели и описания всех действий, выполняемых разработанной программой используем ряд инструментальных средств, позволяющих моделировать действия в процессах, определять их порядок и необходимые ресурсы. *Отличительной особенностью* представленного инструментального средства является экспорт выходного файла, в котором строится сводная таблица результатов фазового ана-

¹⁵ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Василенко И.И., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Автоматизация комплексного исследования сложных процессов на базе фазового анализа / А. М. Кумратова, И. И. Василенко, Н. С. Курносова [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2021. – № 1(276). – С. 84-90.

лиза для триады: исходного временного ряда, ряда приращений и агрегированных данных, при этом визуализируется получаемый синергетический эффект от исследования сложных социально-экономических процессов в разрезе полученных результатов. В качестве входного файла для представленного инструментального средства в этом параграфе, также могут быть апробированы данные из других секторов экономики.

Для разработки информационной системы «Фазовый анализ агрегированных данных» целесообразно использовать системные встроенные средства Visual Studio 2012 с подключением пакетов Microsoft Office.Core и Microsoft Office.Interop.Excel для работы с файлами Microsoft Excel.

Более подробное описание алгоритма работы фазового анализа представлено в источниках [171, 206, 429]. В параграфе представлено исследование агрегированного ВР «Туристы» на базе фазового анализа. Целесообразно построить еженедельный временной ряд туристических потоков на базе ежедневных данных. В связи с этим, в качестве периода агрегирования данных выбрана величина периода агрегации – 7 (дней). Результат расчета алгоритма работы фазового анализа для временного ряда ежедневных туристических потоков представлен на рисунке 5.5.

Всего на главной форме разработанной информационной системы находится 4 окна графиков: «График квазициклов», «График площадей прямоугольника», «График длин памяти квазициклов» и «График дрейфа центров квазициклов». С помощью кнопок «Предыдущий график» и «Следующий график» можно переключаться между построенными графиками квазициклов.

В инструментальном средстве спроектированы следующие выходные файлы:

- «Расчет точек» – содержит исходные данные, построенный ряд сдвига, центры по осям Ox и Oy , площади прямоугольников, а также графики построенных квазициклов (в соответствии с рисунком 5.5а);

- «Длина памяти» - содержит длины памяти квазициклов, полученные на первой вкладке и график длин памяти квазициклов (см. рисунок 5.6б).

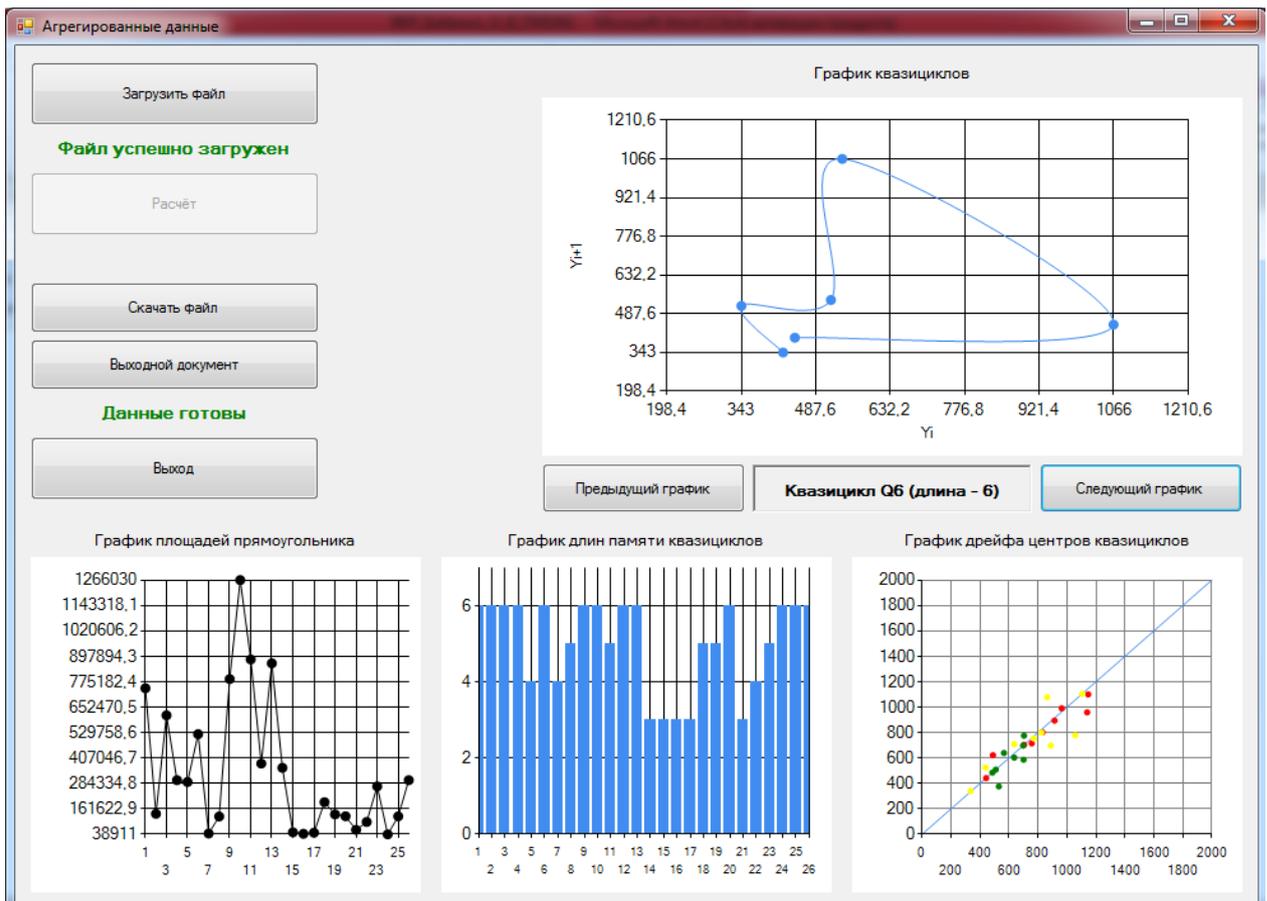
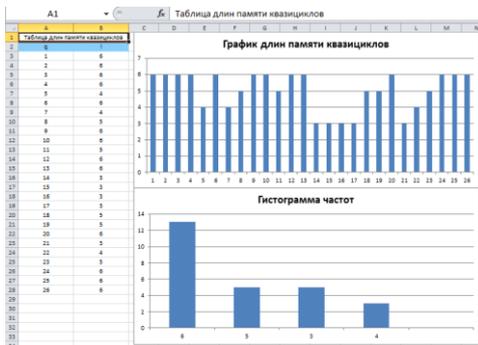
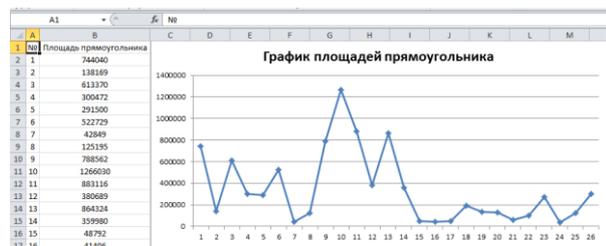


Рисунок 5.5 – Расчет метода фазового анализа для агрегированного временного ряда туристического потока (период агрегации $k = 7$)



а) Вкладка «Длина памяти» агрегированного временного ряда



б) Вкладка «График движения площадей габаритных прямоугольников» для агрегированного ВР туристического потока

Рисунок 5.6 – Примеры выходных файлов инструментального средства «Фазовый анализ агрегированных данных»

- «Площадь» – содержит все площади прямоугольников, полученные на предыдущей вкладке, а также график площадей (см. рисунок 5.6б);

- «Три периода» – содержит исходные данные, центры по осям Ox и Oy , а также график дрейфа центров квазициклов (см. рисунок 5.5). Раскраска по перио-

дам представлена на рисунке 5.5 (начало ВР – красный цвет, середина ВР – желтый цвет, конец ВР – зеленый цвет).

Аналогичные расчеты можно провести как для исходного ВР, так и для ряда приращений исследуемого процесса.

Отличительной особенностью данной разработки является то, что система в качестве выходного файла дополнительно представляет сводную таблицу результатов фазового анализа для: исходного ВР, ряда приращений и агрегированного ВР (в соответствии с таблицей 5.3).

Таблица 5.3 – Сводная таблица результатов фазового анализа

Исходный ВР			Приращения ВР			Агрегированный ВР по 7		
Наибольшая частота квазициклов	Длина квазицикла с тах частотой	Уравнение регрессии	Наибольшая частота квазициклов	Длина квазицикла с тах частотой	Уравнение регрессии	Наибольшая частота квазициклов	Длина квазицикла с тах частотой	Уравнение регрессии
159	5	$y = 0,9x + 4,7$	83	6	$y = 0,2x + 1,77$	13	6	$y = 0,82x + 112,06$

Для волатильных временных рядов требуются дополнительные исследования в разрезе построения формаций (агрегирование, приращение). Результаты предпрогнозного анализа нужны для подбора или разработки прогнозной модели. Точность же количественного прогноза определяет последовательность данных, которая позволяет выявить возможности появления следующего значения во времени.

Апробация программного комплекса проведена на основе реальных данных объема туристического потока. Получены количественные значения и качественные характеристики предпрогнозной информации для значений нижнего уровня моделирования туристско-рекреационной деятельности, которые в свою очередь являются входными данными для прогнозных моделей верхнего уровня управления туристско-рекреационной деятельностью (планирование занятости и брони номерного фонда), что становится особо важным фактом в условиях развития отечественного туризма.

5.3. Среднесрочное прогнозирование декомпозиционных временных рядов социально-экономических показателей¹⁶

Предлагаемый в параграфе метод прогнозирования позволяет провести количественную оценку интенсивности туристического потока, как комплексного показателя, отражающего уровень туристического рынка региона или отдельного объекта (гостиничного комплекса, санатория, туристической базы и т. д.).

Используя анализ, обобщенные выводы и описание результатов исследования формирует «структурированную» информацию о временном ряде. Именно эти структурированные знания позволяют аналитику разработать обоснованные методы прогнозного анализа [313]. В параграфе, в качестве расчетной базы используются значения декомпозированных ежедневных временных рядов туристического потока в горнолыжный поселок Домбай по дням недели за период с 2015–2017 гг. Отметим, что количественные данные объема туристического потока – базовый показатель туристической и рекреационной деятельности страны, региона и отдельной организации. Представляет научный и практический интерес исследовать: исходный временной ряд (ВР) ежедневного туристического потока, и декомпозиционные ВР (по дням недели, отдельно ВР выходных дней (суббота, воскресенье), будни). Практическое значение исследования отдельно ВР выходных дней обусловлено тем фактом, что наибольшую часть туристов составляют близлежащие регионы для Карачаево-Черкесской Республики: Ставропольский край, Ростовская область, Краснодарский край. Отдельно отметим, что для выводов о количественном измерении динамики процесса любой природы исследование усредненных (типичных) значений не является результативным [254]. Точность количественного прогноза определяет последовательность данных, которая позволяет выявить возможности появления следующего значения во времени.

В классической статистике выделим три основных показателя, вычисляемых для временной последовательности данных: эксцесс, асимметрия и вариация.

¹⁶ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Василенко И.И., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Долгосрочное прогнозирование декомпозиционных временных рядов социально-экономических показателей / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Л. А. Чикатуева, И. И. Василенко // Современная экономика: проблемы и решения. – 2021. – № 9(141). – С. 29-41.

Считается, что три этих коэффициента выступают в качестве триады для оценки трендоустойчивости процесса [171, 249]. Сводные результаты исследования временного ряда туристического потока разных декомпозиций представлены в таблице 5.4. Основываясь на визуализации графического представления исходных данных декомпозиционных ВР по дням недели предложен авторский механизм проведения процедуры нормирования данных для дальнейшей процедуры прогноза: удалены единичные случаи выброса во временных рядах «Понедельник», «Четверг», «Пятница». Можно отметить, что выбросы соответствуют единичным событийным составляющим и создают «смазанную» картину (динамику).

Таблица 5.4 – Статистические показатели для декомпозированных временных рядов туристических потоков

Стат. показатели Дни недели	МХ	DX	σ	V	A	E	Медиана
Понедельник	63.16	2082.4	45.63	0.72	2.2	6.4	49.5
Вторник	61.4	2154.2	46.4	0.75	2.03	5.6	48
Среда	57.4	1184.5	34.4	0.6	1.8	5.21	48.5
Четверг	91.8	5098.5	71.4	0.77	1.6	2.28	73
Пятница	92.57	6962.9	83.4	0.9	2.24	5.45	69
Суббота	136	10116.2	100.6	0.74	1.45	2.43	108
Воскресенье	207.3	30179.8	173.7	0.84	1.33	1.39	151
Будни	370.8	29158.8	170.76	0.46	1.18	1.63	333
Выходные дни	344.7	43774	209.2	0.61	0.91	0.25	291.5
Исходный ВР «Туристы»	1021.1	11195.5	105.81	1.03	2.74	9.65	67

Нобелевским лауреатом Г. Марковицем определены два основных показателя риска: математическое ожидание и дисперсия или среднеквадратическое отклонение. В более поздних работах также были определены как показатели меры риска коэффициенты асимметрии:

$$A = \sigma^{-3} \sum_{s=1}^n (W_s - M)^3 P_s \quad (5.6)$$

и эксцесса:

$$E = \sigma^{-4} \sum_{s=1}^n (W_s - M)^4 P_s, \quad (5.7)$$

где P_s - это вероятность (относительная частота) значения случайной величины W_s , $1 \leq s \leq n$.

Анализ вычисленных рискованных показателей (в соответствии с таблицей 5.4) позволяет сделать ряд выводов:

- для декомпозиционных ВР будних дней в среднем ожидается заезд туристов в количестве 2-3 экскурсионных автобусов. Резкое увеличение туристического потока наблюдается в выходные дни, что подтверждается практикой;

- при относительно равных значениях математического ожидания у ВР «Четверг» и «Пятница» наблюдается значительная разница показателя дисперсии. Это является следствием различия в форме их распределении;

- коэффициент вариации для всех исследуемых ВР $V > 0.33$. Последнее означает то, что степень рассеивания данных считается значительной;

- для всех рассматриваемых ВР показатель асимметрии выше 0.5, т.е. в распределении данных наблюдается значительная асимметрия;

- выделенные в таблице значения показателя эксцесса, превышающие величину 3, характеризующую «нормальность» распределения, для нормированных ВР «Понедельник» и «Пятница», как и для ВР «Вторник» и «Среда» подтверждают факт, что их функции плотности вероятности не подчиняются закону Гаусса;

- преимущество показателя медианы состоит в том, что на нее не влияют выбросы. Существенный размах в значениях математического ожидания и медианы подтверждает факт неподчинения исследуемых ВР нормальному закону распределения.

Неподчинение закону нормального распределения эмпирических функций распределения исходных временных рядов туристических потоков говорит о невозможности исследования и прогнозирования таких процессов методами классической статистики. Представляет научный и практический интерес апробировать авторскую исследовательскую платформу для получения предпрогнозных характеристик декомпозиционных временных рядов.

Учитывая наличие «тяжелых хвостов» у исходного ВР и декомпозиционных ВР («Понедельник», «Вторник», «Среда», «Пятница») предлагается использовать

для выявления предпрогнозных характеристик и расчета прогнозных значений аппарат методов нелинейной динамики [107, 192], который зарекомендовал себя при работе не только с длинными (большими) выборками, но и с короткими ВР [339].

В таблице 5.5 представлены результаты вычисленных показателей, полученных на базе методов нелинейной динамики для исходного и декомпозированных временных рядов туристических потоков.

Таблица 5.5 – Результаты вычисленных показателей, полученных на базе методов нелинейной динамики для получения предпрогнозной информации в исследовании декомпозированных временных рядов туристического потока

Показатели Дни недели	Предпрогнозный анализ				
	Точка срыва	R/S-анализ		Фазовый анализ	
		Уравнение регрессии	Показатель Хёрста	Длина квазициклов с наибольшей частотой	Частота длины квазициклов
Понедельник	5	$y = 0.64 \cdot x - 0.42$	0.64	5	10
Вторник	5	$y = 0.67 \cdot x - 0.46$	0.67	5	7
Среда	7	$y = 0.62 \cdot x - 0.4$	0.62	5	7
Четверг	6	$y = 0.65 \cdot x - 0.43$	0.65	4; 5	8
Пятница	6	$y = 0.65 \cdot x - 0.43$	0.65	5	9
Суббота	5	$y = 0.65 \cdot x - 0.43$	0.65	4	9
Воскресенье	5	$y = 0.65 \cdot x - 0.42$	0.65	5	10
Будни		$y = 0.64 \cdot x - 0.42$		4	7
Выходные	5	$y = 0.61 \cdot x - 0.39$	0.61	5	10
Исходный ВР «Туристы»	6	$y = 0.63 \cdot x - 0.41$	0.63	5	46

Анализ расчетных данных таблицы 5.5 позволяет сделать следующие выводы:

- для каждого из исследуемых временных рядов в основном зафиксированы пятая или шестая точка срыва с R/S-траектории. В среднем длительность 5–6 недель характеризует месяц для декомпозиционных ВР, что в свою очередь представляет предпрогнозную информацию для определения глубины памяти временного ряда;

- у всех временных рядов значение показателя Хёрста принадлежит зоне «серого» шума. Последнее означает то, что ряды данных не следуют случайным блужданиям [255];

- уравнения регрессии однотипны у всех исследуемых ВР, этот вывод позволяет сделать анализ коэффициента a , значение которого колеблется в интервале от 0.61 до 0.67. т.е. вся исследуемая модельная серия ВР обладает свойством «фрактальности» [255, 447];

- длины квазициклов с наибольшей частотой равны соответственно 4 и 5, что равно календарному месяцу для декомпозиционных ВР по дням недели и количество будних дней для исходного ВР «Туристы»;

- одной из предпрогнозных характеристик является наибольшая частота длины квазициклов, которая характеризует свойство «const» у исследуемого процесса. У ВР «Туристы» самое высокое значение данного показателя, который означает наличие часто встречаемых 5-тидневных квазициклов. В данном контексте можно говорить о наличии свойства трендоустойчивости исследуемого процесса. Для декомпозиционных ВР наибольшая частота равна 10 (неделям), что в среднем позволит составить среднесрочный прогноз на 2 месяца;

Для того чтобы сохранить динамику поведения приращений исходных еженедельных временных рядов проведена процедура нормирования данных.

Представим алгоритм нормирования данных:

1. В исходном ВР приращений найти минимальное значение;
2. Вычислить его абсолютное значение;
3. Последнее добавить к каждому элементу исходного ВР приращений;
4. Во избежание нулевых элементов ряда к каждому значению полученного ВР прибавим $\Delta > 0$, в нашем случае $\Delta = 1$.

Таким образом, динамика значений исследуемого нормированного ряда приращений соответствует динамике базового ряда, а положительные значения элементов нормированного ряда позволяют рассчитать прогноз и применить к ряду алгоритм линейного клеточного автомата.

Анализ расчетов таблицы 5.6 позволяет сделать следующие выводы:

- для исследуемых исходных временных рядов значение глубины памяти варьируется в диапазоне от 7 до 16; для нормированных декомпозиционных ВР в интервале от 7 до 9. Это означает, что последние более трендоустойчивы [254];

- результаты, полученные на базе линейного клеточного автомата (столбец «Ошибка прогноза») для нормированного временного ряда значений туристического потока значительно лучше, чем для исходного ВР. Ошибка прогноза для нормированных временных рядов приращений не превышает 22 % и на порядок ниже, чем у исходных данных. Отметим, что для природных процессов апробация алгоритма ЛКА показывает ошибку прогноза не более 25 % [251].

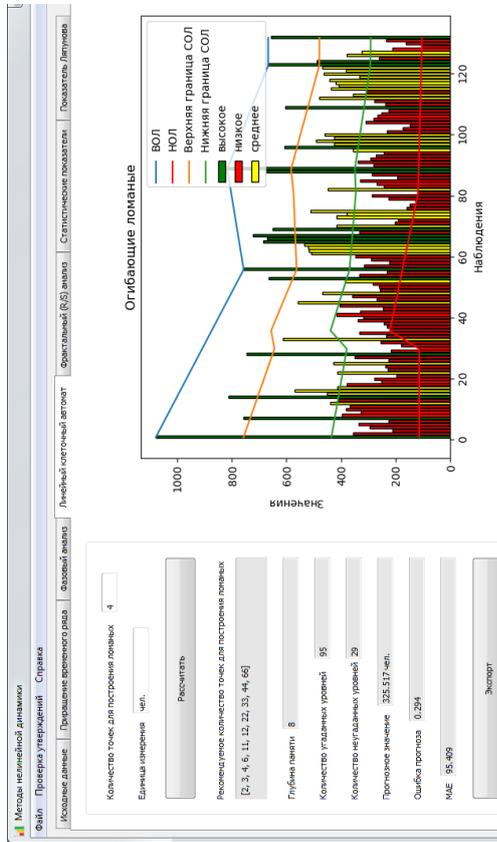
- средняя абсолютная ошибка MAE для исходных декомпозиционных ВР варьируется в диапазоне (19; 85). Наиболее адекватная прогнозная модель составлена для ВР «Среда», т. к. для него получено наименьшее значение MAE.

Таблица 5.6 – Результаты применения алгоритма линейного клеточного автомата для декомпозированных временных рядов туристического потока

	Исходные временные ряды				Нормированные временные ряды приращений		
	Прогноз	Глубина памяти	Ошибка прогноза (%)	MAE (%)	Глубина памяти	Ошибка прогноза (%)	MAE (%)
Понедельник	61.3	8	41	24.4	8	13.6	29.2
Вторник	26.4	9	43	26.8	8	15.7	31.6
Среда	53.2	8	37	19.4	7	17.1	27.4
Четверг	87	9	43	36.6	8	20	50.2
Пятница	75.6	13	50	43.8	8	16.7	58.8
Суббота	118.8	8	48	61.9	8	20	77.4
Воскресенье	175.5	9	47.6	84.8	9	16.8	97.4
Будни	325.5	8	29.4	95.4	8	22	108.6
Выходные	354	7	36.4	104.5	7	20.4	116.5
ВР «Туристы»	58.4	16	56.9	58.7	16	10.7	71.5

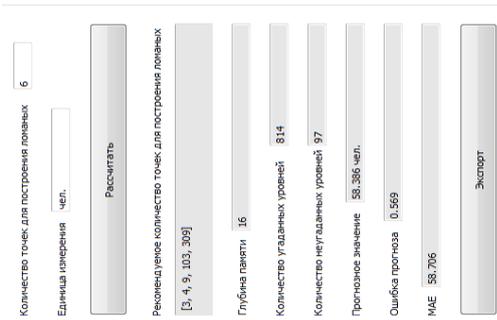
На рисунках 5.7–5.9 представлена авторская разработка «Методы нелинейной динамики», вкладка «Линейный клеточный автомат» [305], в которой заложены вышеперечисленные алгоритмы методов нелинейной динамики.

Результат работы алгоритма линейного клеточного автомата представлен для двух исходных ВР: «Будни», для которого получена ошибка прогноза меньше 30 % и исходного ежедневного ВР «Туристы» с наибольшей ошибкой прогноза. На рисунке 5.9 представлены три графика: динамика самого ВР, результат работы прогнозной модели и скользящая средняя.

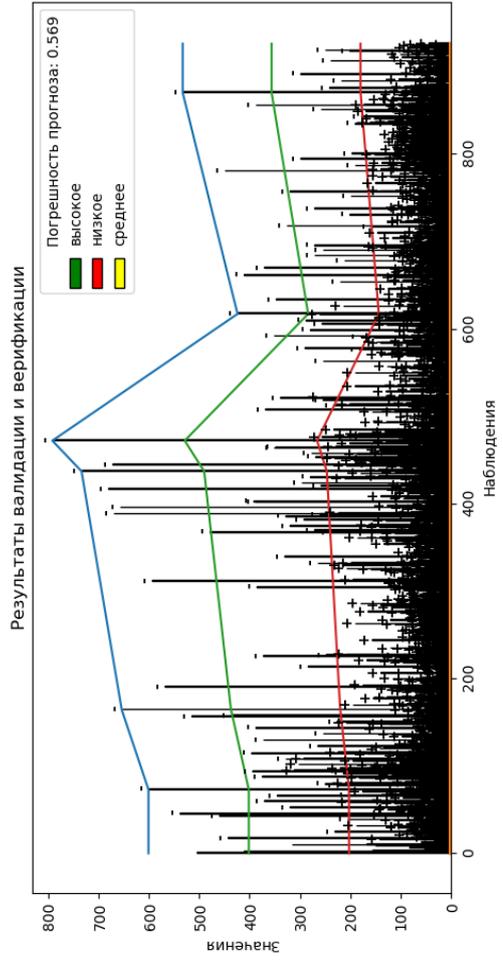


а) VR «Будни»

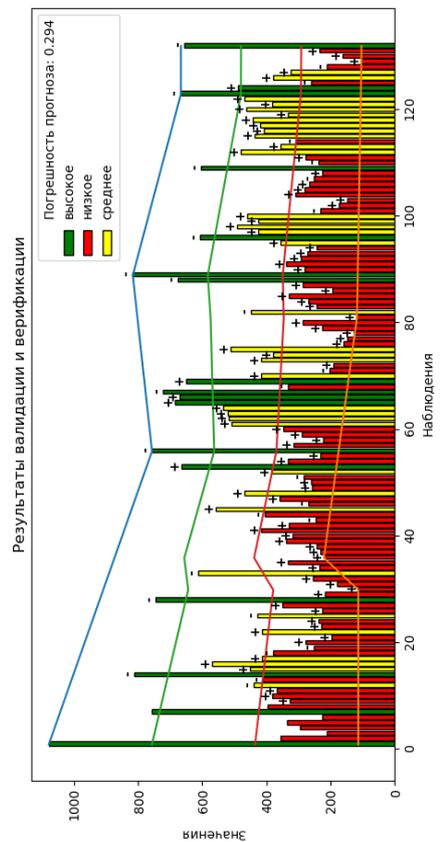
Рисунок 5.7 – Верификация прогнозной модели линейного клеточного автомата



б) исходный VR «Туристы»



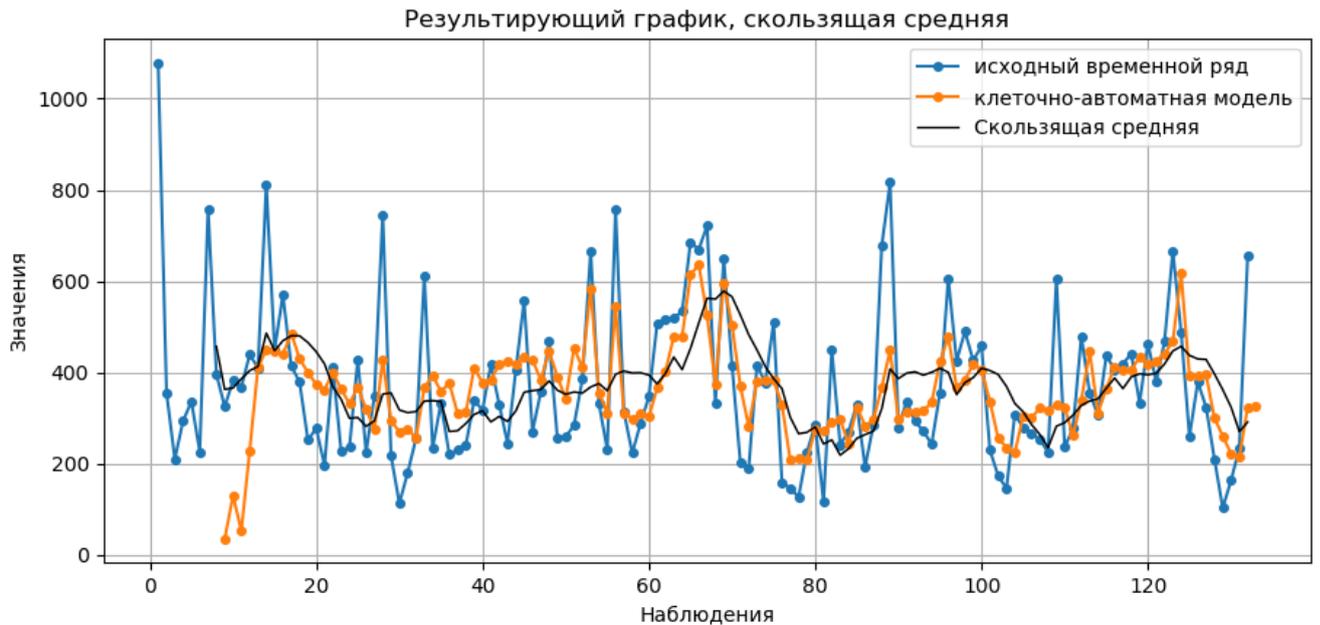
г) исходный VR «Туристы»



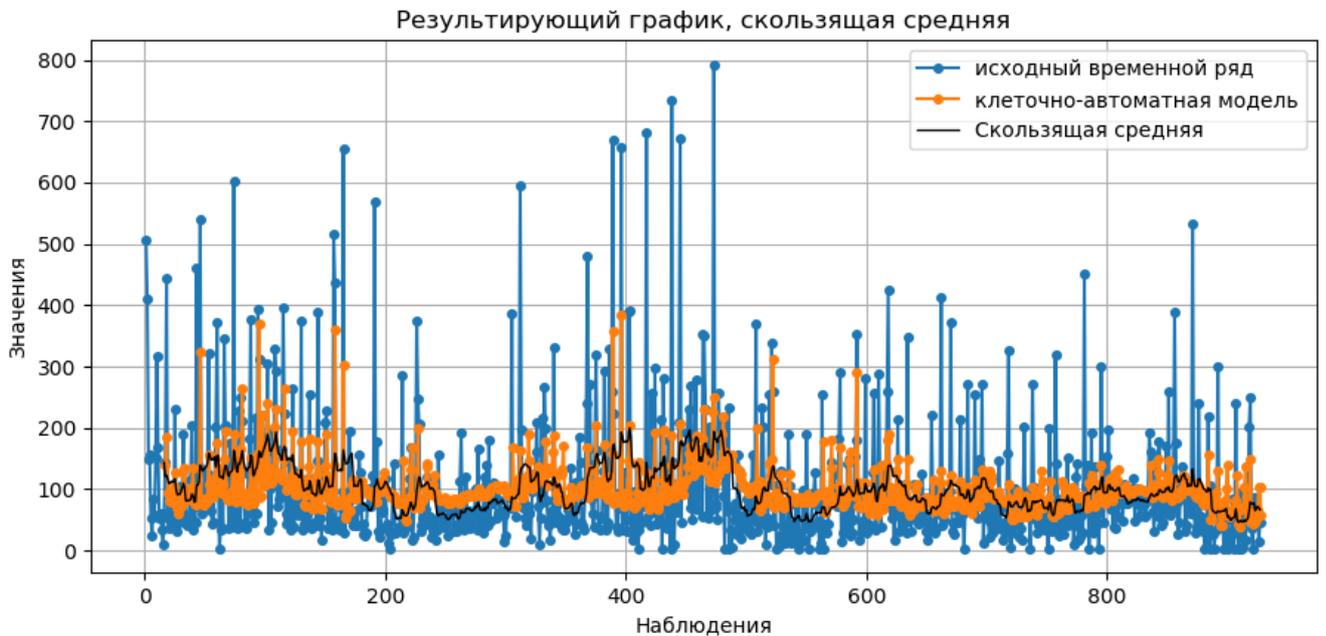
в) VR «Будни»

Рисунок 5.8 – Валидация прогнозной модели линейного клеточного автомата

При проведении сравнительного анализа классических методов прогнозирования и методов нелинейной динамики, можно сделать вывод о том, что для волатильных временных рядов требуются дополнительные исследования в разрезе построения формаций (агрегирование, приращение).



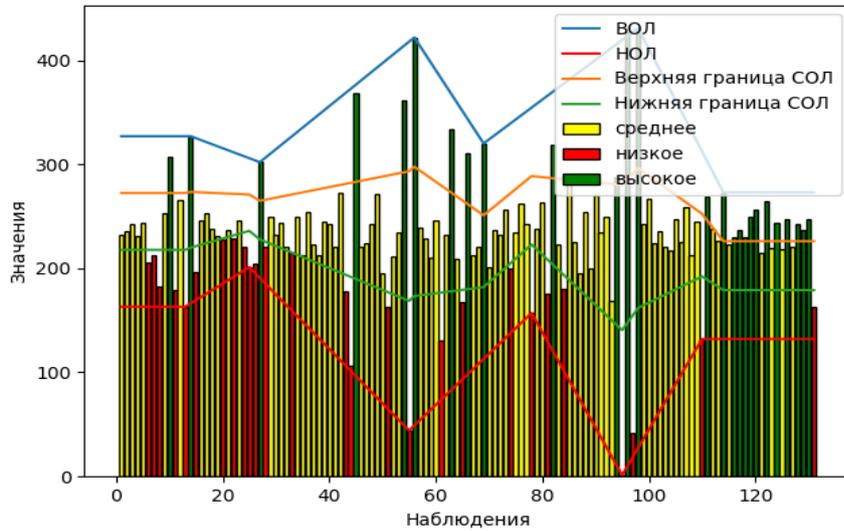
д) ВР «Будни»



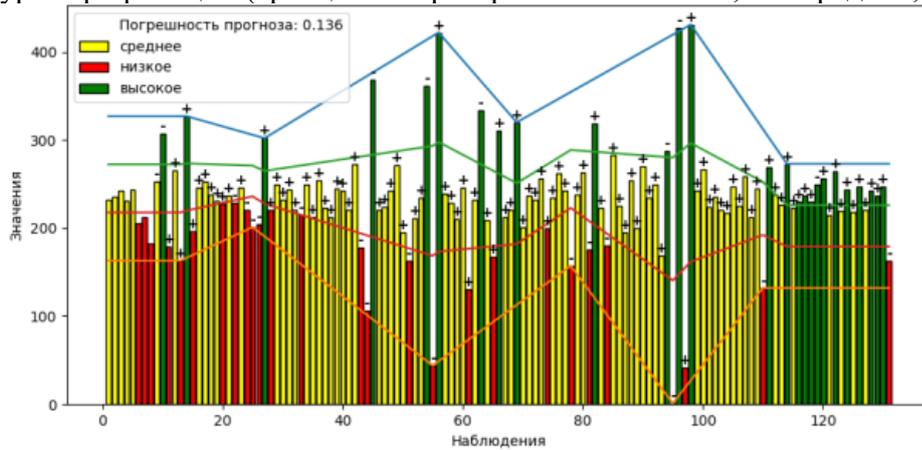
е) исходный ВР «Туристы»

Рисунок 5.9 – Дефаззификация прогнозной модели линейного клеточного автомата

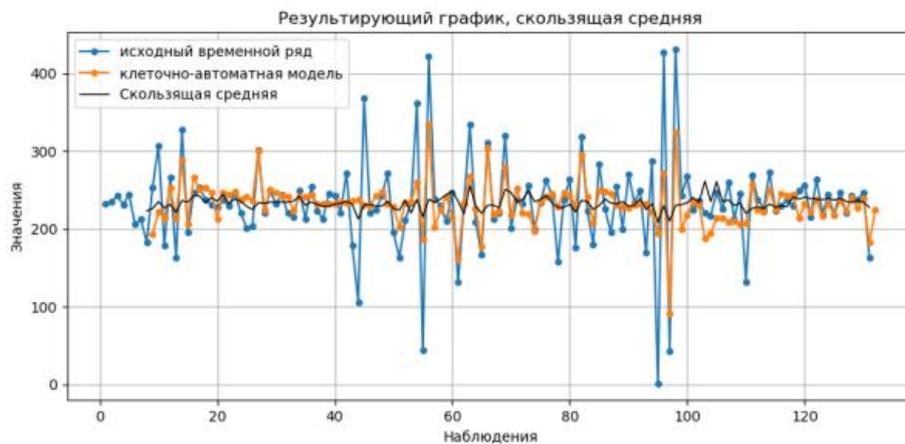
На рисунке 5.10 представлены результаты применения алгоритма линейного клеточного автомата в исследовании нормированного временного ряда приращений «Понедельник», для которого получена ошибка прогноза 13.6 %.



а) Процедура верификации (трехцветная раскраска: Н – низкие, С – средние, В – высокие)



б) Процедура валидации



в) Процедура дефаззификации

Рисунок 5.10 – Линейный клеточный автомат в исследовании нормированного временного ряда приращений «Понедельник»

Отдельно отметим, что прогнозирование является важным инструментом в сфере туризма, поскольку позволяет предсказывать будущие тенденции и изменения в этой отрасли. Вот несколько причин, почему прогнозирование является необходимым:

- Планирование и управление: прогнозы позволяют туристическим компаниям и организациям планировать свои действия на будущее. Они могут определить, какие ресурсы требуются, какие направления следует развивать и какие маркетинговые стратегии применять. Это помогает им эффективно управлять своими ресурсами и принимать обоснованные решения.

- Адаптация к изменениям: прогнозы позволяют предсказать возможные изменения в сфере туризма, такие как изменение вкусов и предпочтений туристов, изменение экономической ситуации и политической стабильности. Это позволяет туристическим компаниям адаптироваться к этим изменениям заранее и принять соответствующие меры.

- Привлечение инвестиций: прогнозирование помогает привлекать инвестиции в сферу туризма. Имея четкие данные о будущих перспективах этой отрасли, инвесторы могут принять решение о вложении своих средств. Это способствует развитию и росту туристической инфраструктуры.

- Улучшение качества услуг: прогнозирование позволяет предсказать потребности и требования туристов. Используя прогнозы, туристические компании могут улучшить качество своих услуг, предлагая более персонализированные и инновационные варианты. Это помогает повысить уровень удовлетворенности клиентов и укрепить репутацию компании.

В целом, прогнозирование играет важную роль в сфере туризма, предоставляя информацию, необходимую для планирования, принятия решений и развития отрасли. Оно помогает повысить эффективность работы туристических компаний, обеспечивает их конкурентоспособность и способствует удовлетворенности клиентов. Используя механизм работы перечисленных алгоритмов важно получить синергетический эффект от исследования сложных социально-экономических процессов в разрезе сравнения результатов диады: исходного временного ряда и

ряда его приращений. Таким образом, в работе представлена апробация разработанного комплекса программ по автоматизации методов нелинейной динамики применительно к элементам рекреационной системы на реальных данных туристического потока. Осуществлен анализ и реализована процедура прогноза этих данных для нижнего уровня моделирования туристско-рекреационной деятельности. Полученные прогнозные значения в свою очередь являются входными данными для моделей верхнего уровня управления туристско-рекреационной деятельностью (планирование брони номерного фонда), что становится особо важным фактом в условиях развития отечественного туризма в создавшихся рамках эпидемиологической ситуации.

Предлагаемые методы многоуровневого моделирования с прогнозным результатом являются универсальными, могут быть применены как к отдельному предприятию туристического комплекса, так и к региону в целом. Имея в арсенале ежедневные данные туристического потока за многолетний период (как минимум за 5–10 лет) и используя разработанные методики прогнозного моделирования оценки уровня интенсивности туристического потока, можно решать вопросы управления сферой туризма от бронирования номерного фонда до ее финансирования и планирования инвестиций.

5.4. Концепция двухуровневого подхода к моделированию социально-экономических процессов¹⁷

Вопрос управления туристическим потоком для руководителя гостиничным комплексом является главным в становлении и развитии бизнеса. Многообразие влияющих на интенсивность туристического потока факторов, как эндогенных, так и экзогенных, при разработке математических моделей предполагает использование многокритериального или сценарного подхода для принятия управленче-

¹⁷ Материалы, представленные в данном разделе диссертации, отражают результаты исследований, полученные совместно с Поповой Е.В., они частично были ранее опубликованы в статье в научном рецензируемом издании: Инструментальные средства в управлении ресурсами туристического бизнеса / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, С. А. Курносков [и др.] // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 11-2. – С. 259–266.

ский решений. Показатель интенсивности туристического потока и, как следствие, процент заполняемости номерного фонда гостиниц на прямую влияет на итоговые финансовые результаты гостиничного бизнеса, что подтверждает актуальность представленных в данной работе математических моделей и их программной реализации [143].

Альтернативные подходы по организации и управлению ресурсами рекреационной деятельности в вопросах регулирования отечественной туристической деятельности активно разрабатывались с 70-х годов прошлого столетия. В настоящий момент актуальность прогнозирования величины туристического потока обусловлена необходимостью принятия обоснованных решений, как для туроператоров, так и для специализированных электронных площадок, а именно – системам онлайн бронирования OTA [366, 389, 406].

Отдельно выделим актуальные каналы продаж номерного фонда в гостиничном бизнесе России. Такие крупные электронные площадки (электронные системы бронирования OTA) как Booking и Airbnb, а как следствие и Agoda, Momondo, HotelsCombined и Hotels.com. приостановили бронирования в России и Беларуси. Booking и Airbnb ранее были наиболее востребованы и известны для бронирования туристического жилья, как в России, так и за рубежом. На Booking приходилось 78 % всех бронирований в России [490]. Заккрытие этих иностранных сервисов для самостоятельно путешествующих открыло возможности использования отечественных площадок для бронирования отелей, гостиничных комплексов и апартаментов (Ostrovok, Bronevik, 101Hotels, TVIL). Эти специализированные площадки – системы онлайн бронирования OTA определим в качестве первого канала продаж номерного фонда. В качестве второго канала рассмотрим такой вариант, как разработка и использование личного сайта отеля через встроенный модуль онлайн бронирования, который подразумевает самостоятельный выбор номера и его мгновенное резервирование. Использование бронирования непосредственно по телефону отдела продаж и пакетные продажи через туристические агентства и операторов – третий и четвертый каналы продаж.

Рассматривая теоретические аспекты управления сложным процессом организации продаж номерного фонда, отметим следующие основные моменты [106]:

- преследование цели получения максимизации прибыли от продаж туристических путевок в условиях неопределенности;
- наличие информационной базы будущего поведения системы (в данном случае информация по прогнозам туристического потока);
- построение сценариев возможных исходов системы на базе модели «дерева решений».

Данная работа представляет программную реализацию сценарного подхода для решения задачи управления гостиничным бизнесом на базе численного прогноза величины туристического потока. Отметим, что прогноз может быть заказан в научно-исследовательской организации региона за определенное вознаграждение.

Постановка задачи. Управляющему курортного гостиничного комплекса (200 номеров) пос. Домбай [105, 202] необходимо принять решение о реализации номерного фонда на период высокого сезона. Отметим, что интенсивность туристического потока, а также влияющие на ее значение факторы (природные, экологические, эпидемиологические, инфляция и др.) отражаются на стоимости номера за сутки, которая может быть изменена, в том числе, и в течение сезона. Отельный обычно ориентируется на статистику предыдущих сезонов. Например, придерживав номерной фонд и выставив на продажу во время высокого сезона возможно номер удастся продать, используя второй и третий вышеописанные каналы продаж, по более выгодной цене, чем если выставлять пакетные продажи на выкуп туристическим агентствам по оптовой цене. Для демонстрации работы инструментального средства сделаем следующее предположение. Значение вероятности востребованности номерного фонда в гостиничном комплексе равна соответственно 0.3 (высокая), 0.3(средняя), 0.4(низкая). Фактически, именно эти показатели могут быть результатом заказанного прогноза или оценкой эксперта, в роли которого может выступить управляющий.

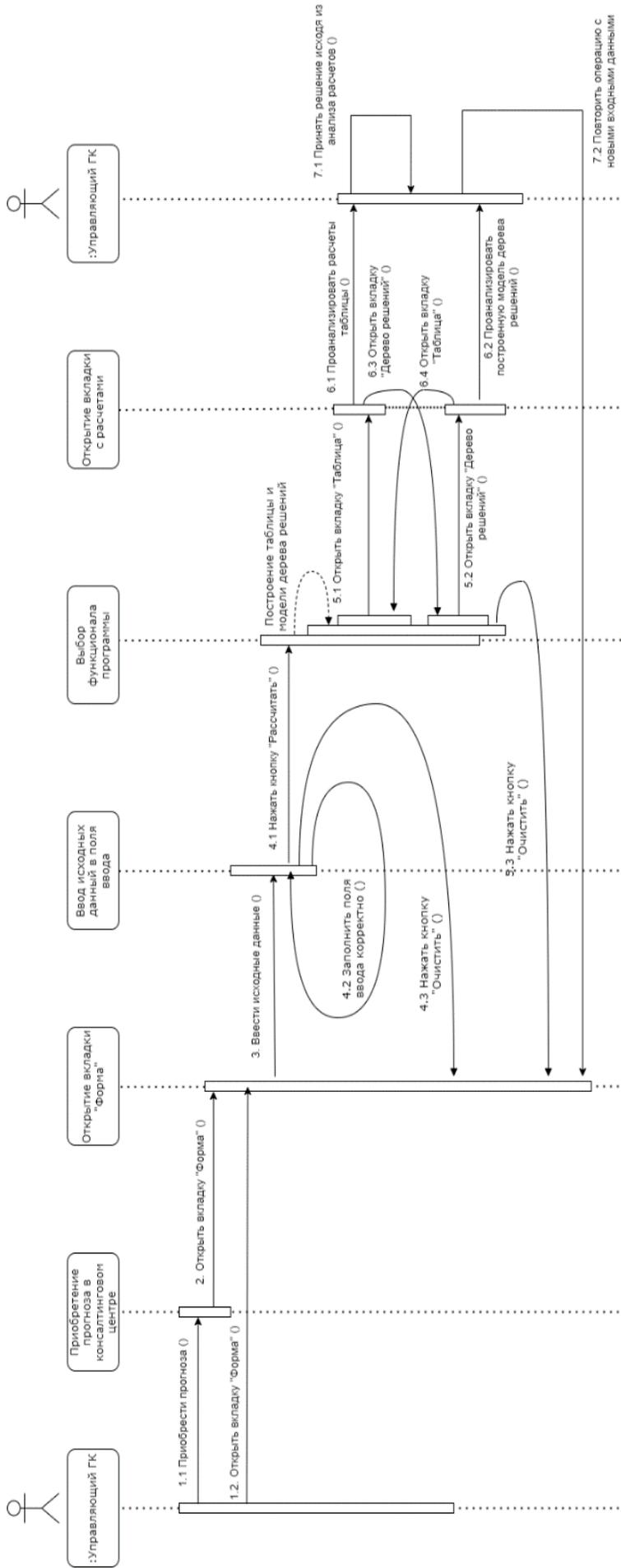


Рисунок 5.11 – Диаграмма последовательности действий пользователя в разработанном авторском инструментальном средстве для выработки управленческих решений в туристическом бизнесе. Источник рисунка: диаграмма выполнена с помощью средств сайта <https://app.diagrams.net/>

Какое решение должен принять отельер (выставить по оптовой цене на выкуп турфирмам все 100 % заранее за 10–12 месяцев – нулевая стратегия, либо «придержать» номерной фонд и, учитывая значения вероятности и реализовать номерной фонд в определенных пропорциях, используя все каналы продаж) для получения наиболее высокого дохода.

Примечание 5.1. Для решения вопроса по реализации номерного фонда (предполагается, что все номера равноценны) и демонстрации работы разработанного инструментального средства используем следующие модельные данные: номерной фонд – 200 номеров, содержание номерного фонда – 12 млн руб., стоимость номеров при самостоятельной реализации (минимальная – 4000 руб., средняя – 6000 руб., максимальная – 8000 руб.), для площадок ОТА (минимальная – 3400 руб., средняя – 5400 руб., максимальная – 7400 руб.). Стоимость прогноза – 50 000 руб.

Примечание 5.2. Нулевой сценарий: отельер продает по оптовой цене туристическим агентствам номерной фонд заранее (12 мес.) на весь период высокого горного сезона 90 дней за 12 млн руб., которые обеспечат минимальную прибыль на развитие бизнеса.

Диаграмма последовательности [111] действий пользователя в информационной системе моделирует взаимодействие между объектами в едином сценарии использования (рисунок 5.11). Такие диаграммы иллюстрируют порядок действий выполнения конкретного случая выбранного пользователем, а также благодаря диаграмме можно понять, как различные части системы взаимодействуют друг с другом.

Ниже представлен результат работы разработанного авторского инструментального средства построения дерева решений сценарного подхода для многоуровневых прогнозных моделей в туристическом бизнесе.

Для проектирования авторского инструментального средства «Дерево решений» целесообразно использован Electron – это фреймворк для разработки настольных приложений с использованием HTML, CSS и JavaScript, с использованием библиотек – D3.js. При выборе графического средства представления мо-

дели дерева решений, использованы две технологии рисования с хранением объектов в памяти – SVG и CANVAS.. Такие приложения могут работать на различных платформах. Среди них – Windows, Mac и Linux. Также для отдельных модулей использован инструмент React.js – это JavaScript-библиотека от Facebook для удобной разработки интерфейсов. Библиотека «Echarts-forreact» является оптимальным графическим средством для представления модели дерева решений.

Организация информационной системы для отельеров по организации продаж номерного фонда определена в форме web-приложения. Основные вкладки web-приложения:

- Форма (ввод данных);
- Таблица (расчет);
- Дерево решений (графическая визуализация).

Рисунок 5.11 отображает возможные последовательности действий пользователя в разработанном инструментальном средстве. На первом этапе отельер может купить прогноз в консалтинговом центре или сразу имея исходные входные данные перейти ко второму этапу – Открытие вкладки «Форма».

Вкладка «Форма» содержит поля для входных данных, такие как: номерной фонд, вложения, цена прогноза, вариации цен, вероятностей и распределения номерного фонда, а также кнопки «Очистить» и «Расчитать». Рисунок 5.12 иллюстрирует вид вкладки «Форма».

Рисунок 5.12 – Вид вкладки «Форма»



Рисунок 5.13 – Интерфейс инструментального средства «Дерево решений»

Если отельер ввел некорректные данные в форму, будет выведено сообщение об ошибке, необходимо их устранить для расчета прогноза. После верного ввода входных данных пользователь (отельер) может рассчитать прибыль или очистить поля ввода.

В случае расчета прибыли будут построены таблица с расчетами и модель дерева решений, располагаются в соответствующих названиям вкладках инструментального средства. На следующем этапе пользователь может открыть вкладку «Таблица», вкладку «Дерево решений» (рисунок 5.13) или нажать кнопку «Очистить».

Для демонстрации и пояснения процесса принятия решения использован практический пример, в основе которого управляющий комплексом гостиниц оформляет заявку и выкупает аналитику по прогнозу формируемых цен на номерной фонд в период высокого горного сезона (рисунок 5.14). Зная уровни платежеспособности контингента «своих» отдыхающих, отельер может экспертным путем определить уровень интенсивности ожидаемого туристического потока [26, 211, 272].

Представленное на рисунке 5.14 автоматически сформированное дерево решений возможных исходов наглядно показывает сложность процесса принятия решений по выбору каналов продаж для принятия эффективных хозяйственных решений в сложившихся на настоящий момент санкционных ограничениях [309, 401]. Исходя из расчетной информации, отельер получит дополнительную прибыль от 860 000 руб. до 2 490 000 руб. за сезон при введенных начальных условиях на рисунке 5.14.

Таким образом, по окончании анализа пользователь сможет принять решение или повторить операцию с новыми входными данными для выбора наилучшего варианта. На рисунке 5.14 представлен пример расчета дерева решений без заказа прогноза в консалтинговом центре (начальные условия рисунка 5.13).



Рисунок 5.14 – Построение дерева решений без заказа прогноза в консалтинговом центре

Многовариантность решений при выборе начальных условий (в форме рисунка 5.14) позволит отелю эффективно и рационально управлять номерным фондом для извлечения максимальной прибыли в туристическом бизнесе. Многокритериальная природа риска востребованности номерного фонда в сезон зависит от многих внешних и внутренних факторов: политических, природно-климатических, маркетинговых, социально-экономических и многих других.

В развитии и деловой активности туристических фирм по бронированию номерного фонда и их реализации по каналам продаж значительную роль играют математические, статистические и инструментальные методы и средства. Для автоматизации основной деятельности туристических фирм по организации продаж номерного фонда необходимым условием развития и конкурентоспособности [322, 325] является внедрение инструментальных средств для сотрудников: отелю, агента, менеджера. Такое приложение – это рабочее место отелю, которое поможет упорядочить процессы, тем самым снизить предпринимательский риск [25, 181] при управлении номерным фондом, оборота койко-мест, изменении цен на туристические путевки, построении логистических решений. Отдельно отметим факт важности предпрогнозного исследования и многоуровневого подхода к экономико-математическому моделированию, когда прогнозные значения представляют собой входную информацию для математических моделей верхнего уровня, основной задачей которых является принятие эффективного управленческого решения, включая туристско-рекреационную производственную деятельность.

Для исследования положений третьей главы (пункты научной новизны №№ 5, 6, 9) использованы авторские программы для ЭВМ, которые подтвержде-

ны свидетельствами о регистрации программного обеспечения №№ 2020612899, 2020662164, 2021664506», приведены в Приложении В.

Положения пятой главы могут быть использованы при реализации и корректировке: Национальных проектов РФ (Цифровая экономика, Наука и университеты, Малое и среднее предпринимательство, Туризм и индустрия гостеприимства); документов и проектов (Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, Об утверждении Положения о Федеральном агентстве по туризму), при интеграции полученных результатов в существующую ФГИС страны в сфере туризма «Официальный интернет-сайт Федерального агентства по туризму».

5.5. Выводы

1. Декомпозиционный подход к анализу ежедневного временного ряда туристического потока в своей базовой основе содержит классические методы статистики и теории вероятности: сбор данных, кластеризация данных по дням недели, составление матрицы коэффициентов корреляции между отдельными временными рядами по дням недели, определение зависимых между собой декомпозиционных временных рядов по дням недели.

2. Отличительной особенностью представленного инструментального средства является то, что система в качестве выходного файла дополнительно представляет сводную таблицу результатов фазового анализа для триады: исходного временного ряда, ряда приращений и агрегированных данных, при этом важен получаемый синергетический эффект от исследования сложных социально-экономических процессов в разрезе полученных результатов.

3. Результаты анализа и прогноза на реальных данных туристического потока в виде значений нижнего уровня моделирования туристско-рекреационной деятельности, могут являются входными данными для моделей верхнего уровня – уровня управления туристско-рекреационной деятельностью. Количественный прогноз величины туристического потока позволяет решать вопросы управления

туристско-рекреационной деятельностью, например, в планировании занятости номерного фонда.

4. Комплекс задач, решаемых с помощью разработки: получение максимальной прибыли от продаж туристических путевок в условиях неопределенности; создание информационной базы будущего поведения системы (в данном случае информация по прогнозам туристического потока); построение сценариев возможных исходов системы на базе «дерева решений».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведём новые, наиболее существенные, основные результаты, полученные в диссертации, имеющие как экономико-математическое, теоретико-методологическое, так и практическое прикладное значение.

Предложен метод визуализации современного состояния зернового производства страны для анализа волатильных экономических процессов, объектов и систем, отличительной особенностью представленного инструментального средства является анализ и визуализация структурированных данных одновременно в трех плоскостях: временной, территориальной, по выбранному показателю, что позволяет более полно учитывать специфику исследуемой предметной области в условиях изменения глобальных трендов и тенденций.

Разработана авторская единая экономико-математическая исследовательская платформа с теорией, синергетической методологией и моделями прогнозирования экономических процессов, зависящих от увеличивающейся волатильности, цикличности и неустойчивости внешних факторов. Отличие авторской платформы состоит в использовании нетрадиционного синергетического анализа и синтеза прогнозов с одновременным взаимодействием нескольких взаимодополняющих алгоритмов экономико-математических методов, что позволяет исследовать многомерную зависимость, а также строить частные прогнозы с их обобщением в один прогнозный показатель.

Разработан методический подход и его программная реализация для получения прогноза динамики экономических показателей, отличие которого состоит в комплексном использовании алгоритмов и методов нелинейной динамики, что позволило установить синхронизацию прогнозных характеристик, полученных в ходе проведения предпрогнозного анализа агроэкономических процессов с глубокой памяти, выявленной на базе алгоритма линейного клеточного автомата.

Разработан инструментарий на базе алгоритма фазового анализа для исследования и выявления свойств цикличности волатильных процессов. Отличие которого состоит в параллельном исследовании триады: исходного временного ря-

да, ряда его приращений и агрегированных данных экономического процесса, что позволяет выявить синергетический эффект от исследования сложных экономических процессов.

Разработаны сплайн-функции для обнаружения цикличности как внешних природно-климатических показателей (солнечная активность, количество осадков, температура окружающей среды), так и вторичного показателя (урожайность пшеницы), позволяющие строить непрерывные полиформные кусочно-аппроксимационные модели, отличающиеся от известных в литературе мономоделей и метода наименьших квадратов аналитичностью и приспособленностью для процессов с изменяющейся структурой («прогноз-3»), что позволяет определить топологические и метрические характеристики циклов (начало, конец, длины, размахи по осям переменной и её первой производной и пр.).

Развит математический аппарат алгоритма линейного клеточного автомата, применяемый в прогнозировании сложных процессов: «малых» выборок; больших данных; для временных рядов, эмпирическая функция распределения которых не подчиняется закону Гаусса. Отличительной особенностью метода ЛКА является возможность составления среднесрочного прогноза (свыше 1 года), за счет нахождения глубины памяти временного ряда, что позволяет выявить новые полезные прогнозные характеристики с точки зрения методологии исследования: глубина долговременной памяти; прогноз в числовом выражении и в виде терма (Н – низкое, С – среднее, В – высокое значение), среднесрочный прогноз в рамках «лага» глубины памяти.

Оценена согласованность полученных прогнозов внешних факторов с прогнозами экономических показателей на базе коэффициента конкордации Кендалла, отличающаяся учетом не только всего разнообразия воздействующих внешних факторов, но и включающим в себя взаимно-дополняющие методы и подходы к прогнозированию экономических показателей, что позволило сформировать кластер локальных прогнозов и определить достоверность предложенной концепции для прогнозирования значений экономических показателей.

Адаптирован метод машинного обучения – нейронная сеть при обучении временного ряда цен на пшеницу, отличие которого состоит в комбинированном подходе применения модели ConvLSTM для прогнозирования сложных процессов с двумя сверточными нейронными сетями, а также двумя LSTM слоями (рекуррентные нейронные сети и сети с долговременной кратковременной памятью), что позволило обработать огромные объемы данных и выявить синергетический эффект от исследования сложных экономических процессов в разрезе результатов диады: исходного временного ряда и агрегированных данных.

Адаптирована многоуровневая модель снижения предпринимательского риска в зерновом производстве с учетом прогнозов риск-экстремальных факторов и ее программная реализация, включающая получение прогноза на базе алгоритма линейного клеточного автомата и разработку «дерева решений». Отличительной особенностью разработанного инструментария для руководителя хозяйствующего субъекта (зернопроизводитель, отельер) является маневрирование материальными ресурсами (выбор времени продаж зерновой продукции / номерного фонда в условиях неопределенности и риска), что позволяет показать различные сценарии реализации зерновой продукции (номерного фонда) через различные каналы продаж (опт, перерабатывающие организации, физические лица, а также хранение в зернохранилище / системам онлайн бронирования OTA), где в качестве входной информации использованы полученные прогнозы. Показано, как точность результатов прогнозов на нижнем уровне влияет на итоговый результат принятия решений в моделях верхнего уровня и снижения предпринимательского риска.

Показано, что существующие методы прогнозирования экономических показателей отдельно выбранного сектора экономики (математические методы классической статистики, стохастические модели, методики сценарного прогнозирования, системный подход, мониторинг на основе спутниковых систем, глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана) не предусматривают возможности получения среднесрочного прогноза (свыше 1 года) расчетным способом в условиях неопределенности, влиянием на них риск-экстремальных факторов.

Предложено решение основной проблемы математического моделирования механизмов предвидения и прогнозирования в современных социально-экономических условиях временных рядов экономических показателей отдельно выбранного сектора экономики и в некоторых случаях с ограниченными данными в виде малых выборок. На практике возникают определенные сложности при исследовании стохастических процессов: короткие ряды значений временных рядов, многокритериальный характер динамики временного ряда экономического показателя, нелинейность динамики показателей, нечеткие данные, большие объемы данных, интервальность как входных, так и выходных данных, влияющие на валидность и точность результатов. Прогнозирование таких «проблемных» временных рядов экономических показателей и риск-экстремальных факторов, влияющих на них, является актуальной темой.

Разработана платформа получения среднесрочного прогноза значений экономического показателя для отдельно выбранной отрасли на базе синергетической методологии. Методология системно сочетает частные показатели прогнозов экономических показателей в одном глобальном решении. Предложенная платформа предполагает решение проблемы получения среднесрочного прогноза высокой точности использует нетрадиционный синергетический анализ и синтез прогнозов с одновременным взаимодействием нескольких взаимодополняющих алгоритмов экономико-математических методов, включающих учёт «долговременной памяти» и обнаруживающих принципиальную цикличность первичных факторов и результирующего экономического показателя.

Все анализируемые временные ряды выбранных предметных областей: зерновое производство, сфера туризма, финансовый рынок являются волатильными, что требует разработки нового методического инструментария с использованием методов нелинейной динамики для получения среднесрочных прогнозов экономических показателей в условиях риска и неопределенности. Это может послужить направлением дальнейших исследований.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АПК – агропромышленный комплекс,
АЧР – Азиатская часть России,
БД – база данных,
ВР – временной ряд,
ВЦФ – векторно-целевая функция,
ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова,
ЕМИСС – Единая межведомственная информационно-статистическая система,
ЕС – Европейский Союз,
ЕЧР – Европейская часть России,
КК – Краснодарский край,
КЧР – Карачаево-Черкесская Республика,
ЛВР – лингвистический временной ряд,
ЛКА – линейный клеточный автомат,
ЛНМ – лингвистическое нечеткое множество,
ЛПР – лицо, принимающее решение,
МДР – множество допустимых решений,
НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы,
НМ – нечеткое множество,
НС – нейронная сеть,
НТМ – нечеткое терм-множество,
ОГП – ориентированный граф переходов,
ООО – общество с ограниченной ответственностью,
ПО – программное обеспечение,
Риск-экстремальные факторы – природно-климатические факторы (осадки, температура), влияющие на экономические показатели зернового производства,
СК – Ставропольский край,
СКМ – система компьютерной математики,
СКО – среднеквадратическое отклонение,

СППР – система поддержки и принятия решения,

СЭС – социально-экономическая система,

ФА – фазовый анализ,

ФГИС – Федеральная государственная информационная система Федеральной службы по аккредитации,

ФП – фазовый портрет,

ЧС – чрезвычайная ситуация,

Maple – система компьютерной математики, ориентированная на сложные математические вычисления, визуализацию данных и моделирование,

NP задача – полная задача, решение которой можно проверить на детерминированной машине Тьюринга за полиномиальное время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно-правовые акты

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

2. Закон Российской Федерации «О зерне» от 14 мая 1993 г. N 4973-I (в ред. Федеральных законов от 02.12.1994 N 53-ФЗ, от 10.01.2003 N 15-ФЗ, от 02.02.2006 N 19-ФЗ, от 16.03.2006 N 1-ФЗ, с изм., внесенными Указом Президента РФ от 21.12.1993 N 2232);

3. Федеральный закон от 29.12.2006 N 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» (принят Государственной Думой Федерального Собрания РФ 22.12.2006);

4. Доктрина продовольственной безопасности России до 2020 года. [Электронный ресурс] – URL: <https://2020-god.com/doktrina-prodovolstvennoj-bezopasnosti-rossii-do-2020-goda/>

5. Национальный доклад "О ходе и результатах реализации в 2022 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия"

6. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/4302771996370/>

7. «О системе управления реализацией программы «Цифровая экономика Российской Федерации»: Постановление Правительства РФ от 02.03.2019 N 234 (Ред. от 07.12.2019). [Электронный ресурс] – URL: <https://www.zakonrf.info/postanovlenie-pravitelstvo-rf-234-02032019/>

8. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года: Утвержден Распоряжением Правительства РФ 03.01.2014 г.)

[Электронный ресурс] – URL: <https://legalacts.ru/doc/prognoz-nauchnotekhnologicheskogo-razvitiya-rossiiskoi-federatsii-na-period/>

9. «Цифровая экономика Российской Федерации» Программа от 28 июля 2017 г. № 1632-р. – 88 с. – [Электронный ресурс] – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/293>

10. «Цифровое сельское хозяйство». Пояснительная записка к предложению о реализации нового направления программы «Цифровая экономика Российской Федерации». М.: 2019. – 32 с.

11. Государственная программа «Развитие туризма, курортов и молодежной политики Карачаево-Черкесской Республики на 2016–2020 годы» (с изменениями на: 31.05.2018).

Научная литература

12. Автоматизация комплексного исследования сложных процессов на базе фазового анализа / А. М. Кумратова, И. И. Василенко, Н. С. Курносова [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2021. – № 1(276). – С. 84–90.

13. Аграрная экономика России: проблемы и векторы развития / А. И. Трубилин, Д. Б. Эпштейн, Я. Куртисс [и др.]. – Краснодар: КубГАУ имени И. Т. Трубилина, 2018. – 342 с.

14. Адаптация линейного клеточного автомата для решения задач прогнозирования на базе природно-экономических временных рядов / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, И. В. Костенко, Л.К. Дунская // Современная экономика: проблемы и решения. – 2019. – № 9 (117). – С. 8–17.

15. Адаптированные методы нелинейной динамики подготовки данных экономических временных рядов к процедуре прогноза / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, С. И. Турлий, Т. А. Недогонова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2019. – № 7 (115). – С. 33–41.

16. Аджиева А.А. Новый подход к совершенствованию управления сельскохозяйственным производством на основе стохастических методов прогнозирования / А. А. Аджиева // Научный вестник. – 2016. – № 1 (7). – С. 222–234.

17. Акимов В.А. Управление рисками катастроф как необходимое условие развития России / Акимов В.А., Кузьмин И.М. // Управление рисками. – 1997. – № 3. – С. 84–89.
18. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И. Опасные гидрометеорологические явления на территории России / МЧС России. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 316 с.
19. Акмаров П. Б. Некоторые аспекты влияния климатических факторов на эффективность земледелия / П. Б. Акмаров, О. П. Князева, Н. А. Суетина // Вестник НГАУ. – 2014. – № 4(33). – С. 178–185.
20. Актуальные аспекты обеспечения продовольственной безопасности России: монография / А.Б. Мельников, [и др.]. – Краснодар: КубГАУ, 2021. – 212 с.
21. Алабушев А. В. Научное обеспечение продуктивности, устойчивости и рентабельности зерновой отрасли России / А. В. Алабушев, Л. Н. Анипенко // Вестник Орловского ГАУ. – 2008. – № 1(10). – С. 2–10.
22. Алабушев А. В. Стабилизация производства зерна в условиях изменения климата / А. В. Алабушев // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 4. – С. 8–13.
23. Алберг Дж. Теория сплайнов и её приложения / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш. – М.: Издательство «Мир», 1972. – 318 с.
24. Алещенко В. В. Научно-инновационная сфера в реализации региональной кластерной политики / В.В. Алещенко, О.А. Алещенко // Вестник КазГАУ. – 2018. – № 3 (50). – С. 103–107.
25. Алещенко В. В. Прогнозно-пространственная оценка государственной поддержки малого и среднего предпринимательства / В. В. Алещенко, В. М. Помогаев // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2016. – № 4(16). – С. 3–8.
26. Анализ и прогнозирование развития социально-экономических процессов / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, О. И. Шапошникова, Н. В. Третьякова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2021. – № 11(143). – С. 38–48.

27. Аналитический инструментарий векторной оценки рисков финансового рынка / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Д. Н. Савинская [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 122. – С. 481-495.

28. Анесянц С. А. Основы функционирования рынка ценных бумаг / С. А. Анесянц. – М.: Контур, 1998. – 368 с.

29. Астанин Д. М. Аспекты системного моделирования туристических потоков в территориальных структурах экологического туризма / Д. М. Астанин // The Scientific Heritage. – 2022. – № 84-2(84). – С. 3-6.

30. Балдин К. В. Риск-менеджмент: учебн. Пособие / К. В. Балдин. – М.: ЭКСМО, 2006. – 368 с.

31. Батова В. М. Агроклиматические ресурсы Северного Кавказа. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. – 151 с.

32. Белайчук Л. В. Как обнаружить джокера в эксперименте / Л. В. Белайчук, Г. Г. Малинецкий // Математика. Компьютер. Образование / отв. за вып.: Ризниченко Г.Ю. – выпуск 5. – Часть II. – М. : Изд-во Прогресс-Традиция, 1998. – С. 17–31.

33. Белайчук Л. В. Прodelки джокера на одномерном отображении / Л. В. Белайчук, Г.Г. Малинецкий // Математика. Компьютер. Образование: материалы Междунар. конф. – Пушино, 29 января – 3 февраля 1997 г. – С.24–31.

34. Белоусов А.О., Богданов В.Л. Понятие и содержание интегральной оценки рационального использования сельскохозяйственных земель. Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству». Барнаул, 2021, с. 307-308.

35. Беляков С. С. Использование агрегирования в методах нелинейной динамики для анализа и прогнозирования временных рядов котировки акций: спец. 08.00.13 "Математические и инструментальные методы экономики": дисс. на соискание ученой степени канд. экон. наук / Беляков Станислав Сергеевич. – Ставрополь, 2005. – 141 с.

36. Беркович С. Я. Клеточные автоматы как модель реальности: поиск новых представлений физических информационных процессов. Пер. с англ. – М.: Изд-во МГУ. – 1993. – 112 с.
37. Берлимер Б. Риски в современном бизнесе / Б. Берлимер. – М.: Аланс, 1994. – 200 с.
38. Бессонов В. А. Введение в анализ российской макроэкономической динамики переходного периода / В. А. Бессонов. – М.: ИЭПП, 2003. – 151 с.
39. Богатин Ю.Б. Оценки эффективности бизнеса и инвестиций / Ю.Б. Богатин. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 254с.
40. Боков В. В. Предпринимательские риски и хеджирование в отечественной и зарубежной экономике / В. В. Боков и др. – М.: Приор, 1999. – 286 с.
41. Борисов А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьева. – М.: Радио и связь. – 1989. – 304 с.
42. Боташева Ф. Б. «Новая эконометрия» с её «тонкими» методами исследования экономических конъюнктур / Ф.Б. Боташева, И.Г. Винтизенко // European Social Science Journal. 2014. – № 10-1 (49). – С. 31–39.
43. Будыко М. И. Изменение климата / М. И. Будыко. Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 280 с.
44. Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Трофименко Л. Т., Швец Н. В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485.
45. Вавилов С. А. Процедура сглаживания биржевых котировок без использования настраиваемых по историческим данным параметров / С. А. Вавилов, К. Ю. Ермоленко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2004. – № 2(13). – С. 97–106.
46. Вавилов С. А. Стохастическая модель управления средневзвешенной ценой продаж производителя на товарных биржах / С. А. Вавилов, К. С. Кузнецов // Автоматика и телемеханика. – 2019. – № 6. – С. 142–155.

47. Вакилова Р. Р. Выявление статистических закономерностей в области регистрации товарных знаков / Р. Р. Вакилова, Д. Н. Верзилин // Экономика. Право. Инновации. – 2021. – № 3. – С. 53–62.
48. Васильев С. А. Перспективы развивающихся экономик на фоне глобального падения финансовых рынков / С. А. Васильев, А. В. Киевич, И. А. Круглова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2016. – № 1(18). – С. 11–18.
49. Васильева Е. Е. Задачи многокритериальной оптимизации в сфере управления рисками экономической деятельности // Актуальные вопросы современной науки. – 2016. – № 1 (6). – С. 17–22.
50. Васильева Н. И. Циклы и ритмы в природе и обществе: моделирование природных периодических процессов. Таганрог: ТРТУ, 1995. – 152 с.
51. Верзилин Д. Н. Использование метода анализа соответствий при управлении производственно-сбытовой деятельностью предприятия / Д. Н. Верзилин, В. В. Черешнев // Экономика и математические методы. – 2005. – Т. 41, № 1. – С. 80–93.
52. Вертакова Ю. В. Моделирование результатов государственной поддержки развития сельского хозяйства макрорегионов России / Ю. В. Вертакова, А. М. Кумратова, В. А. Плотников // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2023. – № 5 (143). – С. 76–81.
53. Вертакова Ю. В. Оценка эффективности публичного управления в России на региональном уровне: проблема выбора индикаторов развития / Вертакова Ю.В., Борисова М.С., Борисов А.М. // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 4 (55). – С. 27–38.
54. Вертакова Ю. В. Реализация инновационного подхода к мониторингу траекторий социально-экономического развития региона / Ю. В. Вертакова, Ю. С. Положенцева, М. Г. Клевцова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2014. – № 2. – С. 26–36.

55. Винтизенко А. М. Особенности сплайн-прогнозирования экономического поведения / А. М. Винтизенко, И. Г. Винтизенко // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2007. – Т. 14. № 6. – С. 1096–1097.

56. Винтизенко И. Г. Векторные риски современной экономики: монография / И. Г. Винтизенко, Е. В. Попова. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 283 с.

57. Винтизенко И. Г. Диадические количественные риски цепочек последовательных экономических проектов / И. Г. Винтизенко, А. А. Черкасов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2010. – № 4. – С. 152–159.

58. Винтизенко И. Г. Естественные ограничители предвидения, препятствующие точному прогнозированию современной экономики / И. Г. Винтизенко, А. А. Новаков // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2011. – № 2. – С. 176–183.

59. Винтизенко И. Г. Роль неопределённости и риска в современной экономике / И. Г. Винтизенко, А. А. Черкасов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2010. – № 64. – С. 135-144.

60. Винтизенко И. Г. Экономическая цикломатика / И. Г. Винтизенко, В. С. Яковенко. – М.: Финансы и статистика. – Ставрополь: АГРУС, 2008. – 428 с.

61. Воробьева, Л. В. Особенности и результаты реализации креативной предпринимательской идеи организации региональной торговой сети по продаже питьевой артезианской воды в разлив "ключ здоровья" / Л. В. Воробьева // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2013. – № 2. – С. 23-27.

62. Воронин Б.А., Чупина И.П., Воронина Я.В. Оценка экологического и правового воздействия сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду // Аграрное образование и наука, 2021, по. 3, с. 7.

63. Воронкова О. Ю. Устойчивое развитие сельских территорий на основе использования отраслевого, ресурсного и экологического потенциала / О. Ю. Воронкова // Экономика. Профессия. Бизнес. – 2019. – № 3. – С. 32–38.

64. Воронцовский А. В. Прогнозирование индексов реальных эффективных обменных курсов валют с учетом случайного фактора / А. В. Воронцовский, Л. Ф. Вьюненко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2017. – Т. 33, № 4. – С. 522–549.
65. Воронцовский А. В. Прогнозирование развития экономики с учетом нескольких точек поворота: индикаторы, калибровка модели, имитационные расчеты / А. В. Воронцовский, Л. Ф. Вьюненко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2021. – Т. 37, № 4. – С. 513–545.
66. Вселенская И. В. Разработка модели риск-менеджмента сделки слияния и поглощения // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2019. – № 4 (42). – С. 33–39.
67. Вятчин Д. А. Нечёткие методы автоматической классификации. – Минск: Технопринт, 2004. – 219 с.
68. Гавриленко А. С. Перспективные направления развития материально-технического снабжения сельхозтоваропроизводителей / А. С. Гавриленко, Д. В. Ходос // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 3(56). – С. 814–816.
69. Гаврилкова Н. Ю. Определение факторов производства зерна и их экономической эффективности / Н. Ю. Гаврилкова // Вестник КрасГАУ. – 2006. – № 5. – С. 449–455.
70. Гайомей Д. Прогнозирование волатильности доходности финансовых активов с использованием высокочастотных данных и квантификаторов информационной среды / Д. Гайомей, А. А. Зайцев, Д. Г. Родионов // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 43.
71. Гайомей Д. Прогнозирование волатильности индексов фондового рынка США с использованием моделей GARCH и высокочастотных оценок волатильности / Д. Гайомей, А. А. Зайцев // Экономические науки. – 2022. – № 208. – С. 49–57.
72. Ганиева И. А. Обоснование долгосрочных прогнозов производства зерна в сельском хозяйстве Сибири на основе длинных циклов / И. А. Ганиева, Е. А. Ижмулкина // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 10. – С. 3–5.

73. Ганиева И. А. Регулирование экономических циклов в экономике сельского хозяйства / И. А. Ганиева, Е. В. Филонова // Вестник Кемеровского государственного сельскохозяйственного института. – 2011. – № 4. – С. 216–219.

74. Ганиева И. А. Экономические циклы в сельском хозяйстве Сибири: монография / И. А. Ганиева; И. А. Ганиева. – Москва : ООО "Ред. журн. "Достижения науки и техники АПК", 2010. – 199 с.

75. Ганиева И. А. Циклические закономерности развития сельскохозяйственной экономики / И. А. Ганиева // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2010. – № 6(45). – С. 47–49.

76. Гармашова Е.П., Кутовой В.С. Анализ тенденций развития сельскохозяйственной отрасли Краснодарского края // Экономика, предпринимательство и право, 2023, по. 8, с. 2963-2974.

77. Гитман Д. Основы инвестирования / Д. Гитман, М. Д. Джонка. – М.: «Дело», – 1997. – 979 с.

78. Глобальная экологическая перспектива – Прошлое, настоящее и перспективы на будущее. – М.: ЮНЕП, 2002. Перевод ЗАО «Интердиалект». Ред. Г. Н. Голубев. – 504 с.

79. Горбачев И. В. Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах ЦФО РФ до 2020 года / И. В. Горбачев, Т. В. Панова, М. В. Панов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 2. – С. 43–46.

80. Грингоф И. Г. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения / И. Г. Грингоф, А. Д. Пасечнюк. - С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 2005. – 547 с.

81. Гришков В. Ф. Мобилизационная экономика в современной России: теоретические аспекты / В. Ф. Гришков, В. А. Плотников, А. О. Фролов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2022. – № 3 (135). – С. 7–13.

82. Гусева М. И. Прогнозирование инновационного развития в зарубежных странах: рекомендации по адаптации в условиях РФ / М. И. Гусева, О. Н. Кораблева // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2017. – № 3. – С. 94–99.

83. Декомпозиционный многокритериальный подход к анализу временных рядов туристских потоков / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, С. И. Турлий, Л. К. Дунская // Современная экономика: проблемы и решения. – 2019. – № 5(113). – С. 8-16. – DOI 10.17308/merp.2019.5/2100.

84. Дж. Фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир. 1971.

85. Дилтс Р. Моделирование с помощью НЛП [нечётко-логического подхода]. – СПб: Издательский дом «Питер», 2000. – 302 с.

86. Долгосрочное прогнозирование декомпозиционных временных рядов социально-экономических показателей / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Л. А. Чикатуева, И. И. Василенко // Современная экономика: проблемы и решения. – 2021. – № 9(141). – С. 29-41.

87. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – Москва, 2021. – 104 с.

88. Доклад ФАО «Состояние рынков сельскохозяйственной продукции. Торговля сельскохозяйственной продукцией, изменение климата и продовольственная безопасность (2018 г.)»

89. Дорогавцева К. Ю. Статистическое прогнозирование урожайности зерновых культур на примере Орловской области (индексный анализ урожайности сельскохозяйственных культур) / К. Ю. Дорогавцева, Н. А. Яковлева // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2014. – № 1(4). – С. 217–219.

90. Дюрбан Б. Кластерный анализ / Б. Дюрбан, П. Одел. – М.: Статистика, 1977. – 128 с.

91. Евдокимова А. Е. Потребление и сбережение в России: динамика и анализ // Режим доступа <http://www.scienceforum.ru/2015/926/13933>. Дата обращения 10 июня 2023.
92. Егоров И. А. Методы анализа Big Data / И. А. Егоров, Г. С. Алатунянц, А. М. Кумратова // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты: Сб. материалов v всеросс. научно-практ. конф., Краснодар: КубГАУ им. И. Т. Трубилина, 2023. – С. 192–196.
93. Елкин К. В. Особенности устойчивого развития предприятий зерновой отрасли в Костанайской области в условиях изменения климата / К. В. Елкин // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – № 23. – С. 76–79.
94. Емельянов А. А. Экономико-имитационное моделирование с элементами искусственного интеллекта / А. А. Емельянов, О. В. Булыгина, В. Г. Халин. – Москва: Неолит, 2018. – 160 с.
95. Емельянов С. В. Многокритериальные методы принятия решений / С. В. Емельянов, О. И. Ларичев. – М.: Знание, 1985. – 32 с.
96. Епифанова Н. Ш. Особенности и тенденции развития нелинейной экономической парадигмы / Н. Ш. Епифанова // В книге: Экономика и менеджмент в условиях нелинейной динамики. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 9–49.
97. Еремин И. Вопросы оптимизации и распознавания образов: методическое пособие / И. Еремин, В. Мазуров. Свердловск, 1993.
98. Ефанова Н. В. Нечётко-множественный подход к оценке рисков в агропромышленных производственных системах // Труды КубГАУ. – 2009. – Выпуск 7 (18). – С. 78–81.
99. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 345 с.
100. Жирабок А. Н. Нечеткие множества и их использование для принятия решений // Соровский образовательный журнал. – 2001. – Том 7, №2. – С. 109–115.

101. Завьялов Ю. С. Интерполирование кубическими многозвенниками / Ю. С. Завьялов // В сборнике «Вычислительные системы». Выпуск 39, Новосибирск, 1970.

102. Загайтов И. Б. Применение теории распознавания образов к прогнозированию колебаний урожайности зерновых культур / И. Б. Загайтов, В. Г. Раскин, Л. П. Яновский // Экономика и математические методы. – 1982. – Т. 18. № 5. – С. 861–867.

103. Загайтов И. Б. Сравнительная эффективность вариантов целевой функции в прогнозах урожайности по технологии "Зонт" / И. Б. Загайтов, Л. Т. Колесникова // Вестник Орловского ГАУ. – 2008. – Т. 10. № 1. – С. 24–27.

104. Загайтов И. Б. Экономические проблемы повышения устойчивости сельскохозяйственного производства / И. Б. Загайтов, П. Д. Половинкин; Под редакцией И. Б. Загайтова, П. Д. Половинкина. – Москва: Издательство «Экономика», 1984. – 240 с.

105. Задков А. П. Информационно-методическое обеспечение адаптивного управления технологическими процессами выращивания и уборки зерновых / А. П. Задков, В. К. Каличкин // Управление риском. 2022. № 1 (101). С. 36–60.

106. Задков А. П. Фактор риска в сельском хозяйстве / А. П. Задков. – Новосибирск: СО РАСХН, 2008. – 264 с.

107. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. – М.: Мир, 1999. – 335 с.

108. Зироян М. А. Эконометрический анализ последствий санкций в международной торговле сельскохозяйственной продукцией / М. А. Зироян, М. В. Лебедева, В.И. Тинякова, И.В. Харчева // Международные научные исследования. – 2017. – № 2 (31). – С. 133–137.

109. Зюзя Е. В. Экономический кризис 2020: причины возникновения и прогнозы развития / Е. В. Зюзя, Н. И. Пыжикова // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 3(116). – С. 115–118.

110. Иванилов Ю. П. Математические модели в экономике / Ю. П. Иванилов, А. В. Лотов. – М.: Наука, 1979. – 264 с.

111. Иванов, Д. Моделирование на UML / Д. Иванов, Ф. Новиков. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. – 200 с.

112. Иванов С. А. Повышение экономической эффективности производства зерновых культур в Челябинской области (по материалам Южной лесостепи) / С. А. Иванов // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 7(86). – С. 63–68.

113. Ильясов Р. Х. Прогнозирование конъюнктуры финансового рынка и оценка его влияния на развитие промышленности / Р. Х. Ильясов, Д. А. Куразова // Финансы и кредит. – 2017. – Т. 23. – № 43 (763). – С. 2575–2591.

114. Ильясов Р. Х. Сплайн-анализ взаимосвязи динамики экспортных цен на нефть и курса доллара по отношению к рублю / Р. Х. Ильясов // Вестник Чеченского государственного университета. – 2007. – № 4 (24). – С. 106–110.

115. Инструментальные средства в управлении ресурсами туристического бизнеса / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, С. А. Курносов [и др.] // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 11-2. – С. 259–266.

116. Инструментальные средства выявления долгосрочных тенденций развития природных и экономических процессов / Е. В. Попова, А. М. Кумратова, Н. В. Третьякова, Д. Н. Пономарева // Современная экономика: проблемы и решения. – 2015. – № 7(67). – С. 22–31.

117. Использование инструментария клеточных автоматов для формирования прогнозных нечетких значений урожайностей на базе временного ряда / В. А. Перепелица, М. Д. Касаева, Ф. Б. Тебуева, Л. Г. Темирова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2003. – № 4(124). – С. 5–11.

118. Использование линейного клеточного автомата в качестве инструмента прогнозирования стохастических систем, подверженных влиянию различных факторов / А. М. Кумратова, Л. К. Дунская, В. Н. Ямщиков, А. И. Михлев // Полите-

матический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 153. – С. 103-112.

119. К вопросу о применении теории фракталов в маркетинге / И. М. Кублин, В. И. Тинякова, Л. А. Шишкина, В. А. Полканова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2017. – № 1-1 (26). – С. 92–98.

120. Калайда С. А. Риски отрицательного воздействия цифровизации на процессы экономической конвергенции / С. А. Калайда, В. Г. Халин, Г. В. Чернова // Страхование дело. – 2021. – № 9(342). – С. 53–64.

121. Капица С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – М: Наука, 1997. – 285 с.

122. Кардаш В. А. Конфликты и компромиссы в рыночной экономике. – М.: «Наука», 2006. – 248 с. Серия «Экономическая наука современной России».

123. Кардаш В. А. Процессный анализ системной динамики / В. А. Кардаш // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Том 15. – Выпуск 5. – С. 807–818.

124. Кардаш В. А. Процессный анализ системной динамики товарных рынков / В. А. Кардаш // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2009. – Том 16. – Выпуск 2. – С. 226–238.

125. Кацко И. А. Эконометрический подход к прогнозированию временных рядов на примере урожайности зерновых культур / И. А. Кацко, С. И. Свиридова // Труды КубГАУ. – 2007. – № 9. – С. 11–15.

126. Квинт, В. Л. Стратегирование Российской индустрии бутилированной воды: тренды, приоритеты и принципы / В. Л. Квинт, Н. И. Сасаев, А. С. Хворостяная // Экономическое возрождение России. – 2021. – № 2(68). – С. 20-33.

127. Киевич А. В. Евразийская интеграция: этапы становления и перспективы развития / А. В. Киевич, О. В. Король // Экономические науки. – 2016. – № 134. – С. 123–129.

128. Классификация и кластер. Под редакцией Дж. Вэн Райзина. – М.: Издательство «Мир», 1980. – 390 с.

129. Ковалев В. В. Недостатки доходного подхода для оценки бизнеса / В. В. Ковалев, П. С. Коклев // Экономические науки. – 2022. – № 214. – С. 49–54.

130. Ковалев В. В. Тестирование зарубежных и отечественных моделей прогнозирования банкротств на российских предприятиях / В. В. Ковалев, Т. Ш. Молдобаев // Развитие территорий. – 2021. – № 3(25). – С. 10–19.

131. Ковалева И. В. Оценка ключевых показателей развития региональной экономики / И. В. Ковалева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 1-2(52). – С. 112–117.

132. Ковалева И. В. Развитие сельскохозяйственного производства региона / И. В. Ковалева // Вектор экономики. – 2021. – № 11(65).

133. Коваленко А. И. Многокритериальная оптимизация периодичности профилактики информационно-технической стохастической системы / А. И. Коваленко, Г. Н. Рогачев // Cloud of Science. – 2016. – Т. 3, № 1. – С. 53–59.

134. Колесняк А. А. Обеспеченность России сельскохозяйственными угодьями и эффективность их использования / А. А. Колесняк, Н. М. Полянская // Социально-экономический и гуманитарный журнал Красноярского ГАУ. – 2021. – № 1(19). – С. 78–96.

135. Колесняк А. А. Оценка продовольственной самообеспеченности населения региона / А. А. Колесняк // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2021. – № 4. – С. 70–75.

136. Колесов Д. Н. Применение математических методов в экономике / Д. Н. Колесов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2007. – № 3. – С. 3–6.

137. Колесов Д. Н. Развитие математических и инструментальных методов макроэкономического анализа / Д. Н. Колесов // Бизнес-информатика: состояние, проблемы, перспективы: Сб. материалов Междунар. школы-семинара. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2013. – С. 16–18.

138. Колесов Д. Н. Совместный учет статистической и экспертной информации при прогнозировании временных рядов экономических показателей / Д. Н. Колесов, Н. В. Котов, А. С. Федоренко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2007. – № 3. – С. 93–101.

139. Количественная оценка влияния изменений климата на продуктивность зернового производства на юге Сибири / В. В. Алещенко, А. М. Кумратова, О. А. Алещенко, Н. Н. Журавлева // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 10. – С. 88–98.

140. Колмогоров А. Н. О некоторых асимптотических характеристиках вполне ограниченных метрических пространств / А. Н. Колмогоров. ДАН СССР. 108, № 3. 1956.

141. Комиссарова, И. П. Роль товарных категорий в управлении собственными торговыми марками / И. П. Комиссарова, Е. А. Майорова // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2017. – Т. 6. – № 3(20). – С. 195-198.

142. Комплекс метрических и графических тестов предварительной подготовки данных экономических и природных временных рядов к процедуре прогноза / Е. В. Попова, А. М. Кумратова, Т. А. Недогонова, Э. М. Кумратов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2018. – № 3 (225). – С. 286–292.

143. Концепция двухуровневого подхода к моделированию социально-экономических процессов / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, С. А. Курносов, Н. С. Курносова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2021. – № 8(140). – С. 8-16.

144. Кораблева О. Н. Формирование подходов к разработке методологии прогнозирования инновационной активности / О. Н. Кораблева, М. И. Гусева // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2017. – № 7(153). – С. 37–43.

145. Коряковцева Л. А. Связь продолжительности вегетационного периода, урожайности и качества зерна яровой пшеницы сорта Анята с метеорологиче-

скими условиями / Л. А. Коряковцева, Н. З. Сафина // Аграрная наука Северо-Востока. – 2005. – № 6. – С. 33–36.

146. Кочегарова О. С. Математическая модель прогнозирования экономической эффективности зернового производства сельхозпредприятия / О. С. Кочегарова // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2018. – № 8. – С. 125–127.

147. Кривоногова, А. Е. Инструменты разработки интерактивных дашбордов для анализа больших данных с использованием ИИ / А. Е. Кривоногова // Аллея науки. – 2020. – Т. 1, № 11(50). – С. 761-765.

148. Кричевский М. Л. Интеллектуальные методы в менеджменте / М. Л. Кричевский. – СПб.: Питер, 2005. – 305 с.

149. Кружилин А. С. Биологические особенности и продуктивность орошаемых культур / А.С. Кружилин. – М.: Колос, 1977. – 304 с.

150. Крупина В. В. Визуализация данных средствами дашбордов / В. В. Крупина, С. И. Михаэлис // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2019. – № 2(3). – С. 41–52.

151. Ксенофонтов М. Ю. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе / М. Ю. Ксенофонтов, Д.А. Ползиков // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 3(180). – С. 82–92.

152. Кублин И. М. Проблемы и перспективы развития импортозамещения на рынке сельскохозяйственной продукции / И. М. Кублин, В. И. Тинякова, Л. А. Шишкина // Международные научные исследования. – 2017. – № 1 (30). – С. 57–62.

153. Кумратова А. М. Агроклиматические ресурсы зернопроизводящих регионов России в условиях изменения климата / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2022. – № 2. – С. 21–27.

154. Кумратова А. М. Адаптированные методы нелинейной динамики в прогнозных решениях / А. М. Кумратова, Е.В. Попова, К.А. Сивков // Россия, Европа, Азия: цифровизация глобального пространства: сб. научных трудов II междунар. научно-практ. форума / под ред. В. А. Королева – Ставрополь: Севквой, 2019. – 483 с.

155. Кумратова А. М. Влияние климата на зерновое производство России: региональная специфика / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 9(134). – С. 429–434.

156. Кумратова А. М. Зерно России в контексте мирового производства / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко, О. А. Алещенко // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 8. – С. 70–75.

157. Кумратова А. М. Инструментальные средства методов нелинейной динамики: анализ, прогноз и управление сложным процессом / А. М. Кумратова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – № 2(261). – С. 80–84.

158. Кумратова А. М. Интегральная оценка уровня развития сельского хозяйства Краснодарского края / А. М. Кумратова, Н. В. Третьякова, Л. К. Ефимиади // Современная экономика: проблемы и решения. – 2024. – № 4(172). – С. 47–58.

159. Кумратова А. М. Исследование показателей продуктивности зернового производства и агроклиматического бонитета для задач риск-менеджмента / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко, Н. Н. Журавлева // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2022. – № 4. – С. 13–17.

160. Кумратова А. М. Исследование тренд-сезонных процессов методами классической статистики / А.М. Кумратова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 103. – С. 312-323.

161. Кумратова А. М. Концептуальная основа получения и исследования максимального времени прогноза с заранее заданной точностью /

А. М. Кумратова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2017. – № 6(90). – С. 23–31.

162. Кумратова А. М. Математические методы в задачах оценки зон земледелия с точки зрения безопасности финансовых вложений / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, В. И. Тинякова, Л. А. Чикатуева // Экономика устойчивого развития. – 2014. – № 01 (17). – С. 83–92.

163. Кумратова А. М. Математические образы последовательных и параллельных экономических рисков / А. М. Кумратова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 113. – С. 230–243.

164. Кумратова А. М. Методы и инструментальные средства визуализации для аналитики в малом бизнесе / А. М. Кумратова, М. И. Попова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2023. – № 2(158). – С. 91–98.

165. Кумратова А. М. Методы многокритериальной оптимизации и классической статистики для оценки риск-экстремальных значений / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Н. В. Третьякова // Известия Кубанского гос. университета. Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 55–60.

166. Кумратова А. М. Методы нелинейной динамики в исследовании экономических процессов (на примере зернового производства) / А. М. Кумратова, К. А. Сивков // Бизнес. Образование. Право. – 2023. – № 1(62). – С. 72–77.

167. Кумратова А. М. Модели и методы нелинейной динамики прогнозирования развития рынка НОД / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Д. Н. Савинская. – Краснодар: КубГАУ имени И. Т. Трубилина, 2016. – 114 с.

168. Кумратова А. М. Нелинейная динамика экономических процессов: монография / А.М. Кумратова, Е.В. Попова. – Краснодар: КубГАУ. 2019. – 178 с.

169. Кумратова А. М. О влиянии метеофакторов на продуктивность зернопроизводящих территорий мира / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко // Труды КубГАУ. – 2021. – № 92. – С. 38–43.

170. Кумратова А. М. О целесообразности использования линейных клеточных автоматов для прогноза на основе малых выборок / А.М. Кумратова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2019. – № 8 (116). – С. 8–17.

171. Кумратова А. М. Оценка и управление рисками: анализ временных рядов методами нелинейной динамики: монография / А. М. Кумратова, Е. В. Попова. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 212 с.

172. 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.

173. Кумратова А. М. Построение долгосрочного прогноза зернового производства для задач риск-менеджмента / А.М. Кумратова, О.И. Шапошникова и др. // Современная экономика: проблемы и решения. – 2022. – № 6 (150). – С. 20–31.

174. Кумратова А. М. Прогноз динамики экономических систем: клеточный автомат / А. М. Кумратова. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 241 с.

175. Кумратова А. М. Прогнозирование сложных процессов нейронными сетями / А. М. Кумратова, К. Э. Чумаренко // Современная экономика: проблемы и решения. – 2023. – № 3(159). – С. 27–36.

176. Кумратова А. М. Прогнозирование эволюционного развития финансового рынка на базе программного инструментария линейного клеточного автомата / А. М. Кумратова, Е. В. Попова и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №07(121). – С. 568–580.

177. Кумратова А. М. Прогнозные модели императивов воздействия внешней природной среды на урожайность зерновых на юге России / А. М. Кумратова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2018. – № 3 (225). – С. 129–136.

178. Кумратова А. М. Продуктивность зернового производства в России: тенденции и перспективы / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко // Вестник КазГАУ. – 2021. – Т. 16. – № 3(63). – С. 142–146.

179. Кумратова А. М. Ранжирование макрорегионов России на базе многокритериальной оценки / А. М. Кумратова, В. А. Плотников // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 5. – С. 100–106.

180. Кумратова А. М. Синергетическая методология прогнозирования продуктивности зернового производства России / А. М. Кумратова. – Краснодар: КубГАУ имени И. Т. Трубилина, 2022. – 175 с.

181. Кумратова А. М. Снижение предпринимательского риска рынка НОД на базе применения инструментальных средств / А. М. Кумратова, Л.Г. Темирова, И. И. Василенко, Е. А. Иванцова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2022. – № 10 (154). – С. 24–33.

182. Кумратова А. М. Сплайн-технологии в исследовании основных факторов, определяющих качество прогноза урожайности озимой пшеницы / А. М. Кумратова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2018. – № 5(101). – С. 8–17.

183. Кумратова А. М. Сравнительный анализ прогнозных оценок урожайности зон земледелия разной степени риска / А. М. Кумратова, В. И. Тинякова, Н. В. Третьякова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2013. – № 12. – С. 111–117

184. Кумратова А. М. Сравнительный анализ продуктивности зернового производства Европейской и Азиатской частей России / А. М. Кумратова, В. В. Алещенко // Труды КубГАУ. – 2022. – № 94. – С. 28–33.

185. Кумратова А. М. Теоретические аспекты определения продуктивности зернового производства России / А. М. Кумратова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2021. – № 3(285). – С. 35–42.

186. Кумратова А. М. Теория и практика моделирования, анализа и прогнозирования эволюционных социально-экономических систем методами нелинейной динамики / А.М. Кумратова // Труды КубГАУ. – 2017. – № 69. – С. 30–35.

187. Кумратова А. М. Точный прогноз как эффективный способ снижения экономического риска агропромышленного комплекса / А. М. Кумратова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 09 (103). – С. 293–311.

188. Кумратова А. М. Фрактальная синергия динамики экономических систем: монография / А.М. Кумратова, Е.В. Попова. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – 171 с.

189. Кумратова А. М. Исследовательская «платформа» синергетического прогнозирования / А. М. Кумратова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 132. – С. 581–591.

190. Кунц Г. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих функций. Т.1. / Г. Кунц, О’Доннел С. – М.: Прогресс, 1981. – 512 с.

191. Курбанов А. Х. Обеспечение продовольственной безопасности мегаполисов: теория и практика / А. Х. Курбанов // Национальные приоритеты России. – 2015. № 2. С. 133–142.

192. Курдюмов С. П. Нестационарные структуры, динамический хаос, клеточные автоматы / С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов // В сб. Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. – М.: Наука, 1996. – С. 95–164.

193. Куржановский А. В. Управление и наблюдение в условиях неопределённости / А. В. Куржановский. – М.: Наука, 1997. – 212 с.

194. Курцев И. В. Адаптивные системы ведения сельского хозяйства / И. В. Курцев, А. П. Задков // Управление риском. – №4. 2003. – С.41–48.

195. Курцев И. В. О соотношении крупных и малых форм производства в сельском хозяйстве Сибири / И. В. Курцев, А. П. Задков // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2007. – № 2. – С. 11–13.

196. Лаптухов А. И. Нелинейная зависимость потока излучения солнца от чисел Вольфа и потока солнечного радиоизлучения / А.И. Лаптухов, В. А. Лаптухов // Инженерная физика. – 2012. – № 5. – С. 50–55.

197. Лаптухов А. И. Прогноз солнечной активности на несколько циклов / А. И. Лаптухов, В. А. Лаптухов // Инженерная физика. – 2015. – № 10. – С. 48–56.

198. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решения / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с.

199. Липатов А. А. Методы оценки поисковой оптимизации / А. А. Липатов, А. В. Юрков // Прикладная информатика. – 2018. – Т. 13, № 6(78). – С. 15–19.

200. Липсиц И.В. Инвестиционный проект: методы подготовки и анализа / И.В. Липсиц, В.В. Коссов. – М.: Изд-во БЕК, 1996. – 304 с.

201. Личко К. П. Прогноз урожайности зерновых культур как основа прогнозирования объемов сельскохозяйственного производства / К. П. Личко, Е. В. Шумская // Проблемы прогнозирования. – 2007. – № 3(102). – С. 60–67.

202. Логунцова, И.В. Индустрия туризма в условиях пандемии коронавируса: вызовы и перспективы / И. В. Логунцова // Государственное управление. Электронный вестник. – 2020. – № 80. – С. 49-65.

203. Лойко В. И. Инвестиционно-ресурсное управление сельскохозяйственным производством / В. И. Лойко, Т. П. Барановская, Е. В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 83. – С. 563–595.

204. Лоскутов А. Ю. Энтропия и прогноз временных рядов в теории динамических систем / А. Ю. Лоскутов, А. А. Козлов, Ю. М. Хаханов // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2009. – Т. 17. – № 4. – С. 98–113.

205. Лукасевич И. Я. Анализ финансовых операций. Методы, модели, техника вычислений / И. Я. Лукасевич. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1998. – 400 с.

206. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

207. Лямкина Ю. Б. Математическая модель прогноза урожайности / Ю. Б. Лямкина, Л. А. Хворова // Известия Алтайского государственного университета. – 1998. – № 1. – С. 28–29.

208. Максишко Н. К. Моделирование управления риском на базе прогнозной модели / Н.К. Максишко, В.А. Перепелица // Економічна кібернетика. Міжнародний науковий журнал. №1- 2, (25-26). 2004. с. 18–28.

209. Манжула В. Г. Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных / В. Г. Манжула, Д. С. Федяшов // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4. – С. 108–114.

210. Математическое моделирование макроэкономических трендов развития страхового бизнеса / А. А. Шиянова, А. Ш. Галстян, В. Ф. Минаков, Т. Е. Минакова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 436.

211. Матюнина М. В. Глава 6. Теоретико-методологические аспекты регионального планирования развития туризма / М. В. Матюнина, Р. Р. Тимиргалеева и др. // Развитие туристских дестинаций: модели, методы, инструменты: Монография. – Майкоп: ООО "ЭИТ", 2020. – С. 196-273.

212. Матюшкин И. В. Обзор по тематике клеточных автоматов на базе современных отечественных публикаций / И. В. Матюшкин, М. А. Заплетина // Компьютерные исследования и моделирование. – 2019. – Т. 11. № 1. – С. 9–57.

213. Мескон М. Х. Основы менеджмента / Мескон М. Х., Альберт М., Хедуори Ф. – М.: Дело. – 1993. – 394с.

214. Методика прогнозирования производства зерна с учетом цикличности урожайности на региональном уровне / Н. В. Шаланов, Е. В. Афанасьев, С. М. Головатюк [и др.] // АПК: Экономика, управление. – 2013. – № 4. – С. 67–70.

215. Митяшин Г. Ю. Трансформация продовольственной безопасности в условиях постиндустриальной экономики/ Г. Ю. Митяшин // Вестник НГИЭИ. 2022. № 9. – С. 120–135.

216. Моделирование влияния климатических изменений на экономические показатели зернового производства / Ю. В. Вертакова, А. М. Кумратова, В. А. Плотников, Г. Е. Кокиева // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2023. – № 4. – С. 30–38.

217. Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур / В. А. Моисейчик. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1975. – 295 с.

218. Мынжасаров Р. И. Управление сельскохозяйственным производством посредством космических технологий / Р. И. Мынжасаров, Б. Н. Казиев // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2017. – № 3-3. – С. 98–104.

219. Назаров Д. М. Нечеткая модель оценки качества внедрения программного продукта для энергосбытовой организации / Д. М. Назаров, О. А. Кравченко // Теория и практика общественного развития. – 2023. – № 4(182). – С. 57–66.

220. Найт Ф.Х. Риск, неопределённость и прибыль. – М.: Издательство «ДЕЛО», 2003. – 360 с.

221. Наумов Л. Как увеличить скорость "Жизни", или Эффективная организация данных для повышения скорости поиска клеток и разрешения отношений соседства при реализации клеточного автомата Джона Хортон Конвея "Жизнь" // Информатика. – 2001. - № 33-34. – С. 25-31.

222. Неверов А. А. Альтернативные модели долгосрочного прогнозирования урожайности зерновых культур для степной зоны Оренбуржья / А. А. Неверов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2018. – № 1. – С. 7.

223. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Мир, 1971. – 378 с.

224. Николаев П. Н. Результаты испытания озимых культур в условиях южной лесостепи Западной Сибири / П.Н. Николаев, П.В. Поползухин // Достижения науки и техники АПК. – 2013. - №5. – С. 9–11.

225. Николаева Г. Л. Цифровые помощники как инструмент оптимизации взаимодействия экономических агентов / Г. Л. Николаева, Р. Р. Тухбатов // Со-

временные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. Т. 16, № 1. – С. 246–257.

226. Новаков А. А. Концепция векторного представления риска в современной вариативной экономике // Управление экономическими системами. Электронный научный журнал. – 2011. - № 10 (34).

227. Норт Д. Институциональные изменения: рамки анализа / Д. Норт // Вопросы экономики. – 1997. – № 3. – С. 71–75.

228. Нортон Д. Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты / Д. Нортон, Р. Каплан. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 169 с.

229. Носатовский А. И. Щуплость зерна пшеницы и череззерница колоса как фактор снижения урожая. Ростов, 1934. – 61 с.

230. О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2019 г. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2020. – 1000 с. Режим доступа: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 22.08.23 г.)

231. Обзор современных моделей и методов анализа временных рядов динамики процессов в социальных, экономических и социотехнических системах / Е. Г. Андрианова, С. А. Головин, С. В. Зыков [и др.] // Российский технологический журнал. – 2020. – Т. 8, № 4(36). – С. 7–45.

232. Овсянко Л. А. Состояние сельскохозяйственного страхования с государственной поддержкой в регионе / Л. А. Овсянко // Актуальные вопросы теоретической и прикладной экономики: материалы междунар. научно-практ. конф. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – С. 105–108.

233. Овсянко Л. А. Эффективность государственной поддержки субъектов АПК в регионе / Л. А. Овсянко, А. В. Овсянко // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 11(124). – С. 418–420.

234. Огородников П. И. Прогнозирование производства и урожайности зерновых культур на основе регрессионных моделей / П. И. Огородников,

В. В. Усик // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 13(132). – С. 354–359.

235. Осенний В.В, Затонская И.В., Ефимиади Л.К. Интегральная оценка социального развития сельских территорий Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2022, по. 97, с. 17-22.

236. Основы агрометеорологии: учебное пособие [Электронный ресурс] / Л. И. Виноградова; Красноярский ГАУ. – Красноярск, 2020 – 160 с.

237. Основы программирования урожайности полевых культур и их сортовой агротехники. Краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство» профиля подготовки – Растениеводство / В. Б. Нарушев // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» – Саратов, 2014. – 34 с.

238. Осьмеркина Н. Н. Введение погодных деривативов как способ снижения рисков в производстве сельскохозяйственной продукции / Н. Н. Осьмеркина // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2013. – № 1. – С. 23–26.

239. Оценка влияния различных типов засух на продуктивность возделываемых культур / С. Г. Чекалин, А. А. Оськина, Ш. Сейфуллина и др. // Известия Оренбургского ГАУ. – 2020. – № 1(81). – С. 19–24.

240. Павлова В. Н. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия / В. Н. Павлова, П. Каланка, А. А. Караченкова // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 1. – С. 78–94.

241. Панарина Д. С. Региональный биржевой индикатор как перспектива устойчивого развития рынка пшеницы в России / Д.С. Панарина // Балтийский экономический журнал. – 2021. – № 1(33). – С. 11–20.

242. Парсаданов Г. А. Прогнозирование национальной экономики: учебник / Г. А. Парсаданов, В. В. Егоров. – М.: Высш. шк. 2002. – 304.

243. Паршуков Д. В. К вопросу о многокритериальной оценке экономической эффективности предпринимательской деятельности субъектов АПК /

Д. В. Паршуков, Д. В. Ходос // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 3(102). – С. 169–172.

244. Пасов В. М. Синоптико-статистический метод прогнозирования урожайности зерновых культур / В. М. Пасов // Метеорология и гидрология. – 1992. - №10. – С.77–84.

245. Перепелица В. А. Анализ критериев финансово-экономического риска в случае сильно асимметричных распределений / В. А. Перепелица, Е. В. Попова // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2002. – № 2. – С. 13–18.

246. Перепелица В. А. Анализ основных исторических и современных определений понятия «риск» / В. А. Перепелица, Е. В. Попова, Д. Н. Савинская // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2011. – № 72. – С. 210-223.

247. Перепелица В. А. Задача инвестора: теоретико-графовый подход, многокритериальная оптимизация. / В. А. Перепелица, Е. В. Попова и др. // Труды Кубанского ГАУ. 2007. – №5. – С. 7-13.

248. Перепелица В. А. Математическое моделирование экономических и социально-экологических рисков / В. А. Перепелица, Е. В. Попова. – Ростов-на-Дону: Ростовского государственного университета, 2001. – 126 с.

249. Перепелица В. А. Многокритериальный подход к моделированию финансово-экономических рисков / В. А. Перепелица, Е. В. Попова // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2001. - № 4. – С. 37–41.

250. Перепелица В. А. Моделирование рисков в финансовом менеджменте / В. А. Перепелица, Е. В. Попова. – Кисловодск: Издательский центр Кисловодского института экономики и права, 2000. – 100 с.

251. Перепелица В. А. Прогнозирование природного временного ряда на базе модели клеточного автомата / В. А. Перепелица, М. Д. Касаева // Современные аспекты экономики. 2002. – № 9. – С. 201.

252. Перепелица В. А. Структурирование данных методами нелинейной динамики для двухуровневого моделирования / В. А. Перепелица, Ф. Б. Тебуева,

Л. Г. Темирова. – Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 2006. – 284 с.

253. Перспективная сельскохозяйственная специализация макрорегионов Сибири / под редакцией П. М. Першукевича, В. В. Алещенко; М. – Омск: Изд. центр "Омский науч. вестник", 2020. – 240 с.

254. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала / Э. Петерс. – М.: Мир, 2000. – 333 с.

255. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304с.

256. Петров И. С. Алгоритм проведения фазового анализа ключевых показателей регионального инвестиционно-строительного комплекса / И. С. Петров // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). – 2013. – № 9. – С. 10.

257. Петухова М. С. Прогноз долгосрочного научно-технологического развития зерновой отрасли России / М. С. Петухова. – Новосибирск: НГАУ, 2021. – 180 с.

258. Плотников А. В. Моделирование форм проявления кризиса в национальной экономике под воздействием неэкономического шока (на примере кризисов в России 2020 и 2022 годов) // Известия СПбГЭУ. 2022. № 5-2 (137). С. 194–199.

259. Плотников В. А. Анализ моделей обеспечения национальной продовольственной безопасности / В. А. Плотников, М. В. Сулейманова // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2019. – № 5. – С. 7–12.

260. Плотников В. А. Перспективы экономического развития в условиях постнормальности // Известия СПбГЭУ. 2022. № 6 (138). С. 15–21.

261. Плотников В. А. Устойчивость развития российской промышленности в условиях макроэкономического шока и новая промышленная политика /

В. А. Плотников, Ю. В. Вертакова // Экономика и управление. – 2022. – Т. 28. № 10. – С. 1037–1050.

262. По данным, представленным в работе Wageningen Economic Research. 2018. Climate Change and Global Market Integration: Implications for global economic activities, agricultural commodities and food security. SOCO 2018 Backgro und Paper, Rome, FAO. (с. 21)

263. Повышение эффективности использования ресурсного потенциала в сельском хозяйстве региона / А. Т. Стадник, С. А. Шелковников, А. Б. Волков, Л. А. Якимова [и др.]; НГАУ. – Новосибирск : ООО «Печатное издательство Агро-Сибирь», 2018. – 143 с.

264. Погиблов, Ю.Ю. Основные аспекты эффективности цифровизации предприятий коммунального водоснабжения и водоотведения / Ю. Ю. Погиблов. – Текст: электронный // NovaInfo, 2022. – № 134. – С. 8–9.

265. Подгорнова Н. А. Предпрогнозный анализ временных рядов денежных потоков в интересах управления предприятием / Н.А. Подгорнова // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2010. – № 34. – С. 103–108.

266. Позднякова А. Ю. Методи візуалізації та аналіз критеріального простору в задачах векторної дискретної оптимізації / А. Ю. Позднякова, Л. Н. Сергеева // Вісник Запорізького державного університету, Фіз.-мат. науки. – 2000. – №1. – С.107–113.

267. Полтарыхин А. Л. Продовольственная безопасность России в условиях введения санкций / А. Л. Полтарыхин // Вестник Академии. – 2015. – № 1. – С. 33–38.

268. Попова Е.В. Выявление тренд-сезонных компонент во временных рядах экономических процессов / Е.В. Попова, А.М. Кумратова, Т.А. Недогонова, А.И. Василенко // Современная экономика: проблемы и решения. 2018. № 6 (102). – С. 20-30.

269. Попова Е. В. Методы и модели многокритериальной оптимизации: монография / Е. В. Попова, Д. А. Замотайлова, А. М. Кумратова. – Краснодар: КубГАУ: ИП Дедков И. В., 2020. – 183 с.

270. Попова Е. В. О прогнозировании дискретных эволюционных процессов на базе теории нечетких множеств и линейных клеточных автоматов / Е.В. Попова, А.М. Янгишиева, С.Н. Степанов, С.А. Чижиков // Труды КубГАУ. – 2007. – № 5. – С. 32–36.

271. Попова Е. В. Особенности исследования тренд-сезонных процессов / Е.В. Попова, А.М. Кумратова, В.Н. Ямщиков // В сб.: Поиск новой модели социально-экономического развития в условиях глобальных и локальных трансформаций. Сб. статей междунар. научно-практ. конф. Под ред. Г. Б. Клейнера, Х. А. Константиныди, В. В. Сорокожердьева. 2018. – С. 98–101.

272. Попова, Е.В. Системный подход к определению туризма и его социально-экономической сущности в современном обществе / Е. В. Попова, А. А. Шевченко // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 89. – С. 1210-1219.

273. Попова, Е. В. Становление и развитие индустрии продажи и доставки воды в России / Е. В. Попова, Д. Н. Савинская, М. И. Попова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 89. – С. 1253–1265.

274. Попова, Е. В. Туристско-рекреационная деятельность: методы, модели, прогноз / Е. В. Попова, А. М. Кумратова, М. В. Шебзухова. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2008. – 195 с.

275. Предпрогнозный анализ объемов стока горных рек, как элемент экономической безопасности региона / В. А. Перепелица, Е. В. Попова, А. М. Янгишиева, Т. М. Леншова // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. – 2005. – № 1. – С. 168–176.

276. Предпрогнозный фазовый анализ эволюционного развития элементов финансового рынка / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, И. С. Мусатов [и др.] // По-

литературный сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 128. – С. 772–785.

277. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 278 с.

278. Прогнозирование весенних и осенних заморозков / А. Г. Шевченко, В. И. Суслов, В. Д. Петрова, Д. Н. Записоцкий // Аграрная наука. – 2013. – № 6. – С. 20–22.

279. Прогнозирование развития агропромышленного комплекса / А. Ф. Серков, А. П. Зинченко, А. С. Шелепа, В.А. Кундиус [и др.] // АПК: Экономика, управление. – 2007. – № 4. – С. 43–46.

280. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур : учеб. пособие / А. И. Трубилин, Г. Ф. Петрик, А. Г. Прудников – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 95 с.

281. Прудников А. Г. Метод прогноза урожайности озимых / А. Г. Прудников // Зерновое хозяйство. – 1979. – № 4. – С. 22–23.

282. Прудников А. Г. О совершенствовании структуры посевных площадей на основе прогнозов урожайности / А. Г. Прудников // Сел. зори. – 1979. – № 10 – С. 12.

283. Прудников А. Г. Прогноз и планирование урожая: монография / А. Г. Прудников. – Краснодар: Кн. изд-во, 1986. – 95 с.

284. Прудников А. Г. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: учеб. пособие / А.Г. Прудников, А.И. Трубилин. – Краснодар: КубГАУ, 1999. – 132 с.

285. Прудников А. Г. Эффективность системы земледелия / А. Г. Прудников, А.К. Лоза, В.А. Маркосян / Зерновое хозяйство. – 1985. – № 2. – С. 11.

286. Прудников А. Г. Краткосрочный прогноз производства зерна: монография / А. Г. Прудников. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 120 с.

287. Путькина Л. В. Использование технологий искусственного интеллекта на предприятиях в России / Л. В. Путькина, В. Ф. Минаков, О. С. Лобанов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2023. – № 3-2(141). – С. 73–76.

288. Пыжикова Н. И. Формирование стратегического подхода в организации АПК / Н. И. Пыжикова, Е. В. Титова // Эпоха науки. – 2017. – № 11. – С. 63–67.

289. Радченко В. А. Управление сельскохозяйственным производством и земельная реформа / В. А. Радченко // Никоновские чтения. – 1996. – № 1. – С. 127–131.

290. Риски на зерновом рынке Сибирского федерального округа: причины возникновения, инструменты и методы управления / А. А. Быков, Р. И. Чупин, Я. Ю. Зяблицева, А. Ф. Софронов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2021. – Т. 9. – № 2(53). – С. 92–102.

291. Риск-менеджмент как неотъемлемый элемент системы управления экономической устойчивостью предпринимательских структур / Н. Т. Стрельцова, А. П. Задков, И. Г. Фюттик, И. Н. Демчук // Сибирская финансовая школа. – 2012. – № 3(92). – С. 125–136.

292. Рогов М. А. Риск-менеджмент / М.А. Рогов. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 238 с.

293. Романова М. В. Управление рисками инновационной деятельности // Финансы и кредит. – 2001. – № 1. – С. 14–23.

294. Россия в цифрах. 2021: Крат.стат. сб. / Росстат- М., 2021 – 275 с.

295. Россия и страны мира. 2022: Стат.сб./Росстат. – М., 2022. – 400 с.

296. Рудашевский В. Д. Риск, конфликт и неопределённость в процессе принятия решения и их моделирование. – М.: Менатеп-информ, 1996. – 264 с.

297. Рудой Е. В. Научно-технологическое развитие зернового производства России: комплексная оценка, проблемы и пути решения / Е. В. Рудой, М. С. Петухова // АПК: Экономика, управление. – 2021. – № 6. – С. 71–79.

298. Рыженков А. В. Модели циклического роста. – Новосибирск: Изд-во ИЭИОПП СО РАН, 2003. – 240 с.

299. Светлов Н. М. Модель системной динамики региональных рынков зерна // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 88-105.

300. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661854 РФ. Программа оценки регионального потенциала производства зерна: № 2023660643: заявл. 24.05.2023: опубл. 02.06.2023 / В. В. Алещенко, Е. В. Рудой, А. М. Кумратова [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «НГАУ».

301. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662569 РФ. Программа управления логистическими процессами «Organic logistics»: № 2023660581: заявл. 24.05.2023: опубл. 08.06.2023 / В. В. Алещенко, Е. В. Рудой, А. М. Кумратова [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет».

302. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666812 РФ. Программа оценки уровня развития органического земледелия "OrgFarm": № 2022666166: заявл. 01.09.2022: опубл. 07.09.2022 / В. В. Алещенко, Е. В. Рудой, А. М. Кумратова, К. А. Сивков; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ».

303. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680968 РФ. Программа для проведения предпрогнозного анализа временных рядов урожайности зерновых культур: № 2022680390: заявл. 28.10.2022: опубл. 08.11.2022 / Р. И. Чупин, В. В. Алещенко, А. М. Кумратова, М. И. Попова; заявитель ФГБУ науки Омский научный центр СО РАН.

304. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021664506 РФ. Способы финансирования посевных работ: № 2021619632: заявл. 17.06.2021: опубл. 08.09.2021 / А. М. Кумратова, В. Д. Бакшанский, Л. К. Дунская; заявитель ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина».

305. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612899 РФ. Методы нелинейной динамики: № 2020611841: заявл.

20.02.2020: опубл. 05.03.2020 / А. М. Кумратова, К. А. Сивков; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина».

306. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662164 РФ. Линейный клеточный автомат для нормированных данных: № 2020618297: заявл. 27.07.2020: опубл. 09.10.2020 / А. М. Кумратова, А. В. Абдулхаков; заявитель ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И. Т. Трубилина».

307. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611266 РФ. Фазовый анализ: № 2016618310: заявл. 27.07.2016: опубл. 01.02.2017 / А. М. Кумратова, Ю. С. Михалевич; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ И.Т. Трубилина».

308. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661998 РФ. Линейный клеточный автомат: № 2016618249: заявл. 29.07.2016: опубл. 26.10.2016 / А. М. Кумратова, В. В. Романович; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина».

309. Свиридова Н. Д. Инвестиционная деятельность как форма развития регионального туризма / Н. Д. Свиридова, А. А. Негода // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 22-29.

310. Сельское хозяйство в России. 2019: стат.сб. М.: Росстат, 2021. – 100 с.

311. Семина Л. А. Направления минимизации финансовых рисков организации / Л. А. Семина // Экономика. Профессия. Бизнес. – 2020. – № 3. – С. 81–88.

312. Семина Л. А. Функционирование агропромышленного кластера в условиях развития инновационно-инвестиционной деятельности / Л. А. Семина, И. В. Ковалева // Вестник Алтайского ГАУ. – 2017. – № 4(150). – С. 177–186.

313. Сергеева Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса). – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 227 с.

314. Сигел Э. Практическая бизнес-статистика / Э. Сигел. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2008. – 1056 с.

315. Сизиков А. П. Разработка предметно-ориентированных систем оптимизации (на примере нефтеперерабатывающего производства) // Управление большими системами: сборник трудов. 2012. № 40. С. 291–310.

316. Симоненко Е. И. Многокритериальная верификация прогнозных моделей урожайности зерновых культур / Е. И. Симоненко // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 11-1. – С. 177–179.

317. Симоненко Е. И. Среднесрочное прогнозирование урожайности зерновых культур / Е.И. Симоненко // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 5. – С. 190–194.

318. Симонов С. Ю. Применение статистических методов в прогнозировании рынка зерна / С. Ю. Симонов // Вестник университета. – 2007. – № 2(20). – С. 16–18.

319. Сиптиц С. О. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России / С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, Н. Е. Евдокимова // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2(185). – С. 75–86.

320. Смагин Б. И. Некоторые вопросы прогнозирования зернового производства в регионе / Б. И. Смагин // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2020. – № 2(61). – С. 154–160.

321. Смешко О. Г. Перспективы российской экономики: новые вызовы экономической безопасности и перестройка государственного управления / О. Г. Смешко, В. А. Плотников, Ю. В. Вертакова // Экономика и управление. 2022. Т. 28. № 6. С. 524–537.

322. Совершенствование инструментария повышения конкурентоспособности отечественных компаний: Коллективная монография / А. В. Гугелев, П. В. Старцев, С. А. Жданов [и др.]. – Саратов: Саратовский социально-экономический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова», 2018. – 240 с.

323. Соловьев В. И. Стохастическое моделирование инновационного развития: монография / В. И. Соловьев, А. А. Афанасьев. – М.: Вега-Инфо, 2018. – 121 с.

324. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков. Критические события в комплексных финансовых системах / Д. Сорнетте. – М.: Интернет-Трейдинг, 2003. – 282 с.

325. Сорокин М. А. Конкурентоспособность государства и конкурентоспособность предпринимательских структур: содержание, цели, способы обеспечения / М. А. Сорокин // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2014. – № 3(150). – С. 21-26.

326. Сорокина Т. И. Зерновое производство агропредприятия: условия возделывания и направления повышения экономической эффективности отрасли / Т. И. Сорокина // Мир Инноваций. – 2020. – № 3. – С. 16–20.

327. Специализация регионов Сибири в зерновом производстве (на примере пшеницы) / Л. В. Тю, Е. В. Афанасьев, А. А. Быков, В. В. Алещенко // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 9. – С. 79–82.

328. Сплайн-функции в экономико-статистических исследованиях: [сб.] / отв. ред. Б. Б. Розин ; ИЭОПП СО АН СССР. – Новосибирск: Наука, 1987. – 206 с.

329. Стадник А. Т. Влияние природно-климатических и территориальных условий на конкурентоспособность сельскохозяйственных организаций / А. Т. Стадник, О. Н. Першина // Вестник НГАУ. – 2012. – № 4(25). – С. 119–125.

330. Стадник А. Т. Экономическая эффективность производства зерна по природно-экономическим зонам Красноярского края / А. Т. Стадник, Н. И. Пыжикова, И. Г. Целуйко // Вестник Алтайского ГАУ. – 2009. – № 11(61). – С. 110–114.

331. Стадник А. Т. Долгосрочное прогнозирование развития сельскохозяйственного производства в регионе / А.Т. Стадник, С.А. Шелковников [и др.] // АПК: Экономика, управление. – 2011. – № 7. – С. 31–34.

332. Страхование производственных рисков хозяйствующих субъектов как фактор развития сельских территорий / Ю. И. Новиков, О. В. Шумакова, О. А. Блинов, Б. С. Кошелев // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 11-1. – С. 133–139.

333. Стребков Д. С. Разработка и внедрение инфокоммуникационных систем и технологий в оперативное управление сельскохозяйственным производством / Д. С. Стребков, И. М. Кузнецов, М. В. Макеев // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2012. – № 1(10). – С. 4–8.

334. Султангазин У. М. Использование космического мониторинга в планировании и прогнозировании параметров зернового производства / У. М. Султангазин, Н. Р. Муратова, А. Г. Терехов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т. 1. – № 1. – С. 291–297.

335. Сунчалин А. М. Обзор методов и моделей прогнозирования финансовых временных рядов / А. М. Сунчалин, А. Л. Сунчалина // Хроноэкономика. – 2020. – № 1(22), – С. 26–30.

336. Талёб Н. Н. Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости / Н.Н. Талёб. – М.: КоЛибри, 2009. – 528 с.

337. Тамбиева Д. А. Математические подходы к решению задач эффективного управления / Д. А. Тамбиева // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2016. – № 12 (94). – С. 76–88.

338. Тамбиева Д. А. Методы фрактального и фазового анализа в оценке циклической компоненты одного временного ряда урожайности / Д. А. Тамбиева, М. У. Эркенова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2017. – № 12 (106). – С. 66–78.

339. Тамбиева Д. А. Об одном методе анализа коротких экономических временных рядов / Тамбиева Д. А. // Известия КБНЦ РАН. – 2008. – № 6 (26). – С. 97–102.

340. Тамбиева Д. А. Разработка экономико-математических моделей и методов для сложных социально-экономических систем (в приложении к проблеме

взаимодействия системы налоговых органов и АПК): спец. 08.00.13 "Математические и инструментальные методы экономики": дисс. на соискание ученой степени д-ра экон. наук / Тамбиева Джаннет Алиевна. – Москва, 2011. – 383 с.

341. Тарабукина Т. В. Агропромышленный кластер как основа устойчивого развития сельского хозяйства северного региона / Т. В. Тарабукина, О. Ю. Воронкова // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 8(109). – С. 1227–1231.

342. Тарасова В. В. Долговременная и кратковременная память в дискретных экономических моделях / Тарасова В. В., Тарасов В. Е. // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2017. – № 7-2 (54). – С. 155–160.

343. Тартаковский В. А. Влияние солнечной активности на температуру в приземном слое / В. А. Тартаковский // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29. № 11. – С. 972–979.

344. Тартаковский В. А. Декомпозиция наблюдаемых рядов температуры и чисел Вольфа. Свойства средних величин / В. А. Тартаковский, А.И. Кусков // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т.26. – № 5. – С. 414–421.

345. Тарханов В. И. Геометрическая алгебра – язык творческого мышления <http://plotnikovna.narod.ru/ga.pdf>. Дата обращения 01.09.2023 г.

346. Тебуева Ф. Б. Математические модели и методы для задач многокритериального выбора на графах в условиях недетерминированности исходных данных: специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ": дисс. на соискание ученой степени д-ра ф.-м.н. / Тебуева Фариза Биляловна. – Ставрополь, 2013. – 303 с.

347. Тебуева Ф. Б. Разработка методики количественной оценки долговременной памяти эволюционных дискретных процессов / Ф. Б. Тебуева, В. А. Перепелица // Вестник Ставропольского гос. университета. – 2011. – № 4. – С. 21–25.

348. Тебуева Ф. Б. Технология прогнозирования регулярной компоненты временных рядов эволюционных дискретных процессов с долговременными корреляциями / Ф. Б. Тебуева, В. А. Перепелица, М. Ю. Кабиняков // Вестник СевКавГТИ. – 2012. – № 13. – С. 23–31.

349. Темирова Л. Г. Двухуровневое моделирование дискретных эволюционных процессов в условиях неопределенности: спец. 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ": дисс. на соискание ученой степени канд. ф.-м.н. / Темирова Лилия Гумаровна. – Ставрополь, 2004. – 176 с.

350. Теория нечетких множеств и клеточных автоматов как инструментарий прогноза и адекватного отражения стохастической природы экономических процессов / Е. В. Попова, Н. О. Позднышева, Д. Н. Савинская, А. М. Кумратова и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ. 2011. – № 67. – С. 173–194.

351. Тинякова В. И. Адаптивно-матричные модели и краткосрочное прогнозирование на их основе / В. И. Тинякова, И. В. Юрковский // Учет и статистика. – 2017. – № 4 (48). – С. 16–28.

352. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, Н. Марголус. – М.: Мир, – 1991. – 280 с.

353. Трубилин А. И. Экономическая оценка технологических факторов повышения эффективности и конкурентоспособности производства зерна: монография / А. И. Трубилин. – Краснодар : КубГАУ. – 2004. – 103 с.

354. Трухачев В. И. Природные факторы в прогнозировании экономических показателей зернового хозяйства / В. И. Трухачев, Е. Г. Никитенко // Вестник АПК Ставрополья. – 2011. – № 3(3). – С. 46–49.

355. Тэпман Л.Н. Риски в экономике: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 380 с.

356. Тю Л. В. Специализация регионов Сибири в зерновом производстве (на примере пшеницы) / Л. В. Тю, Е. В. Афанасьев, А. А. Быков, В. В. Алещенко // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 9. – С. 79–82.

357. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика // Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения». – М.: Наука, 2000. – 431 с.

358. Управление сельскохозяйственным производством // Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / гл. ред. В. К. Месяц. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 655 с.

359. Управление сложным процессом на базе метода фазового анализа / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Н. С. Курносова, К. А. Сивков // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – № 2(261). – С. 40–46.

360. Усенко О. Л. Теория экономического риска. – Киев: Межрегиональная академия управления персоналом (МАУП), 1997. – 164 с.

361. Устюжанина Е. В. 10 заповедей экономического мышления. Заповедь 8. Риски имеют стоимость \ Е. В. Устюжанина // Новое время. – 2003. – № 1/2. – С. 16–17.

362. ФАО. 2018. Состояние рынков сельскохозяйственной продукции. Торговля сельскохозяйственной продукцией, изменение климата и продовольственная безопасность. Рим.

363. Филимонова Н. Г. Оценка экономического механизма аграрного сектора как инструмента обеспечения продовольственной безопасности региона / Н. Г. Филимонова, М. Г. Озерова // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2016. – Т. 12. – № 2(335). – С. 81–93.

364. Филимонова Н. Основные направления совершенствования экономического механизма аграрного сектора России / Н. Филимонова, М. Озерова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 6. – С. 20–23.

365. Фрид Э. Элементарное введение в абстрактную алгебру / Перевод с венгерского Ю. А. Данилова. – М.: Издательство «Мир», 1979. – 264 с.

366. Фролова Т. А. Экономика и управление в сфере социально-культурного сервиса и туризма/ Т.А. Фролова / Конспект лекций. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2011, <http://www.aup.ru/books/m19/> (дата обращения 16.04.2022 г.)

367. Халин В. Г. Методологические аспекты создания и функционирования систем поддержки принятия решений / В. Г. Халин, Г. В. Чернова, А. В. Юрков // Экономический анализ: теория и практика. – 2015. – № 7(406). – С. 20–33.

368. Халин В. Г. Модель формирования эффективного бизнеса / В. Г. Халин, Г. В. Чернова, С. А. Калайда // Управленческое консультирование. – 2022. – № 7(163). – С. 66–87.

369. Халин В. Г. Управление рисками конкретного вызова цифровизации / В. Г. Халин, Г. В. Чернова // Управление риском. – 2021. – № 4(100). – С. 58–63.

370. Халин В. Г. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски / В. Г. Халин, Г. В. Чернова // Управленческое консультирование. – 2018. – № 10(118). – С. 46–63.

371. Халин В. Г. Цифровизация и ее влияние на современную экономическую конвергенцию – методологический аспект / В. Г. Халин, Г. В. Чернова // Управленческое консультирование. – 2020. – № 8(140). – С. 78–87.

372. Харламов А.В. Государственное управление инновационным развитием с использованием возможностей импортозамещения / А. В. Харламов, Т. Л. Харламова, И. Поняева // Известия СПбГЭУ. 2022. № 4 (136). С. 69–75.

373. Хворова Л. А. Методы и технологии прогнозирования погодных факторов / Л.А. Хворова, В.М. Брыксин // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 6. – С. 105–108.

374. Хворова Л. А. Построение статистической модели прогноза урожайности яровой пшеницы методом главных компонент / Л. А. Хворова, Н. В. Гавриловская // Известия Алтайского государственного университета. – 2009. – № 1. – С. 69–72.

375. Ходос Д. В. Инновационное развитие регионов: модели анализа и оценка перспектив / Д. В. Ходос, Д. В. Паршуков, А. Л. Зелезинский // Инновационное развитие экономики. – 2018. – № 2(44). – С. 79–88.

376. Ходос Д. В. Стратегическое управление искусственным интеллектом в Российской экономике / Д. В. Ходос, А. М. Воротынская // Известия СПбГЭУ. – 2021. – № 1(127). – С. 91–96.

377. Ходос Д. В. Экономический механизм развития АПК региона / Д. В. Ходос, С. Г. Иванов, О. Г. Дьяченко // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12(87). – С. 24–28.

378. Храбсков Е. Н. Комплексная система управления зерновым производством с учетом рисков / Е. Н. Храбсков // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 9. – С. 27–30.

379. Худяков С. В. Многокритериальная оптимизация инвестиционных проектов в условиях неопределенности в субъектах инновационной деятельности // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2013. – № 10 (64). – С. 91–98.

380. Цехомский Н. В. Инвестиционная поддержка промышленного развития в условиях санкций / Н. В. Цехомский // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2022. – № 4 (54). – С. 5–9.

381. Цифровизация сельского хозяйства на примере Румынии / Д. М. Назаров, И. С. Кондратенко, В. В. Сулимин, В. В. Шведов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 6(390). – С. 622–624.

382. Чадранцев А. В. Определение прогнозируемости экономических процессов: дис. ... канд. экон. наук. Ставропольский гос. университет, Ставрополь, 2005.

383. Черенкова Е. А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах Европейской территории России / Е. А. Черенкова // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 6. – С. 76–85.

384. Черкасов, А. А. Диадическая векторная модель количественного экономического риска : специальность 08.00.13 "Математические и инструментальные методы экономики" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Черкасов Александр Александрович. – Ставрополь, 2011. – 187 с.

385. Чернавский Д. С. Об эконофизике и её месте в современной теоретической экономике / Д. С. Чернавский, Н. И. Старков и др. // УФН, 2011. – Т. 181, № 7, – С. 15–25.

386. Чернова Г. В. Факторы и предпосылки межсегментной экономической конвергенции / Г. В. Чернова, В. Г. Халин, С. А. Калайда // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 5(118). – С. 200–204.

387. Чижевский А. Л. Космический пуль жизни: Земля в объётах Солнца. Гелиотараксия [Текст] / А. Л. Чижевский. – М.: Мысль, 1995.

388. Чудилин Г. И. Зерновой комплекс: условия устойчивости: монография / Г. И. Чудилин. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2007. – 397 с.

389. Чудновский А. Д. Управление потребительскими предпочтениями в сфере отечественного туризма и гостеприимства и основные направления реализации туристского продукта: учебное пособие / А.Д. Чудновский, М.А.Жукова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва, Федеральное агентство по туризму, 2017. – 370 с.

390. Чупров С. В. Энтропия, информация и особенности самоорганизации экономических систем / С. В. Чупров // В книге: Экономика и менеджмент в условиях нелинейной динамики. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 336–353.

391. Шаныгин С. И. Нормирование показателей в многофакторных исследованиях экономических процессов / С. И. Шаныгин, Э. Р. Ризванова // Экономика. Право. Инновации. – 2020. – № 3. – С. 4–13.

392. Шаныгин С. И. Особенности разработки моделей для системы поддержки принятия управленческих решений администрации субъекта РФ / С. И. Шаныгин // Экономика. Право. Инновации. – 2019. – № 3. – С. 24–29.

393. Шаныгин С. И. Предварительная математическая обработка данных в задачах обоснования решений о состоянии социально-экономических систем / С. И. Шаныгин // Известия СПбГЭУ. – 2019. – № 6(120). – С. 123–132.

394. Шарыбар С. В. Основные направления инвестиционной привлекательности региона / С. В. Шарыбар, Д. А. Картавых // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2018. – № 12(118). – С. 86.

395. Шашко Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 247 с.

396. Шибаетов И. Г. Оценка восстановленной части ряда чисел Вольфа и возможность ее коррекции / И. Г. Шибаетов // Астрономический вестник. – 2008. – Т. 42. № 1. – С. 66–74.

397. Широков С. Н. Об актуализации обоснования объемов производства зерна / С. Н. Широков, И. Р. Трушкина // Известия Международной академии аграрного образования. – 2020. – № 48. – С. 104–111.

398. Шугай Ю. С. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования событий и поиска предвестников в многомерных временных рядах / Ю. С. Шугай // Искусственный интеллект. 2004. № 2, с. 211–215.

399. Шумпетер Й. Теория экономического развития. – М.: Прогресс, 1982. – 455 с.

400. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение / Г. Шустер. – М.: Издательство «Мир», 1998. – 288 с.

401. Эддоус М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стэнсфилд. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.

402. Экономика регионов: тенденции развития / Авдеева И. Л., Акчурина И. Г., Алехина Е. С. и др. Воронеж: Изд-во ВГПУ, 2013. – 329 с.

403. Экономическая эффективность и перспективы развития зернового производства в Сибири / Л. В. Тю, Е. В. Афанасьев, А. А. Быков, О. А. Алещенко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 1. – С. 28–32.

404. Эмбрехтс П. Трудности оценки риск-экстремумов / П. Эмбрехтс // Управление рисками. Перевод Джеймса Пикфорда. – М.: ООО «Вершина», 2004. – 352 с.

405. Эшби У. Введение в кибернетику. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 432 с.

406. Якименко, М.В. Методологический подход к оценке потенциала и сценарному прогнозированию развития туристско-рекреационных кластеров / М. В. Якименко, Е. В. Жертовская // Туризм: право и экономика. – 2020. – № 3. – С. 24–32.

407. Якимова В. А. Возможности и перспективы использования цифровых технологий в аудиторской деятельности / В. А. Якимова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2020. – Т. 36, № 2. – С. 287–318.

408. Яковенко В. С. Экономическая динамика в фазовом пространстве / В. С. Яковенко // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 11-1 (76-1). – С. 1149–1155.

409. Яновский Л. П. Принципы, методология и научное обоснование урожая по технологии «Зонт» / Л. П. Яновский. – Воронеж: ВГАУ, 2000. – 379 с.

410. Afanaseva E. P. Export Potential of Russian Agribusiness Products in a Regional Perspective / E. P. Afanaseva, A. M. Kumratova, A. B. Malina // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022, 210, pp. 115–124.

411. A hybrid approach of fractal and linguistic forecasting of winter wheat yields in southern Russia / Kumratova A. M., Popova E. V.; Costa L. S., Shaposhnikova O. I. // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. Том: 6. Выпуск: 3. pp. 5299–5303.

412. Application of nonlinear dynamics methods for predictive testing the economic time series data / Kumratova A.M. Popova E.V., Piterskaya L., Tretyakova, N; Chikatueva, L // Indo American journal of pharmaceutical sciences. Том: 6, Выпуск: 3, pp. 5598–5602.

413. Are Russian wheat exporters able to price discriminate? Empirical evidence from the last decade / Z. Pall, O. Perkhochuk, R. Teuber, et al. // Journal of Agricultural Economics. 2013. 64 (1). P. 177–196.

414. Atteia M. Generalisation de la definition et des proprietes des «spline fuhction» / M. Atteia // *Compt. Rend.* – 2018. – N 260. 1965. – pp. 3550–3553.

415. Baldwin A. Opportunities for artificial intelligence development in the accounting domain: the case for auditing / A. Baldwin, C. Brown, B. Trinkle // *Finance and Management*. 2006. № 14, pp. 77– 86.

416. Beknazarova S. S. Data analysis in distributed information systems / S. S. Beknazarova // *Big Data and Advanced Analytics*. – 2021. – No 7-1. – P. 59–66.

417. Calderon T. G. A roadmap for future neural research in auditing and risk assessment / T.G. Calderon, J.J. Cheh // *International Journal of Accounting Information Systems*, 2002. vol.3–4, pp.203–236.

418. Cenek M. Evolving Cellular Automata [Text] / M. Cenek, M. Mitchell // *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. – 2009. – P. 3233–3242.

419. Chiu C. T. An intelligent forecasting support system in auditing: expert system and neural network approach / C. T. Chiu, R. Scott // *System Sciences*, 1994. vol.3, pp. 272–280.

420. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 485–533.

421. Decision tree as a tool for implementing a scenario approach for multi-level predictive models / Kumratova, A. M., Popova, E. V., Aleshchenko, V. V., Bykov, A. A., Bashieva, A. K. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. 839(3), 032050.

422. Digital Cooperation as a Promising Way to Improve the Financial Results of Enterprises / A. R. Nabiyeva, L. I. Kuzmina, A. M. Kumratova [et al.] // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – Vol. 245. – P. 157–165.

423. Dynamics Data Prediction based on Time Series De-composition: The Case of Tourist Flow Data / Kumratova A., Popova E., Kurnosov S., Kondratiev V., Kurnosova N. // *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. – 2021. – № 12(8), 12A8P, – pp. 1–10.

424. Expected Scenarios of Development of Information Economy in the Global Economic System / Bogoviz, A. V.; Savinskaya, D. N.; Kumratova, A. M., Fonnina, T. B., Ibragimov, N. M. // Models of modern information economy: conceptual contradictions and practical examples. – Pp. 303–312.

425. Foltz, F. Science, Pollution, and Clean Drinking Water: Choosing Between Tap Water, Bottled Water, and Home Purification / F. Foltz // Bulletin of Science, Technology and Society. – 1999. – Vol. 19. – No 4. – P. 300-309.

426. Forecasting Development of Economic Processes using Adapted Nonlinear Dynamics Methods / A. M. Kumratova, E. V. Popova, L. G. Temirova, O. I. Shaposhnikova // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). Volume-9 Issue-1, October 2019. – pp. 3082–3085.

427. Forecasting of Supplies in Liquidation of Emergency Situations / V. Vilkov, V. Plotnikov, A. Chernykh [et al.] // XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Volume 1 : Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. – Rostov-on-Don: Springer Verlag, 2022. – P. 665–673.

428. Formation and development characteristics of grain production and marketing in Siberia / Bykov, A. A., Aleshchenko, V. V., Chupin, R. I., Popova, E. V., Kumratova, A. M. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022, 14(3), pp. 326–341

429. Geometry from a Time Series / N. Packard, J. Crutchfield, D. Farmer, R. Shaw // Physical Review. 1980. Letters 45. P. 712-716.

430. Gilmore C. G. A new test for chaos // Journal of economic behavior and organization, №22, 1993. – P. 209–237.

431. Grassberger P. Characterization of strange attractors / P. Grassberger, I. Procaccia // Phys. Rev. Lett. – 1983. – Vol. 50. – P. 346.

432. Hans-Peter Piepho and other. Recent claim of declining climate resilience in European wheat is not supported by the statistics used // PNAS May 28, 2019 116 (22) 10625-10626; <https://doi.org/10.1073/pnas.1901946116>.

433. Harvey C.R. Predictable Risk and Returns in the Emerging Markets / C. R. Harvey // *Review of Financial Studies*. – 1995. – V. 8. - № 3. – pp. 773–816.

434. Innovative methods and tools for obtaining pre-forecast information in the socio-economic processes research / Kumratova A., Vasilenko, I. I., Semenova, A. N., Popova, M. I. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* this link is disabled. – 2022, 1069(1), 012040.

435. Key Directions in Russian Science and Technology Policy in the Context of the Growing Competition in Industrial Markets / Turovsky, A. A., Bulgarov, M. A., Kumratova, A. M., Korovyakovskiy, D. G., Aleksashina, T. V. // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2021. – № 280. – pp. 538–548.

436. Kumratova A. M. Estimation obtaining instrumental means based on nonlinear dynamics methods / A. M. Kumratova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – № 786(1), 012009.

437. Kumratova A. The artificial intelligence method application for grain production productivity indicators predicting / A. Kumratova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* this link is disabled. 2022, № 1069(1), 012045.

438. Lavergne M. B. *Theorie des marches economiques* / M. B. Lavergne. – Paris. 1910.

439. Litner J. The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risk Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets / J. Litner // *Review of Economic Statistics*. – 1965. – p. 47–53.

440. Makarova T. Assessment tools for investment attracting factors in rural development / T. Makarova, Y. Domenko, V. Plotnikov // *E3s web of conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021)*. – Moscow: EDP Sciences, 2021. – P. 07026.

441. Markowitz H. M. Portfolio Selection / H. M. Markowitz // *Journal of Finance*. – 1952. – Volume 7. - № 1. – p. 77–91.

442. Mirgol B. Possible scenarios of winter wheat yield reduction of Dryland Qazvin Province, Iran, based on prediction of temperature and precipitation till the end of the century / B. Mirgol, M. Nazari // *Climate*. – 2018. – Vol. 6. – No 4. – P. 78.

443. Nagel K. A cellular automation model for freeway traffic / K., Nagel, M. Schreckenberg // *Phys. I France*. – 1992. – V. 2. – P. 2221–2229.

444. National food security under institutional challenges (Russian experience) / V. Plotnikov, Y. Nikitin, M. Maramygin, R. Ilyasov // *International Journal of Sociology and Social Policy*. – 2021. – Vol. 41, No. 1-2. – P. 139–153.

445. Nietert B. Dynamics Portfolio Selection and Risk-Return Trade Off with Respect to Stock Price Jumps in Continuous Time / B. Nietert. - Working Paper. Passau University, Germany, 1997.

446. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. Paris: OECD Publishing, 2021. URL: <https://doi.org/10.1787/19428846-en> (дата обращения: 22.07.2021).

447. Packard N. Geometry from a Time Series / N. Packard, J. Crutchfield, D. Farmer and R. Shaw. *Physical Review Letters* 45, 1980.

448. Popova E. V. Hybrid instrumental means of predictive analysis of the dynamics of natural and economic processes / Popova E., Costa L. de S., Kumratova A. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019; – vol. 923. – pp. 31–39.

449. Preliminary processing of data for the problem of short-term forecasting of electric energy cost / A. S. Polyakova, U. N. Kruglova, S. S. Bezhitskiy, S. V. Shelikhova // *Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации*. – 2015. – No. 14. – P. 247–249.

450. Purola T. Production of Cereals in Northern Marginal Areas: An Integrated Assessment of Climate Change Impacts at the Farm Level / Purola T., Lehtonen, H., Liu, X. & Palosuo // *Agricultural Systems*. – 2018, – № 162(c). – pp. 191–204.

451. Quantification of the Climate Change Impact on the Grain Production in the South of Siberia / V. V. Aleshchenko, A. M. Kumratova, O. A. Aleshchenko, N. N. Zhuravleva // *Russian Meteorology and Hydrology*. – 2023. – Vol. 48, No. 10. – P. 888-896.

452. Quantifying yield gaps in wheat production in Russia / F. Schierhorn, M. Faramarzi, A. Prishchepov, et al. // *Environmental Research Letters*, 2014. 9. 084017. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/8/084017/pdf> (дата обращения: 22.06.2021).

453. Revealing the determinants of wheat yields in the Siberian breadbasket of Russia with Bayesian networks / A.V. Prishchepov, E.V. Ponkina, Z. Sun, et al // Land Use Policy. – 2019. – № 80. – P. 21–31.

454. Schiff J. L. Cellular automata: a discrete view of the world [Text] / J. L. Schiff. – A John – Wiley&Sons inc, Publication. University of Auckland, 2008. – 279 p.

455. Schoenberg I. J. Cardinal interpolation and spline functions / I. J. Schoenberg // Jour. Approx. Theory, – Т.2. – № 2 (1969). – pp. 167–206.

456. Schumpeter J. A. History of Economic Analysis / J. A. Schumpeter, 1954 История экономического анализа. Том 1-3. – СПб.: Экономическая школа, 2001. – 1664 с.

457. Sermpinis G. Forecasting and trading the EUR/USD exchange rate with gene expression and psi sigma neural networks / G. Sermpinis, J. Laws, A. Karathanasopoulos, C. L. Dunis // Expert Sys. Appl. – 2012. – № 39(10). – pp. 8865–8877.

458. Simulation of soil organic carbon effects on long-term winter wheat (*Triticum aestivum*) production under varying fertilizer inputs / B. B. Ghaley, J. R. Porter, H. Wösten [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2018. – Vol. 9. – P. 1158.

459. Socio-Economic Nonlinear Dynamics Processes for Forecast and Pre-Forecast Information Based on Time Series / Kumratova, A; Popova, E; Skiter, N; Klintsevich, R; Shaposhnikova, O // International transaction journal of engineering management & Applied sciences & Technologies. – 2021. – № 12 (2).

460. Socolnikoff I.S. Mathematical theory of elasticity/ I. S. Socolnikoff // New York, 1956.

461. Spatial and Temporal Variability of Corn Grain Yield: Site-Specific Relationships of Biotic and Abiotic Factors / S. Machado, E. D. Bynum Jr, T. L. Archer [et al.] // Precision Agriculture. – 2000. – Vol. 2. – No 4. – P. 359–376.

462. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan / F. Schierhorn, M. Hofmann, I. Adrian, et al. // Journal of Arid Environment. – 2020. – № 178. 104164.

463. Standards and norms of managing the innovative development of a modern economic system (Book Chapter) / Dianov, A. Y., Malinovskii, L. F., Kumratova, A. M., Larina, L. B., Yuldashev, R. T. // The Economic and Legal Foundations of Managing Innovative Development in Modern Economic Systems. – 2020. – pp. 81–88.

464. Statistics Application of the Dynamics Socio-Economic Processes: A Case of Russian Insurance Data / Kumratova, A; Popova, E., Khudyakova, E., Vasilenko, I., Saykinov, V. // International transaction journal of engineering management & Applied sciences & Technologies. – 2021. – № 12 (3).

465. Study of the problems of sustainable development of rural territories / O. V. Kosenchuk, V. V. Aleshchenko, V. F. Stukach, et al. // International Journal of Economic Research. – 2016. – Vol. 13. – № 6. – P. 2391–2407.

466. Synergistic Effects In The Dynamics Of Socio-Economic Systems And Processes / Kumratova, A; Popova, E; Tyunin, E; Murlin, A // Bioscience research. – 2021. – № 18 (2), – pp.1488–1492.

467. Systemic Inflationary Risk As A Factor To Investment Climate Formation / Latysheva L. A.; Piterskaya L. Y., Shamrina S. Y., Kumratova A. M. // Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences. – T. 9. – № 6. – pp. 776–779.

468. Takens F. Dynamical systems and turbulence / F. Takens // Lect. Notes in Math, Berlin, Springer. – 1981. – No 898. – P. 336.

469. Tempesti G. Self-Replication and Cellular Automata [Text] / G. Tempesti, D. Mange, A. Stauffer // Encyclopedia of Complexity and Systems Science. – 2009. – P. 1–24.

470. The State of Agricultural Commodity Markets 2020. Agricultural markets and sustainable development: Global value chains, smallholder farmers and digital innovations. Rome: FAO Publ., 2020. URL: <https://doi.org/10.4060/cb0665en> (дата обращения: 22.07.2021).

471. Tourist and recreational complex elements dynamics research data analysis qualitative methods / Kumratova A. M., Popova E. V., Velikanova L. O., Vasilenko I. I., Popova M. I. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 786(1), 012010.

472. Trends and Forecasts Analysis of Insurance Industry in Russia / Kumratova A., Popova, E., Khudyakova, E., Vasilenko, I., and Orlyanskaya, N. // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. – 2021, 12(11), 12A11R, – pp. 1–8.

473. Tryon R. C. Cluster Analysis / R. C. Tryon. – London: Ann Arbor Edwards Bros, 1939. – 139 p.

474. Vanstone B. An empirical methodology for developing stockmarket trading systems using artificial neural networks / B. Vanstone, G. Finnie // Expert Sys. Appl. – 2009. – № 36(3). – pp. 6668–6680.

475. Vertakova Y. Mergers and Acquisitions Risk Modeling / Y. Vertakova, I. Vselenskaya, V. Plotnikov // Journal of Risk and Financial Management. – 2021. – Vol. 14, No. 9. – P. 451.

476. Vertakova Yu. V. Theoretical Aspects of Considering the Dynamic Characteristics of Socioeconomic Systems in the Management of Regional Development / Yu. V. Vertakova, V. A. Plotnikov // Regional Research of Russia. – 2013. – Vol. 3, No. 1. – P. 89–95.

477. Water availability and state of water resources within water-economic basins in Kazakhstan / G. Issanova, J. Abuduwaili, G. Yongxiao [et al.] // Paddy and Water Environment. – 2018. – Vol. 16. – No 1. – P. 183-191.

478. Weather risks in grain production / Kumratova, A. Chupin, R.I., Aleschenko, V.V., Aleschenko, O.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022, – № 1076(1), 012057.

479. Wiebe K., Lotze-Campen H., Sands R., Tabeau A., van der Mensbrugge D., Biewald A., Bodirsky B., Islam S., Kavallari A., Mason-D’Croz D., Müller C., Popp A., Robertson R., Robinson S., van Meijl H. Willenbockel. 2015. “Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios”.

480. Xianjun Ni. Research of Data Mining Based on Neural Networks / Ni Xianjun // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2008. – No 39. – P. 381–384.

481. Yaglom I. Mathematical structures and mathematical modeling. – М.: Soviet Radio, 1980. – 144 p.

Интернет-источники

482. База агроклиматических данных и рассчитанные средние потери и вероятность снижения урожайности озимых и ранних яровых зерновых культур от засушливых явлений по субъектам РФ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cxm.obninsk.ru/index.php?id=583> (дата обращения 20.03.2023).

483. База данных Росстата «Показатели муниципальных образований»: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 11.09.2023).

484. Выращивание пшеницы в России. Режим доступа: <http://nalugah.ru/zernovye/pshenica/gde-vyrashchivayut-pshenicu-v-rossii.html> (Дата обращения 21.08.2023).

485. ГЭВУ, 2012 год Продовольственная безопасность и изменение климата Доклад Группы высокого уровня по продовольственной безопасности и питанию Комитета по всемирной продовольственной безопасности, Рим, 2012 год. Режим доступа www.fao.org/cfs/cfs-hlpe

486. Единая межведомственная информационно-статистическая система. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/> (дата обращения 20.09.2023)

487. ООН признала засухи самым страшным стихийным бедствием. Режим доступа: https://news.rambler.ru/disasters/46890605/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (Дата обращения 15.10.2023)

488. Пшеница — triticum. Режим доступа: <http://ecosystema.ru/07referats/cultrast/001.htm>. Дата обращения 15.09.2021 г.

489. Экономическое районирование России. Режим доступа: <https://geographyofrussia.com/ekonomicheskoe-rajonirovanie-rossii/> (дата обращения 20.12.2021).

490. Где путешественникам бронировать отели и квартиры: 10 российских сервисов. Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/list/no-booking/> (дата обращения 10.04.2022 г.)

491. 21 метод работы с будущим в эпоху неопределенности. Режим доступа: <https://big-i.ru/biznes-i-obshchestvo/nauka/854793><https://hbr-russia.ru/biznes-i-obshchestvo/nauka/854793> (Дата обращения 05.05.2023 г.)

492. Тройное экспоненциальное сглаживание (2012) Planetcalc. [online] Available at: <https://planetcalc.ru/600/>. [Accessed 20.01.2024].

Приложения

Приложение А – Входные данные исследования

Таблица П.1 – Урожайность зерновых и зернобобовых культур в Краснодарском крае за период с 1870 по 2021 гг.

годы	Урож. (ц/га)								
1870	2,1	1901	5	1932	8,3	1963	17,6	1994	25,3
1871	3,2	1902	6,9	1933	6,6	1964	8,1	1995	24,6
1872	2,5	1903	6,7	1934	9,5	1965	11,3	1996	21
1873	6,2	1904	5,6	1935	8,5	1966	18	1997	22,5
1874	5,2	1905	6,5	1936	8,2	1967	14	1998	22,11
1875	2,5	1906	5,1	1937	13,2	1968	16,5	1999	21,79
1876	2,4	1907	5,3	1938	13,1	1969	10,1	2000	22,6
1877	9	1908	2,9	1939	11,8	1970	20,9	2001	28,6
1878	4,4	1909	6,5	1940	10,2	1971	22,8	2002	33,1
1879	2,9	1910	6,2	1941	14	1972	13,9	2003	24
1880	4,8	1911	4	1942	5	1973	22,5	2004	34,9
1881	9,2	1912	6,4	1943	3,8	1974	15,8	2005	36,9
1882	8,4	1913	8,4	1944	7,7	1975	11	2006	33,3
1883	3,5	1914	5,2	1945	5,2	1976	13,6	2007	35,8
1884	7	1915	8,4	1946	5,5	1977	21,7	2008	38,6
1885	1,9	1916	6,3	1947	3	1978	27,2	2009	32,3
1886	0,9	1917	7,7	1948	9,1	1979	12,1	2010	33,7
1887	12,1	1918	7,2	1949	11,3	1980	23	2011	38,7
1888	6,2	1919	3,5	1950	8,6	1981	27,4	2012	21,9
1889	3,9	1920	3	1951	12	1982	20,4	2013	30,6
1890	2,8	1921	1	1952	17,4	1983	21,1	2014	39,2
1891	7	1922	7,9	1953	9,9	1984	21,6	2015	39,2
1892	12,7	1923	4,8	1954	11,5	1985	13,7	2016	42,4
1893	13	1924	1	1955	7,9	1986	27,3	2017	62
1894	5,8	1925	7,4	1956	13,6	1987	21,2	2018	61,5
1895	7,5	1926	6,7	1957	10,5	1988	27,6	2019	47,8
1896	3,9	1927	2,8	1958	15,1	1989	31	2021	60
1897	1,6	1928	2,7	1959	10,6	1990	35,2		
1898	6,1	1929	6,2	1960	17,7	1991	31,8		
1899	6,9	1930	9	1961	10,4	1992	29,7		
1900	5,1	1931	6,8	1962	18,1	1993	32,6		

Таблица П.2 – Урожайность основных сельскохозяйственных культур по Карачаево-Черкесской Республике за период с 1952 по 2021 гг.

годы	озимая пшеница (ц/га)	картофель (ц/га)	подсолнечник (ц/га)	кукуруза на зерно (ц/га)	сахарная свекла (ц/га)
1	2	3	4	5	6
1952	14,3	49	6,9	8	
1953	14,7	50	7,3	8,6	
1954	12,5	55	8,5	8,1	
1955	8	63	8,3	15,4	
1956	14,2	60,8	7,7	7,4	
1957	12,1	70	11,3	16,2	25,2
1958	14,8	71	11,6	35,2	118
1959	12	57	6,8	12,6	50
1960	15,2	58	6,9	25,9	106
1961	9,6	66	9,4	29	105
1962	19,8	65	7,7	17,3	84
1963	20,8	91	10,6	17,7	104
1964	15,6	86	11,1	20,4	140
1965	20,2	85	8,8	19,3	118
1966	21,6	90	9,6	18,9	146
1967	16,7	75	8,7	18,0	208
1968	20,2	98	11,5	20,3	214
1969	18,6	115	10,4	16,9	144
1970	24,8	96	10,4	15,4	188
1971	29,1	82	10	9,0	101
1972	25,5	98	10,1	18,6	202
1973	27,8	99	11,5	17,0	202
1974	17,6	111	12,4	18,6	205
1975	20,6	114	15,3	20,6	186
1976	26,7	146	8,9	13,2	265
1977	23,9	72	6,5	16,5	215
1978	29,3	133	9,1	24,4	243
1979	25,6	125	11,8	19,1	238
1980	27,1	106	10,4	20,2	264
1981	27,6	140	5,7	17,8	229
1982	23,5	130	8,3	16,3	300
1983	24,0	140	10	21,7	281
1984	26,3	116	10,8	23,1	270

Продолжение таблицы П.2

1	2	3	4	5	6
1985	18,3	130	11,4	14,4	308
1986	35,7	174	13,6	24,5	242
1987	28,9	126	12,8	29,3	287
1988	28,8	101	13,1	23,4	262
1989	30,6	160	8,9	34,0	303
1990	38,7	150	14,9	28,4	335
1991	33,2	144	12,9	21,1	287
1992	24,2	72	7,4	11,4	196
1993	23,5	90,3	7,8	8,6	187,8
1994	27,6	82,3	8,3	8,1	173,3
1995	30,2	67,2	11,3	18,4	247,2
1996	25,7	120,4	4,2	16,4	180,9
1997	14,6	48	2	17,5	148,9
1998	12,79	48,2	4,6	4,1	119,8
1999	21,09	45,4	5,2	7,7	116
2000	21,8	92,9	7,5	18,6	157,9
2001	27,8	98,8	7,1	18,5	165,1
2002	28,8	100,3	9,3	19,3	236,1
2003	23,0	101,1	9	17,7	170,2
2004	24,5	99,1	5,4	22,0	214,5
2005	21,4	113,9	8,4	17,0	166,3
2006	25,2	111,8	7,8	17,4	163
2007	26,1	112,4	11,6	23,6	305,9
2008	27,2	124,9	8	25,4	321,1
2009	25,3	135,4	9,5	23,8	359,9
2010	28,9	109,6	13,3	36,7	405,2
2011	33,4	134,6	13,4	32,9	345,1
2012	22,3	132,1	10	38,7	392,1
2013	38,7	162,8	15,4	56,1	496,6
2014	39,2	136,7	13,3	52,3	484,9
2015	47	150,1	14,3	50,9	404,4
2016	39,7	151,3	14,6	57,9	492,6
2017	41,7	162,8	16,5	55,7	375,1
2018	49,2	148,4	19,9	50,7	489,4
2019	36		19,2	58,4	409,3
2020	31,8		14,1	40,5	356
2021	38,8	132,4	21,9	50,2	397,4

Таблица П.3 – Данные по урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно по территории Краснодарского края (период 1966-2021 гг.)

годы	Урож. (ц/га)	годы	Урож. (ц/га)	годы	Урож. (ц/га)	годы	Урож. (ц/га)
Озимая пшеница				Кукуруза на зерно			
1966	29,5	1995	32,7	1966	30,7	1995	30,9
1967	25,7	1996	28,1	1967	32,6	1996	15,8
1968	30,1	1997	33,6	1968	35,4	1997	35,2
1969	22	1998	29,02	1969	24,2	1998	13,3
1970	36,6	1999	37,84	1970	25,8	1999	20,1
1971	37,2	2000	39	1971	23,7	2000	22,5
1972	25,5	2001	44,4	1972	27	2001	13,8
1973	30,9	2002	47,5	1973	30,2	2002	29,6
1974	34,3	2003	33,8	1974	32,1	2003	34
1975	25,5	2004	43,4	1975	26,8	2004	44,9
1976	33,5	2005	46,8	1976	35,7	2005	40,9
1977	32,8	2006	42,9	1977	41,3	2006	40,7
1978	39,7	2007	45,4	1978	32,5	2007	25,5
1979	31,3	2008	55,4	1979	23,8	2008	50
1980	31,1	2009	46,1	1980	25,1	2009	35,4
1981	32,4	2010	50,2	1981	22,4	2010	34,4
1982	33,1	2011	55,3	1982	42,2	2011	49
1983	31,6	2012	40,1	1983	32,5	2012	42,5
1984	37,6	2013	50,3	1984	38,2	2013	53
1985	28,8	2014	55	1985	31,3	2014	53,2
1986	43,2	2015	59,2	1986	26,8	2015	53,5
1987	39,5	2016	58,4	1987	39,3	2016	55,1
1988	37,5	2017	61,5	1988	39,8	2017	50,5
1989	43,2	2018	61,6	1989	40,9	2018	33,9
1990	56	2019	59,7	1990	35,1	2019	49,7
1991	42,7	2020	47,8	1991	36,3	2020	46,8
1992	38,9	2021	60	1992	33,5	2021	53,6
1993	41,3			1993	34,2		
1994	36,2			1994	15,4		

Таблица П.4 – Данные по осадкам по Ставропольскому краю (апрель)
за период с 1944 по 2022 гг.

Год	мм.	годы	мм.	годы	мм.
1944	526	1971	534	1998	381,2
1945	550	1972	649	1999	688,5
1946	451	1973	566,4	2000	530,1
1947	660	1974	545,6	2001	492,6
1948	588	1975	409,4	2002	563,4
1949	380	1976	627,7	2003	780,7
1950	471	1977	503	2004	560,8
1951	719	1978	368,7	2005	444,5
1952	505	1979	627,4	2006	488
1953	568	1980	575,9	2007	542,6
1954	438	1981	638,8	2008	532,6
1955	709	1982	472,5	2009	621,9
1956	448	1983	312,4	2010	594,3
1957	614	1984	655	2011	68,70
1958	496	1985	460,9	2012	13,10
1959	653	1986	582,5	2013	22,00
1960	671	1987	752,9	2014	60,50
1961	602	1988	701,1	2015	52,60
1962	487	1989	538,1	2016	16,60
1963	425	1990	564,5	2017	20,40
1964	618	1991	635,9	2018	15,00
1965	761	1992	593,9	2019	21,3
1966	580	1993	424,2	2020	7,4
1967	627	1994	536,6	2021	63,2
1968	529	1995	642	2022	26,2
1969	485	1996	588,9		
1970	538	1997	624,3		

Таблица П.5 – Максимумы и минимумы солнечной активности (числа Вольфа – W),
приходящиеся на 1870–2022 гг.

№ цикла	Продолжи- тельность цикла, лет	Минимум солнечной актив- ности приходится на год	Максимум солнечной актив- ности приходится на год
12	11.2	1878.7	1883.9
13	11.4	1889.9	1893.7
14	12.2	1901.3	1905.9
15	10.2	1913.5	1917.7
16	10.0	1923.7	1928.6
17	10.6	1933.7	1937.6
18	10.2	1944.3	1947.4
19	10.1	1954.5	1957.8
20	12.0	1964.6	1968.4
21	9.9 (10.3)	1976.6	1979.8
22	10.2	1986.5	1989.6
23	10.0	1995	2001
24	11.342*	2008	2012

* – прогнозное значение

Приложение Б – Расчеты получения прогноза на базе алгоритма линейного
клеточного автомата для временного ряда урожайности зерновых
и зернобобовых культур по Волгоградской области

ННСВВ 1	ННСВС 1	ННСВН 0	ННСВВ 0	ННСНС 0	ННСНН 3	ННСВВ 1	ННССС 0	ННСНН 1
СННСВВ 0	СННСНС 0	СННСНН 2	СННСВВ 1	СННССС 0	СННСНН 0	СННСНН 0	СННСНС 1	СННСНН 0
СНС- ССВВ 2	СНС- ССВС 0	СНС- ССВН 0	СНС- СНСВ 0	СНС- СНСС 1	СНС- СНСН 1	СНС- НССВ 0	СНС- НССС 1	СНС- НССН 0

Рисунок Б.1 – Процедура «Верификация» (фрагмент)

Эле- мент	Конфигура- ция	Результат	Переходы конфигураций в В, Н, С к общему числу переходов			
			(ВВ', '- ', 0.308)	(ВС', '- ', 0.462)	(ВН', '- ', 0.231)	(СВВ', '- ', 0.333)
92	СВВССВ	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ССВ', '- ', 0.462)
91	ССВВСС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ВСВ', '- ', 0.333)
90	СССВВС	+	(ВВ', '- ', 0.308)	(ВС', '- ', 0.462)	(ВН', '- ', 0.231)	(ВВВ', '- ', 0.286)
89	НСССВВ	+	(ВВ', '- ', 0.308)	(ВС', '- ', 0.462)	(ВН', '- ', 0.231)	(СВВ', '- ', 0.333)
88	СНСССВ	-	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ССВ', '- ', 0.462)
87	НСНССС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ССВ', '- ', 0.462)
86	СНСНСС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(СВВ', '- ', 0.462)
85	ВСНСНС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(НСВ', '- ', 0.167)
84	СВСНСН	+	(НВ', '- ', 0.25)	(НС', '- ', 0.429)	(НН', '- ', 0.321)	(СНВ', '- ', 0.083)
83	ССВСНС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(НСВ', '- ', 0.167)
82	СССВСН	+	(НВ', '- ', 0.25)	(НС', '- ', 0.429)	(НН', '- ', 0.321)	(СНВ', '- ', 0.083)
81	ССССВС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ВСВ', '- ', 0.333)
80	ВССССВ	+	(ВВ', '- ', 0.308)	(ВС', '- ', 0.462)	(ВН', '- ', 0.231)	(СВВ', '- ', 0.333)
79	ВВСССС	-	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ССВ', '- ', 0.462)
78	СВВССС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ССВ', '- ', 0.462)
77	НСВВСС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ССВ', '- ', 0.462)
76	ННСВВС	+	(СВ', '- ', 0.324)	(СС', '- ', 0.351)	(СН', '- ', 0.324)	(ВСВ', '- ', 0.333)
75	ННСВВВ	+	(ВВ', '- ', 0.308)	(ВС', '- ', 0.462)	(ВН', '- ', 0.231)	(ВВВ', '- ', 0.286)

Рисунок Б.2 – Процедура «Валидация» (фрагмент)

Таблица П.6 – Процедура «Верификация» (фрагмент)

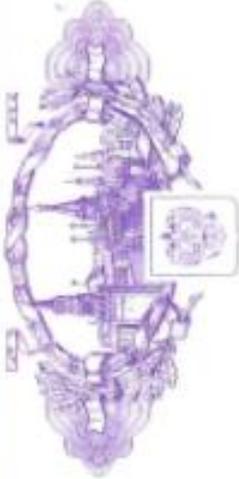
Наблюдения	Значения	Прогноз	Погрешность
1	2	3	4
1930	3,1		
1931	2		
1932	4,7		
1933	6,1		
1934	4,8		
1935	4,9		
1936	4,3	4,894	0,138
1937	7,1	5,437	0,234
1938	3,2	3,883	0,214
1939	5,9	6,145	0,042
1940	7,2	5,545	0,23
1941	7,1	5,828	0,179
1942	3,6	4,479	0,244
1943	1,3	3,725	1
1944	5,8	3,67	0,367
1945	4,4	3,926	0,108
1946	2,1	3,027	0,441
1947	5,1	4,388	0,14
1948	2,7	3,568	0,321
1949	2,8	3,199	0,143
1950	4,6	3,831	0,167
1951	4,7	4,042	0,14
1952	7,6	4,939	0,35
1953	4,7	4,785	0,018
1954	3,2	4,856	0,518
1955	7,7	6,378	0,172
1956	4,2	5,105	0,215
1957	3,8	5,097	0,341
1958	13,5	6,063	0,551
1959	5,3	5,577	0,052
1960	10,3	12,414	0,205
1961	9,8	8,042	0,179
1962	13,9	10,213	0,265
1963	6	6,877	0,146
1964	14	11,205	0,2
1965	9,5	10,091	0,062
1966	12,5	9,946	0,204
1967	11,2	8,475	0,243
1968	12,9	11,553	0,104
1969	6,4	7,508	0,173
1970	17,5	12,193	0,303
1971	10,8	10,81	0,001
1972	4,5	11,08	1
1973	17,2	12,6	0,267
1974	16	14,378	0,101
1975	3,8	8,486	1
1976	19,2	15,606	0,187
1977	10,2	11,264	0,104
1978	19,7	14,101	0,284
1979	6,8	7,143	0,05
1980	11,9	14,652	0,231

1	2	3	4	5
1981	8,2	7,117	0,132	
1982	10,2	10,722	0,051	
1983	13,1	10,893	0,168	
1984	4,1	10,665	1	
1985	14,1	11,508	0,184	
1986	10,6	10,16	0,041	
1987	13,2	11,557	0,124	
1988	18,5	17,282	0,066	
1989	18,4	14,846	0,193	
1990	20,6	14,404	0,301	
1991	14,4	12,726	0,116	
1992	15,4	11,407	0,259	
1993	20,1	16,727	0,168	
1994	12	15,189	0,266	
1995	5,9	7,984	0,353	
1996	8,8	10,546	0,198	
1997	14,8	13,353	0,098	
1998	4,7	10,056	1	
1999	7	8,711	0,244	
2000	12,2	12,529	0,027	
2001	17	12,768	0,249	
2002	21	15,801	0,248	
2003	22	18,253	0,17	
2004	19	17,118	0,099	
2005	18,3	17,117	0,065	
2006	16,9	19,019	0,125	
2007	17,8	18,657	0,048	
2008	24,6	20,21	0,178	
2009	19,2	18,519	0,035	
2010	12	15,008	0,251	
2011	17,2	16,711	0,028	
2012	16,4	14,837	0,095	
2013	17,5	17,242	0,015	
2014	20,4	17,808	0,127	
2015	17,3	17,934	0,037	
2016	24	22,754	0,052	
2017	26,9	21,421	0,204	
2018	19,3	21,086	0,093	
2019	21,3	19,016	0,107	
2020	25,5	22,704	0,11	
2021	22,7	22,189	0,023	23,28333
Прогнозное значение равно: 21.544 ц/га				
Прогноз в виде лингвистической переменной: С				
Конечная погрешность: 0.221				
MAE: 2.158				
Глубина памяти: 6				
Прогноз на 1 шаг вперед: С (с вероятностью 35.1%)				
Прогноз на 2 шага вперед: СВ (с вероятностью 16.22%)				
Количество угаданных уровней: 64				
Количество неугаданных уровней: 22				

Приложение В – Свидетельства о регистрации программного обеспечения
(авторские разработки)



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020662164

Линейный клеточный автомат для нормированных данных

Приводятся: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина» (RU)**

Авторы: **Куратова Альфара Меклисуловна (RU),
Абдуллаев Амир Бахиджонович (RU)**

Заявка № 2020618297

Дата поступления 27 июля 2020 г.

Дата государственной регистрации

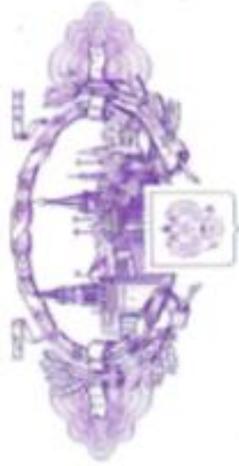
в России программ для ЭВМ 09 октября 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Иванов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021664506

«Способы финансирования военных работ»

Приводятся: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина» (RU)**

Авторы: **Куратова Альфара Меклисуловна (RU),
Бакланский Владислав Дмитриевич (RU), Дунская Лариса
Константиновна (RU)**

Заявка № 20211619632

Дата поступления 17 июня 2021 г.

Дата государственной регистрации

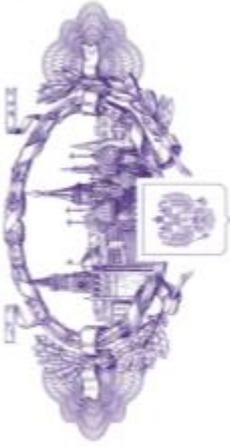
в России программ для ЭВМ 08 сентября 2021 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Иванов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022680968

**Программа для проведения предпроектного анализа
временных рядов урожайности зерновых культур**

Присобладелец: *Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Омский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук (RU)*

Авторы: *Чушин Роман Игоревич (RU), Алещенко Виталий
Викторович (RU), Кумратова Альфира Меклисуловна
(RU), Попова Маргарита Игоревна (RU)*

Заявка № 2022680390

Дата поступления 28 октября 2022 г.

Дата государственной регистрации

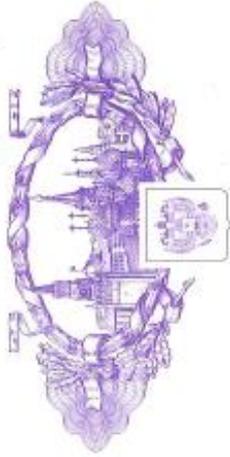
в Реестре программ для ЭВМ 08 ноября 2022 г.



Руководитель федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Дубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020612899

Методы нелинейной динамики

Присобладелец: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Кубанский
государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»
(RU)*

Авторы: *Кумратова Альфира Меклисуловна (RU),
Сысков Кирилл Алексеевич (RU)*

Заявка № 2020611841

Дата поступления 20 февраля 2020 г.

Дата государственной регистрации

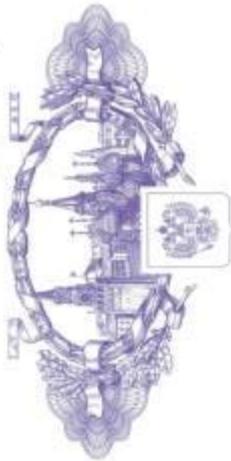
в Реестре программ для ЭВМ 05 марта 2020 г.



Руководитель федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Нелинов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023661854

Программа оценки регионального потенциала
производства зерна

Приниматель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский государственный аграрный университет»
(RU)*

Авторы: *Алещенко Виталий Викторович (RU), Рудой Евгений
Владимирович (RU), Курматова Альфира Мелисзуловна (RU),
Мороз Виктор Александрович (RU), Попова Маргарита
Игоревна (RU)*

Заявка № 2023660643

Дата поступления 24 мая 2023 г.

Дата государственной регистрации

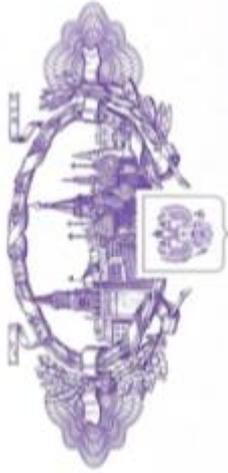
в Реестре программ для ЭВМ 02 июня 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022666812

Программа оценки уровня развития органического
земледелия «OrgFarm»

Приниматель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский государственный аграрный
университет» (RU)*

Авторы: *Алещенко Виталий Викторович (RU), Рудой
Евгений Владимирович (RU), Курматова Альфира
Мелисзуловна (RU), Сивков Кирилл Алексеевич (RU)*

Заявка № 2022666166

Дата поступления 01 сентября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 07 сентября 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение Г – Экранные формы системы поддержки принятия решений для получения прогноза экономических показателей зернового производства

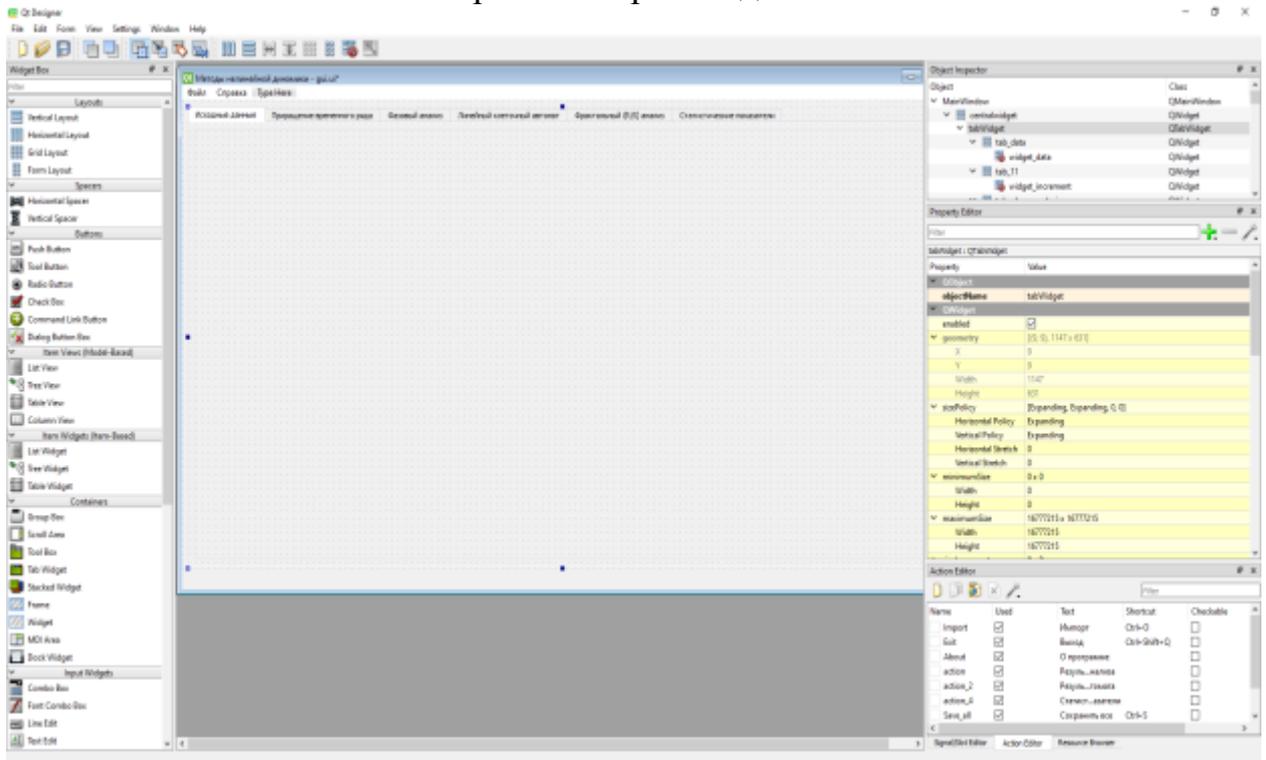


Рисунок Г.1 – Главная форма программы «Методы нелинейной динамики»

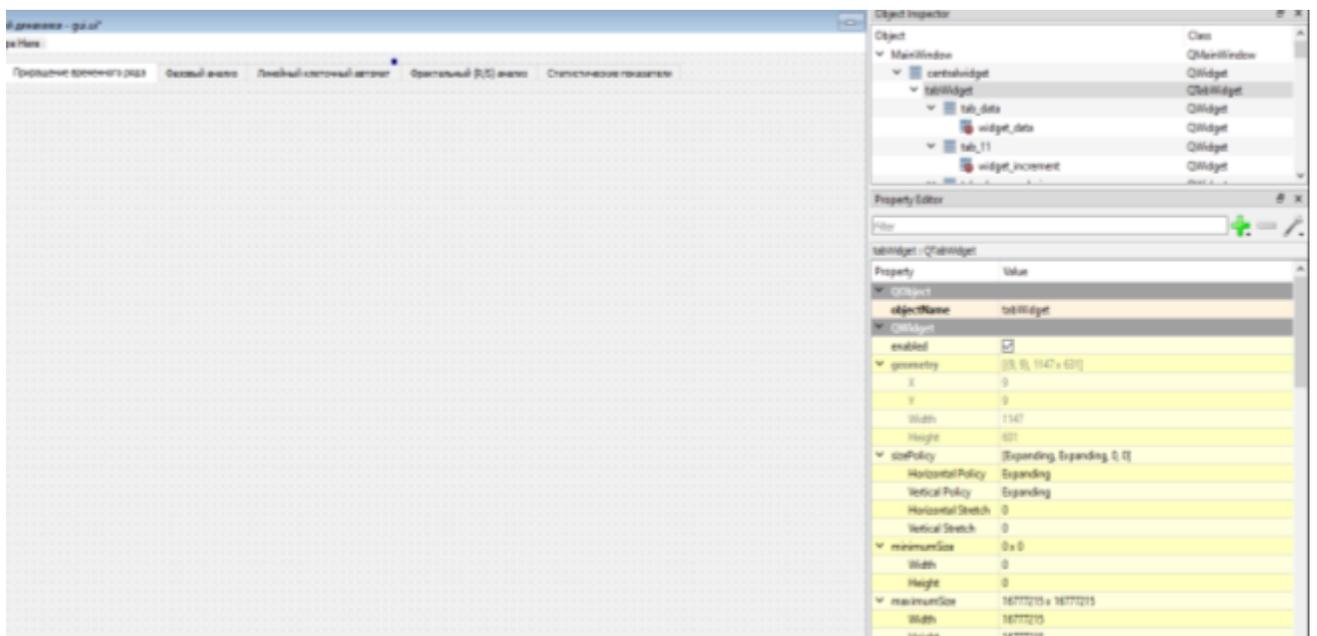


Рисунок Г.2 – Экранная форма вкладки «Приращение временного ряда» программы «Методы нелинейной динамики»

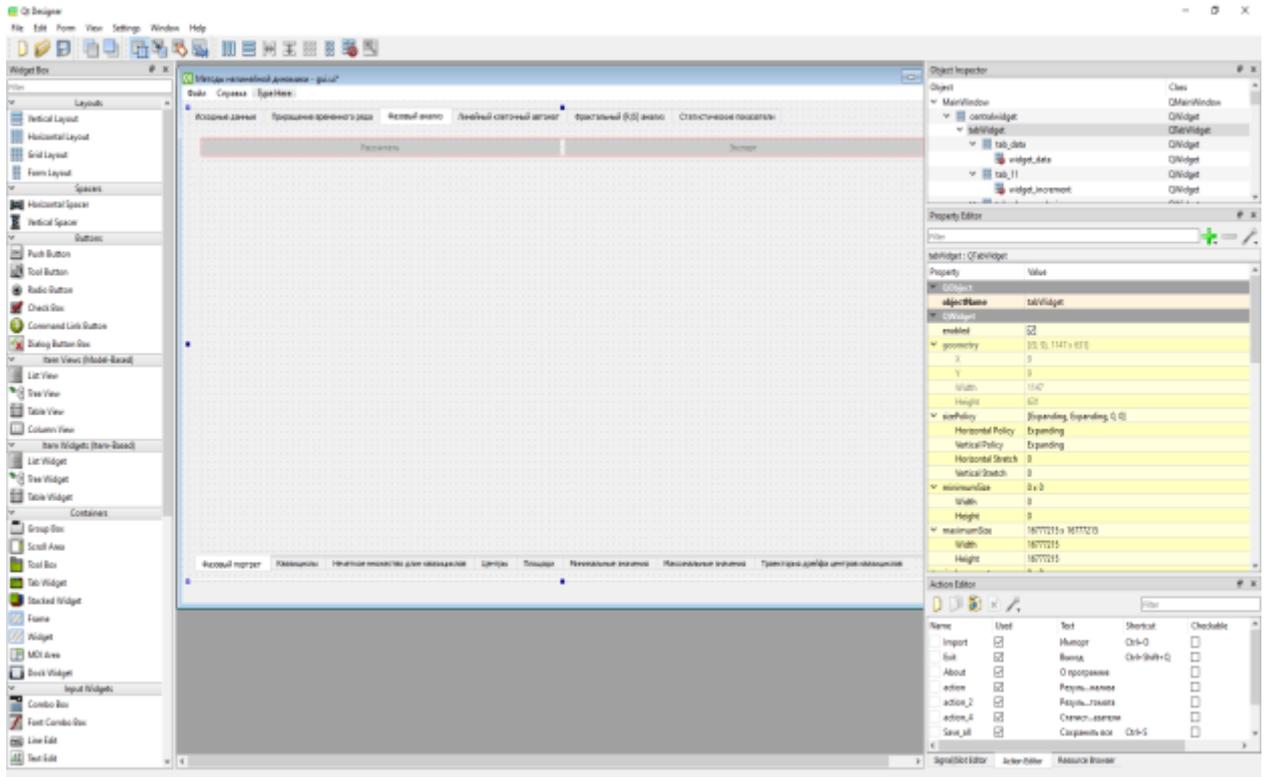


Рисунок Г.3 – Экранная форма вкладки «Фазовый анализ» программы «Методы нелинейной динамики»

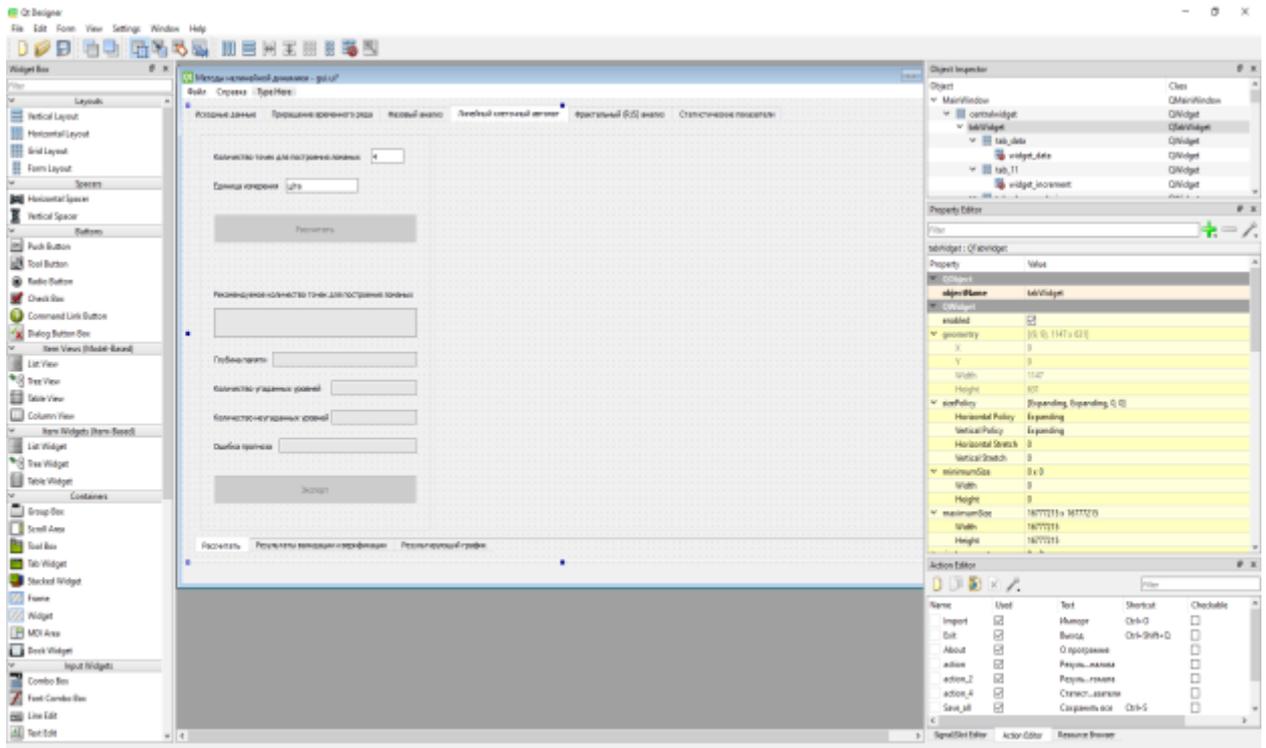


Рисунок Г.4 – Экранная форма вкладки «Линейный клеточный автомат» программы «Методы нелинейной динамики»

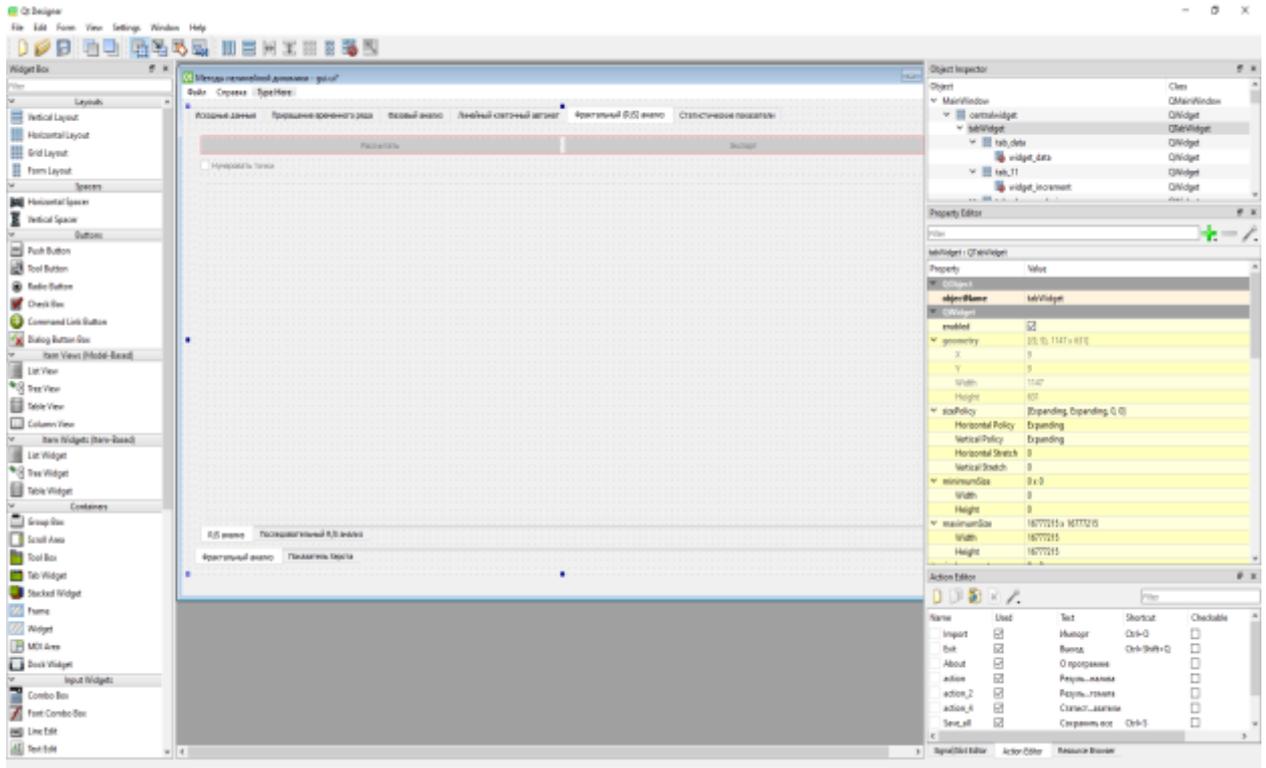


Рисунок Г.5 – Экранная форма вкладки «Фрактальный анализ» программы «Методы нелинейной динамики»

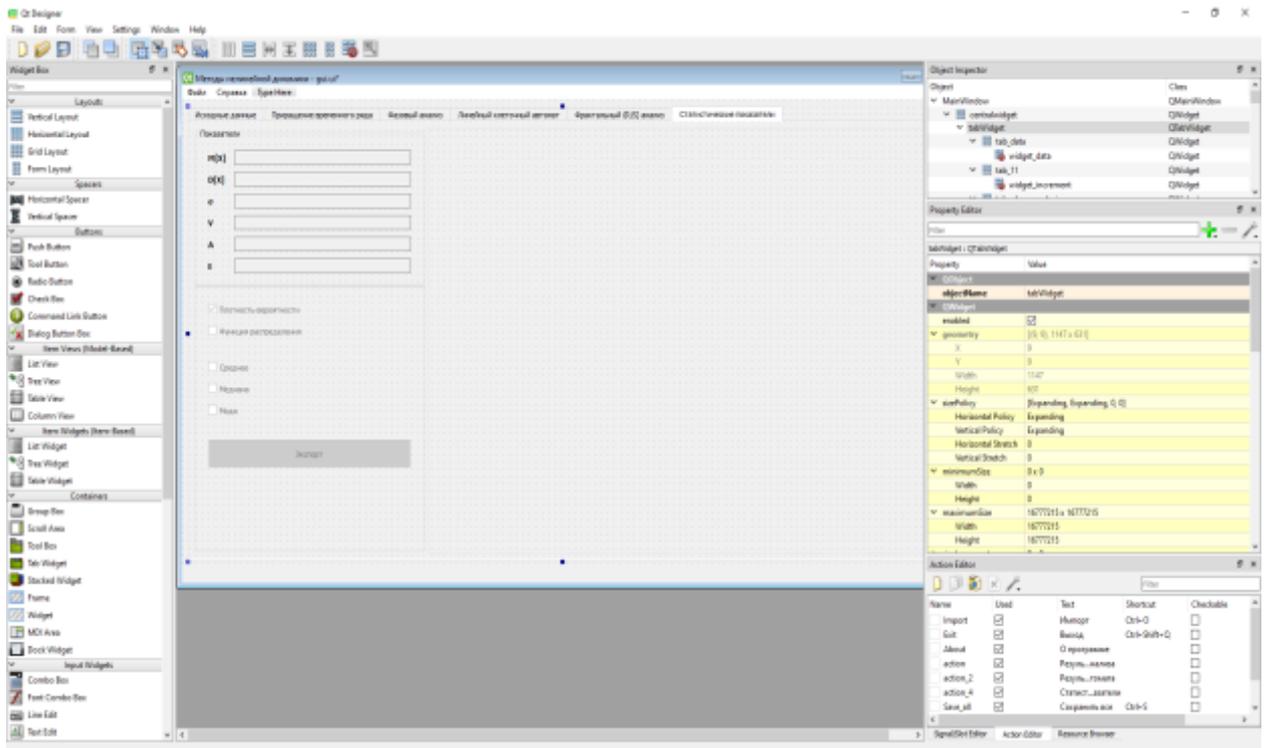


Рисунок Г.6 – Экранная форма вкладки «Статистические показатели» программы «Методы нелинейной динамики»

Приложение Д – Диаграммы классов программных реализаций

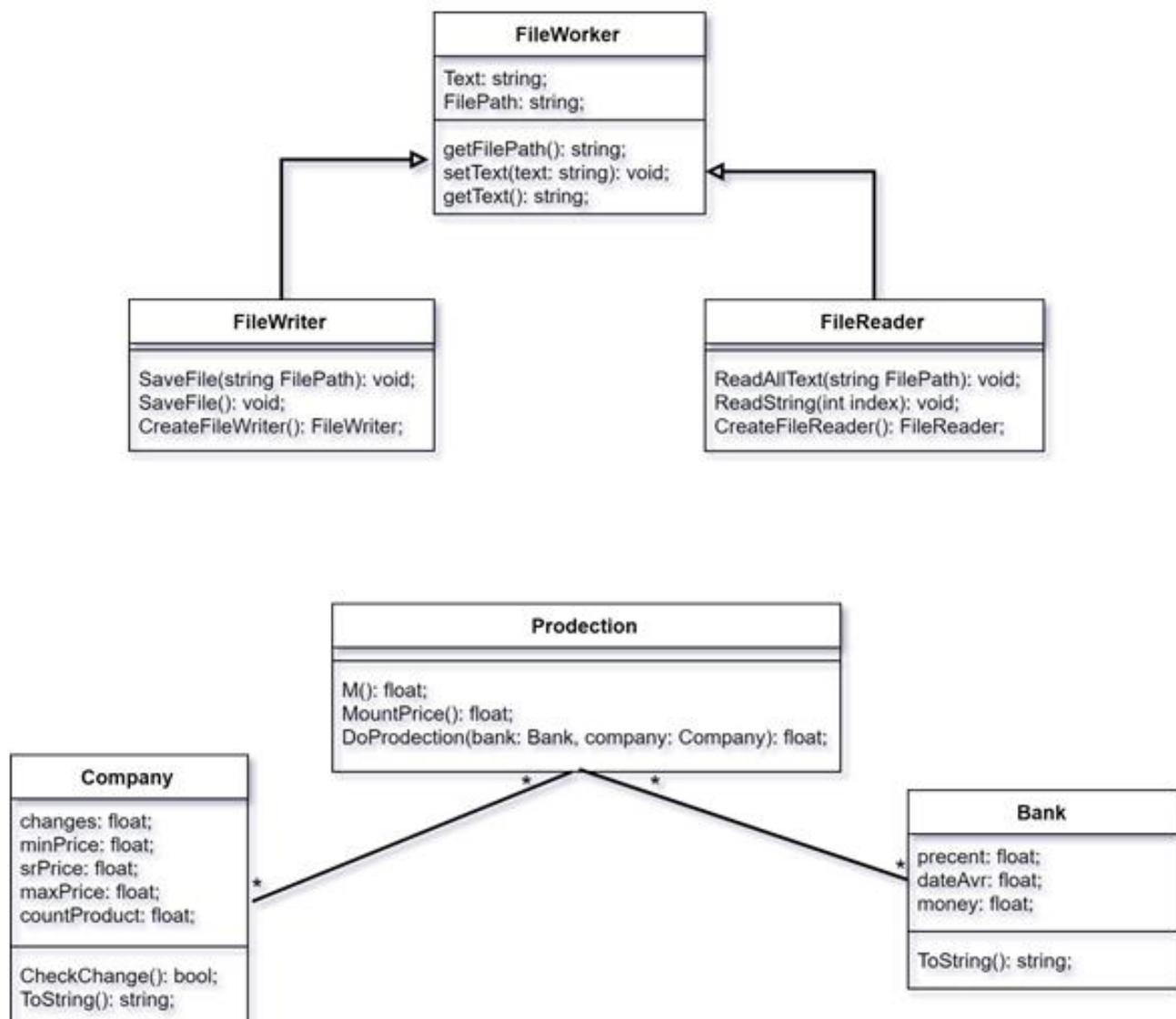


Рисунок Д.1 – Диаграмма классов программной реализации «Способы финансирования посевных работ», предназначенной для снижения предпринимательского риска в зерновом производстве с учетом прогнозов риск-экстремальных факторов

Приложение Е – Создание сплайна на примере временного ряда урожайности озимой пшеницы по Ставропольскому краю (фрагмент листинга)

Исходные данные и установки

readlib(spline): X:='X':

X10:='X10':Y:='Y':

Digits:=5: N:=12:

DATA								
	A	B	C	D	E	F	G	H
3	1870	2.1	1	1939	11.8	70		
4	1871	3.2	2	1940	10.2	71		
5	1872	2.5	3	1941	14	72		
6	1873	6.2	4	1942	9	73		
7	1874	5.2	5	1943	3.8	74		
8	1875	2.5	6	1944	7.7	75		
9	1876	2.4	7	1945	5.2	76		
10	1877	9	8	1946	5.5	77		
11	1878	4.4	9	1947	3	78		
12	1879	2.9	10	1948	9.1	79		
13	1880	4.8	11	1949	11.3	80		
14	1881	9.2	12	1950	8.6	81		
15	1882	8.4	13	1951	12	82		
16	1883	3.5	14	1952	17.4	83		
17	1884	7	15	1953	9.9	84		
18	1885	1.9	16	1954	11.5	85		
19	1886	0.9	17	1955	7.9	86		
20	1887	12.1	18	1956	13.6	87		
21	1888	6.2	19	1957	10.5	88		
22	1889	3.9	20	1958	15.1	89		
23	1890	2.8	21	1959	10.6	90		

with (Spread):

EvaluateSpreadsheet(DATA):

X:=[]: Y:=[]: X10:=[]:

for i from 3 to 71 do

X:=[op(X),round(GetCellValue(DATA,i,3))]:

Y:=[op(Y),round(GetCellValue(DATA,i,2)*100)]:

od:

for i from 3 to 64 do

X:=[op(X),round(GetCellValue(DATA,i,6))]:

Y:=[op(Y),round(GetCellValue(DATA,i,5)*100)]:

od:

```

for i from 58 to 64 do
X10:=[op(X10),round(GetCellValue(DATA,i,6))]:
od:
Y:=Y/100:
X:Y:X10:;
      [132, 133, 134, 135, 136, 137, 138]
# Слайды
x:='x':
SPL3_Y:=spline(X,Y, x, cubic):;
SPL3_1D_Y:=diff(SPL3_Y,x):
SP_Y:='SP_Y':SP_Y:=[seq(SPL3_Y(x),x=X10)]:
#SP_Y[3]; evalf(SP_Y[3]);
SP_Y1D:='SP_Y1D':SP_Y1D:=[seq(SPL3_1D_Y(x),x=X10)]:
SPL3_Y_1D:=zip((t,f)->[t,f],SP_Y,SP_Y1D):
# Построение рисунков
with(plots):
pic1_13:=plot([[SPL3_Y,SPL3_1D_Y,x=1..138],0],x=-2..40,
color=[red,black],style=line,linestyle=[1,3],
labels=["Урожайность, ц/га", "Первая производная"],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],
thickness=[2,1]):
pic2_13:= pointplot(SPL3_Y_1D, color=black, symbol=CIRCLE,symbolsize=20):
L:=0:H:=1.1:
text:=textplot([[SPL3_Y_1D[1,1], SPL3_Y_1D[1,2]+H,"2001"],
[SPL3_Y_1D[2,1], SPL3_Y_1D[2,2]-H,"2018"],
[SPL3_Y_1D[3,1], SPL3_Y_1D[3,2]+H,"2017"],
[SPL3_Y_1D[4,1], SPL3_Y_1D[4,2]+H,"2018"],
[SPL3_Y_1D[5,1], SPL3_Y_1D[5,2]-H,"2019"],
[SPL3_Y_1D[6,1], SPL3_Y_1D[6,2]-H,"2020"],
[SPL3_Y_1D[7,1], SPL3_Y_1D[7,2]+H,"2021"]],color=black,
font=[HELVETICA,11]):

display([pic1_13,text,pic2_13],
axes=box,
font=[HELVETICA,11],
title="Фазовая траектория временного ряда значений урожайности озимой пшеницы \n
по территории Ставропольского края, 1870-2021 гг.", titlefont=[HELVETICA,14]);

```

Приложение Ж – Верификация и валидация прогнозной модели на базе алгоритма ЛКА (на примере временного ряда цен на платину)

Процедура выполнения трех шагов представлена на рисунке 4.11. В таблице Ж.1 представлена буквенная интерпретация исследуемого ВР цен на платину.

Таблица Ж.1 – Лингвистический временной ряд ежемесячных значений цен на платину за период с 01.03.18 г. по 01.12.2023 г.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
u_i	В	В	В	С	С	Н	Н	С	Н	Н	Н	С	С	С	Н	Н	С	В	С	В
t_i	III.2018	IV.2018	V.2018	VI.2018	VII.2018	VIII.2018	IX.2018	X.2018	XI.2018	XII.2018	I.2019	II.2019	III.2019	IV.2019	V.2019	VI.2019	VII.2019	VIII.2019	IX.2019	X.2019
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
u_i	В	В	В	С	Н	Н	С	Н	С	С	Н	Н	С	В	В	В	В	В	В	
t_i	XI.2019	XII.2019	I.2020	II.2020	III.2020	IV.2020	V.2020	VI.2020	VII.2020	VIII.2020	IX.2020	X.2020	XI.2020	XII.2020	I.2021	II.2021	III.2021	IV.2021	V.2021	
i	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
u_i	С	С	С	Н	С	Н	Н	В	В	С	С	С	Н	Н	Н	Н	С	В	В	В
t_i	VI.2021	VII.2021	VIII.2021	IX.2021	X.2021	XI.2021	XII.2021	I.2022	II.2022	III.2022	IV.2022	V.2022	VI.2022	VII.2022	VIII.2022	IX.2022	X.2022	XI.2022	XII.2022	I.2023
i	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70									
u_i	С	С	В	С	Н	Н	С	Н	Н	Н	С									
t_i	II.2023	III.2023	IV.2023	V.2023	VI.2023	VII.2023	VIII.2023	IX.2023	X.2023	XI.2023	XII.2023									

В терминах клеточного автомата значение лингвистической переменной u_{i+k} в лингвистический временной ряд (4.5) (в соответствии с данными таблицы Ж.1) определяется l -конфигурациями:

$$u_{i+k-l}, u_{i+k-l+1}, \dots, u_{i+k}, l = 1, \dots, k \quad (1)$$

то есть конфигурациями длины l в отрезке этого ряда:

$$u_{i+1}, u_{i+2}, \dots, u_{i+k}, i = \overline{1, n-k+1}, \quad (2)$$

где через k обозначим глубину памяти рассматриваемого ряда. Для всякого $i = 1, 2, \dots, n - k + 1$ значение лингвистической переменной u_{i+k} в (1) или в (4.5) определяется лишь такими l -конфигурациями вида (2), для которых $l \leq k = 7$. Забегая вперед, отметим, что вычисленная глубина памяти исследуемого ВР равна $l = 7$, что совпадает с точкой срыва R/S-траектории (рисунок Ж.1). Отсчет начинается с двух точек с учетом специфики вычисления стандартного отклонения, входящего в формулу показателя Хёрста [254].

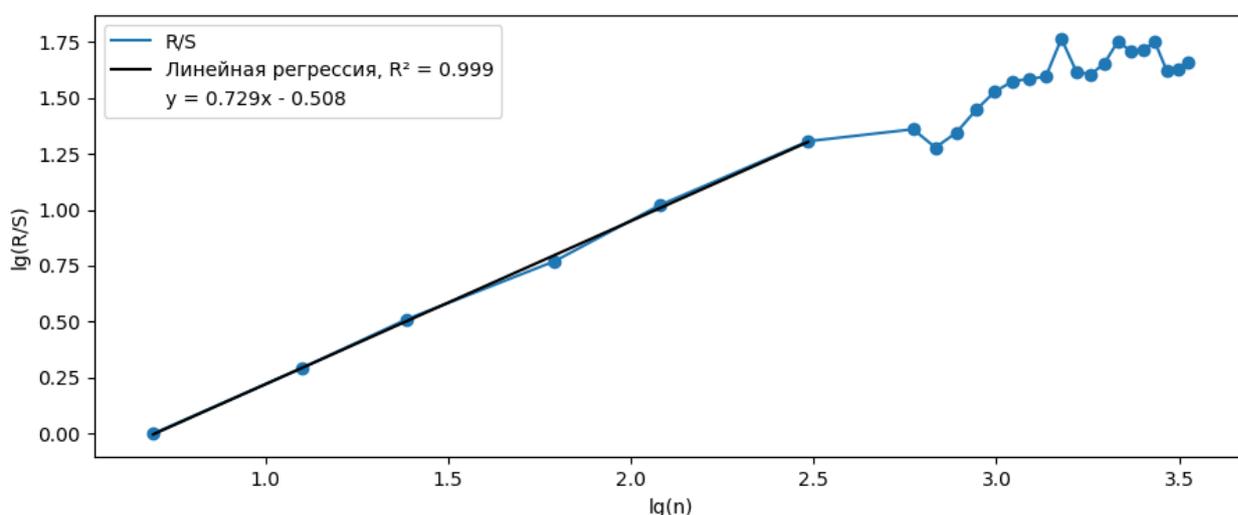


Рисунок Ж.1 – R/S-траектория временного ряда ежемесячных значений цен на платину (точка срыва № 7)

Суть алгоритма ЛКА состоит в определении статистики переходов из определенного термина в состояния H , C и B , называемых l -конфигурациями, а также выявлении частоты переходов. Через $M(U)$ обозначим множество всех l -конфигураций $l \leq k$, $k = 7$, которые можно обнаружить в лингвистическом временном ряду (4.5); $M(U) = \bigcup_{l=1}^7 M_l$, где M_l – это подмножество всех l -конфигураций в лингвистическом временном ряду U при фиксированном l . Для рассматриваемого временного ряда P (4.4) и лингвистического временного ряда U (4.5) эти подмножества имеют следующий состав:

$$M_1 = \{H, C, B\}, M_2 = \{HH, HC, HB, CH, CC, CB, BC, BB\},$$

$$M_3 = \{HHH, HHC, HNB, HCH, HCC, HCB, CHH, CHC, CCH, CCC, CCB, CVC, CBH, BCC, BCB, BVC, BBV\}$$

Для $l = 4, 5$, состав подмножеств $M_i(U)$ представлен на рисунке Ж.2.

HHHH	H	0	1	HHHCC	H	0	1
	C	1			C	1	
	B	0			B	0	
HHHC	H	0	2	HHHCВ	H	0	1
	C	1			C	0	
	B	1			B	1	
HHCH	H	2	3	HHCHH	H	2	2
	C	1			C	0	
	B	0			B	0	
HHCC	H	0	1	HHCHC	H	0	1
	C	1			C	1	
	B	0			B	0	
HHCB	H	0	3	HHCBС	H	0	1
	C	1			C	0	
	B	2			B	1	
HCHH	H	2	3	HHCBB	H	0	2
	C	0			C	0	
	B	1			B	2	
HCHC	H	0	1	HCHHH	H	0	2
	C	1			C	2	
	B	0			B	0	
HCCH	H	1	1	HCCHВ	H	0	1
	C	0			C	0	
	B	0			B	1	
HCCC	H	1	1	СНННН	H	0	1
	C	0			C	1	
	B	0			B	0	
HCBC	H	0	1	СНННС	H	0	1
	C	0			C	1	
	B	1			B	0	
HCBB	H	0	2	СННСН	H	2	3
	C	0			C	1	
	B	2			B	0	
СННН	H	1	3	СННСВ	H	0	2
	C	2			C	1	
	B	0			B	1	
СННС	H	3	5	ССННН	H	1	1
	C	0			C	0	
	B	2			B	0	
СННВ	H	0	1	ССННС	H	1	3
	C	0			C	0	
	B	1			B	2	

Рисунок Ж.2 – Расклад конфигурации ($l = 4, l = 5$)

CHCH	H	1	1	BBCCH	H	1	1
	C	0					
	B	0					
CHCC	H	1	1	BBCCC	H	2	2
	C	0					
	B	0					
CCHH	H	1	4	BBCCB	H	0	1
	C	3					
	B	0					
CCHC	H	1	1	BBBCH	H	1	1
	C	0					
	B	0					
CBCH	H	1	1	BBBCC	H	1	3
	C	0					
	B	0					
CBCB	H	0	1	BBBBC	H	1	2
	C	0					
	B	1					
BCCH	H	1	1	BBBBB	H	0	2
	C	0					
	B	0					
BCCC	H	2	2				
	C	0					
	B	0					
BCCB	H	0	1				
	C	1					
	B	0					
BBCH	H	1	1				
	C	0					
	B	0					
BBCC	H	1	4				
	C	2					
	B	1					
BBBC	H	1	4				
	C	3					
	B	0					
BBBB	H	0	4				
	C	2					
	B	2					

Продолжение рисунка Ж.2

CHHCHH	H	2	2	CCHHCBC	H	0	1
	C	0			C	0	
	B	0			B	1	
CHHCHC	H	0	1	CCHHCBB	H	0	1
	C	1			C	0	
	B	0			B	1	
CHHCBC	H	0	1				
	C	0					
	B	1					
CHHCBB	H	0	1				
	C	0					
	B	1					
CCHHCH	H	1	1				
	C	0					
	B	0					
CCHHCB	H	0	2				
	C	1					
	B	1					
BBCCCH	H	1	1				
	C	0					
	B	0					
BBCCCC	H	1	1				
	C	0					
	B	0					
BBCCCB	H	0	1				
	C	1					
	B	0					
BBBVCH	H	1	1				
	C	0					
	B	0					
BBBVCC	H	0	1				
	C	1					
	B	0					
BBBVVC	H	0	1				
	C	1					
	B	0					
BBBVVV	H	0	1				
	C	1					
	B	0					

Рисунок Ж.3 – Расклад конфигурации ($l = 6, l = 7$)

Примечание. Через N_l обозначим количество всех попарно различных l -конфигураций в ЛВР (4.5). Для принятого терм-множества $U = \{H, C, B\}$ теоретически возможное количество различных l -конфигураций, $l = \overline{1,7}$ составляет $\sum_{l=1}^k 3^l = 3 + 3^2 + 3^3 + 3^4 + 3^5 + 3^6 + 3^7 = 3279$, в то время как в реальном

лингвистическом временном ряду (4.5), количество N_l всех таких попарно различных l -конфигураций, $l \leq 7$ составляет $N = \sum_{l=1}^7 N_l = 92$. Из них $N_1 = 3$, $N_2 = 8$, $N_3 = 18$, $N_4 = 27$, $N_5 = 21$, $N_6 = 13$, $N_7 = 2$. Тем самым установлен тот факт, что количество реальных l -конфигураций составляет примерно 2,8 % от количества теоретически возможных l -конфигураций. Для принятого терм-множества $U = \{H, C, B\}$ теоретически возможное количество различных l -конфигураций, $l = \overline{1, k}$ согласно исчислению сумм составляет $\sum_{l=1}^k x^l = \frac{x}{x-1} (x^k - 1)$.

Рассмотрим какую-либо фиксированную l -конфигурацию, которую обозначим в виде отрезка:

$$u_1^0, u_2^0, \dots, u_j^0, \dots, u_l^0 \quad (3)$$

Если в лингвистическом временном ряду (4.5) выделен отрезок $u_{i+1}, u_{i+2}, \dots, u_{i+j}, \dots, u_{i+l}$, совпадающей с (4.8), т.е. $u_{i+j} = u_j^0$, $j = \overline{1, l}$ то по отношению к следующему элементу $u_{i+l+1} = u^0$, $u^0 \in U = \{H, C, B\}$ условимся говорить, что l -конфигурация (3) переходит в состояние u^0 , т.е. в лингвистическую переменную u_{i+l+1} , совпадающую с термом u^0 .

В предлагаемом подходе базовым является следующее теоретическое предположение. Пусть последовательность (4.5) неограниченно растет, т.е. в ряду u_i , $i = \overline{1, n}$ значение параметра $n \rightarrow \infty$. Если в этой сколь угодно длинной последовательности некоторая конкретная фиксированная конфигурация (3) появляется и при этом всякий раз после нее следует переход в одно и тоже состояние $u^0 \in U = \{H, C, B\}$, то говорим, что конфигурация (3) обладает памятью.

Если имеют место перемежающиеся переходы в два фиксированных состояния, то говорим, что отрезок (3), т.е. l -конфигурация (3) обладает частичной памятью. Если же фиксированная конфигурация демонстрирует переходы в каждое из трех состояний H, C, B , то говорим, что память у данной конфигурации не обнаружена.

По составу представленной выше памяти клеточного автомата можно сказать, что выявлено наличие и рассчитана глубина памяти лингвистического временного ряда (4.5). Длина отрезка лингвистического временного ряда, не превосходящая 7, определяет состояние прогнозируемого показателя на очередном временном шаге.

Анализ конкретного лингвистического временного ряда, отражающего значения цен на платину, позволяет сформулировать следующие утверждения.

Утверждение 1. Для всякого отрезка длины 1 (H , C или B) и всякого отрезка длины 2 (HH , HC , HB , CH , CC , CB , BC , BB) в ряду u_i , $i = \overline{1, n}$ имеет место отсутствие памяти (только переход в одно состояние), т. к. всякий раз находились случаи переходов из этих отрезков в 2 или 3 состояния из числа H , C и B . Первые «признаки» наличия памяти (частичной, т. е. переход в 2 состояния) обнаружались при $l = 1$: 33,3 % 1-конфигураций из числа встречающихся в ряду (4.5) демонстрируют частичную память; при $l = 2$ конфигураций вида (3) встречается переход только в одно состояние, с различной частотой переходы в какое-либо из трех состояний $u \in U = \{H, C, B\}$ демонстрируют 87,5 %, в том числе 66,7 % 2-конфигураций демонстрируют наличие частичной памяти. Для $l = 3$ – 50 % демонстрируют частичную память, 66,7 % демонстрируют полную потерю памяти. Для 4-конфигурации в ряду (4.5) имеем наличие памяти у 63 % и 33,3 % демонстрирует наличие частичной памяти, другие случаи отсутствуют (т. е. нет таких конфигураций, где для всех трех переходов имеется значение). Для $l = 5$ имеем 71,4 % конфигураций с памятью; 6-конфигурации вида (3) демонстрируют наличие памяти у 92,3 %.

Утверждение 2. Всякую такую конфигурацию u_j^0 , в которой имеется только 1 переход в состояния термов H , C и B отличный от нуля (остальные переходы – нулевые) будем называть *конфигурацией с наличием памяти*.

Согласно алгоритму ЛКА, далее, обнаруженная конфигурация с одним ненулевым переходом – не «расщепляется». Считается, что обнаружено наличие *частичной памяти* у исследуемого временного ряда.

Утверждение 3. Формирование памяти клеточного автомата завершается вычислением частотной статистики переходов l -конфигураций (3) в определенное состояние $u^0 \in U = \{H, C, B\}$. Эта статистика формируется следующим образом. Сначала, для каждой 1-конфигурации $u_1^0 \in \{H, C, B\}$, подсчитываем количество ее переходов в каждое из трех состояний H, C, B . Для наглядности переходы отражены в таблице Ж.2–Ж.3 и на рисунках Ж.2–Ж.3 Приложения Ж, в которых приписаны числа, означающие количество наблюдаемых в лингвистическом временном ряду (4.5) переходов каждой из трех 1-конфигураций $u_1^0, u_1^0 \in U$ каждое из состояний H, C, B . Например, в конкретном лингвистическом временном ряду (4.5), как показано в таблице Ж.2, имеем 13 переходов из H в H , 10 переходов из H в C и 1 переход из состояния H в терм B . Количество переходов из C в H, C и B равно соответственно 11, 9, 5 (таблица Ж.2), процедура верификации представлена на рисунке Ж.2. Здесь же, количество ходов из B в H, C и B равно соответственно 0, 7 и 13.

Таблица Ж.2 – Расклад конфигурации ($l = 1$)

Терм	Переходы	Количество переходов	Сумма
H	H	13	24
	C	10	
	B	1	
C	H	11	25
	C	9	
	B	5	
B	H	0	20
	C	7	
	B	13	

На основании этих данных можно вычислить эмпирические значения частот переходов 1-конфигурации в каждое из состояний H, C, B :

$$\begin{aligned}
 w_1(H \rightarrow H) &= \frac{13}{24} & w_1(C \rightarrow H) &= \frac{11}{25} & w_1(B \rightarrow H) &= \frac{0}{20} \\
 w_1(H \rightarrow C) &= \frac{10}{24} & w_1(C \rightarrow C) &= \frac{9}{25} & w_1(B \rightarrow C) &= \frac{7}{20} \\
 w_1(H \rightarrow B) &= \frac{1}{24} & w_1(C \rightarrow B) &= \frac{5}{25} & w_1(B \rightarrow B) &= \frac{13}{20}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Далее, для каждой 2-конфигурации $u_1^0 u_2^0 \in (\bar{U} \times \bar{U})$ подсчитываем количество переходов в каждое из трех состояний H, C, B . В конкретном лингвистическом временном ряду (4.5), относящемся к ВР ежемесячных значений цен на платину, как показано в таблице Ж.3, имеем 4 перехода из HH в H , 8 переходов из HH в C , 1 переход из HH в B ; 4 перехода из HC в H , 2 перехода из HC в C , 3 перехода из HC в B ; 0 переходов из HB в H , 0 переходов из HB в C и 1 переход из HB в B . На основании этих данных можно вычислить эмпирические значения частот переходов из 2-конфигураций HH, HC, HB в состояния H, C и B .

$$\begin{aligned}
 w_1(HH \rightarrow H) &= \frac{4}{13} & w_1(HC \rightarrow H) &= \frac{4}{9} & w_1(HB \rightarrow H) &= \frac{0}{1} \\
 w_1(HH \rightarrow C) &= \frac{8}{13} & w_1(HC \rightarrow C) &= \frac{2}{9} & w_1(HB \rightarrow C) &= \frac{0}{1} \\
 w_1(HH \rightarrow B) &= \frac{1}{13} & w_1(HC \rightarrow B) &= \frac{3}{9} & w_1(HB \rightarrow B) &= \frac{1}{1}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Таблица Ж.3 – Расклад конфигурации ($l = 2$)

Терм	Переходы	Количество переходов	Сумма
HH	H	4	13
	C	8	
	B	1	
HC	H	4	9
	C	2	
	B	3	
HB	H	0	1
	C	0	
	B	1	
CH	H	9	11
	C	2	
	B	0	
CC	H	5	9
	C	3	
	B	1	
CB	H	0	5
	C	2	
	B	3	
BC	H	2	7
	C	4	
	B	1	
BB	H	0	13
	C	5	
	B	8	

Аналогичным образом, на основании таблицы Ж.3 вычисляются эмпирические значения частот переходов из 2-конфигураций CH, CC, CB, BC, BB , в H, C и B . Далее, для каждого значения $l \in \{3,4,5,6,7\}$ рассматриваем множество M_l всех l -конфигураций, встречающихся в лингвистическом временном ряду (4.5), мощность $|M_l| = N_l$. По аналогии с (4), (5) вычисляем эмпирические значения частот переходов из каждой конкретной l -конфигурации $u_1^0, u_2^0, \dots, u_l^0 \in M$ в состояние H, C и B , $l = 3, 4, 5, 6, 7$. Для $l = 3$ переходы конфигураций представлены в таблице Ж.4, для $l = 4, 5, 6, 7$ представлены на рисунках Ж.2–Ж.3.

$$w_l(u_1^0 u_2^0 \dots u_l^0 \rightarrow H), w_l(u_1^0 u_2^0 \dots u_l^0 \rightarrow C), w_l(u_1^0 u_2^0 \dots u_l^0 \rightarrow B), l = 3, 4, 5, 6, 7. \quad (6)$$

Таблица Ж.4 – Расклад конфигурации ($l = 3$)

Терм	Переходы	Количество переходов	Сумма
ННН	Н	1	4
	С	3	
	В	0	
ННС	Н	3	7
	С	1	
	В	3	
ННВ	Н	0	1
	С	0	
	В	1	
НСН	Н	3	4
	С	1	
	В	0	
НСС	Н	1	2
	С	1	
	В	0	
НСВ	Н	0	3
	С	1	
	В	2	
СНН	Н	3	9
	С	5	
	В	1	

Продолжение таблицы Ж.4

СНС	Н	1	2
	С	1	
	В	0	
ССН	Н	4	5
	С	1	
	В	0	
ССС	Н	3	3
	С	0	
	В	0	
ССВ	Н	0	1
	С	1	
	В	0	
СВС	Н	1	2
	С	0	
	В	1	
СВВ	Н	0	3
	С	0	
	В	3	
ВСН	Н	2	2
	С	0	
	В	0	
ВСС	Н	1	4
	С	2	
	В	1	
ВСВ	Н	0	1
	С	0	
	В	1	
ВВС	Н	1	5
	С	4	
	В	0	
ВВВ	Н	0	8
	С	4	
	В	4	

Ставится задача прогнозирования для рассматриваемого лингвистического временного ряда U неизвестного элемента u_{n+1} , на основании известных членов

этого ряда u_i , $i = \overline{1, n}$, точнее, на основании вычисленных выше частостей вида (4)–(6), для $l = \overline{1, k}$, где k – глубина памяти в лингвистическом временном ряду (4.5).

Прогноз u_{n+1} терма представляется в виде нечеткого терм-множества (НТМ) $U_{n+1} = \{(H; \mu_H), (C; \mu_C), (B; \mu_B)\}$, где значение функции принадлежности μ удовлетворяет равенству $\mu_H + \mu_C + \mu_B = 1$. Значения μ_H, μ_C, μ_B вычисляются через значения частостей вида (4)–(5), получаемых для различных l -конфигураций в следующем отрезке лингвистического временного ряда:

$$u_{n-l+1}, u_{n-k}, \dots, u_n. \quad (7)$$

Сначала согласно (4.12) вычисляются частоты переходов l -конфигурации u_n в состояния H, C, B : $w_1(u_n \rightarrow H), w_1(u_n \rightarrow C), w_1(u_n \rightarrow B)$. После чего, согласно (6), вычисляются эмпирические значения частостей переходов из 2-конфигурации $u_{n-1}u_n$ в состояния H, C и B : $w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow H), w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow C)$ и $w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow B)$. Далее согласно (6) вычисляем значение частостей переходов из 3-конфигурации в $u_{n-2}u_{n-1}u_n$ в состояния H, C, B . Если 3-конфигурация $u_{n-2}u_{n-1}u_n$ демонстрирует наличие памяти, например $w_3(u_{n-2}u_{n-1}u_n \rightarrow C) = 1$ то переходим к вычислению искомым μ_H, μ_C, μ_B . Для этого сначала вычисляем ненормированные значения $\mu'_H = w_1(u_n \rightarrow H) + w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow H) + 0$, $\mu'_C = w_1(u_n \rightarrow C) + w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow C) + 1$, $\mu'_B = w_1(u_n \rightarrow B) + w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow B) + 0$ и их сумму $\sigma_3 = \mu'_H + \mu'_C + \mu'_B$ после нормировки которых получаем $\mu_H = \frac{\mu'_H}{\sigma_3}$, $\mu_C = \frac{\mu'_C}{\sigma_3}, \mu_B = \frac{\mu'_B}{\sigma_3}$.

Если 3-конфигурация $u_{n-2}u_{n-1}u_n$ не демонстрирует наличие памяти то рассматриваем 4-конфигурацию $u_{n-3}u_{n-2}u_{n-1}u_n$, для которой вычисляем частоты ее переходов в состояния H, C и B . Всякий раз к вычислению искомым μ_H, μ_C, μ_B переходим тогда, когда встретится такая l -конфигурация, которая демонстрирует наличие памяти, например, получаем единичное значение частоты для терма B : $w_1(u_{n-l+1}u_{n-l+2} \dots u_n \rightarrow B) = 1$. Тогда сначала вычисляем ненормированные значения:

$$\begin{aligned}\mu'_H &= w_1(u_n \rightarrow H) + w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow H) + \dots + w_{l-1}(u_{n-l+2}u_{n-l+3} \dots u_n \rightarrow H) + 0; \\ \mu'_C &= w_1(u_n \rightarrow C) + w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow C) + \dots + w_{l-1}(u_{n-l+2}u_{n-l+3} \dots u_n \rightarrow C) + 0; \\ \mu'_B &= w_1(u_n \rightarrow B) + w_2(u_{n-1}u_n \rightarrow B) + \dots + w_{l-1}(u_{n-l+2}u_{n-l+3} \dots u_n \rightarrow B) + 1\end{aligned}$$

и значения их суммы $\sigma_1 = \mu'_H + \mu'_C + \mu'_B$. После чего, вычисляем искомое значение функции принадлежности для нечеткого терм-множества U_{n+1} : $\mu_H = \frac{\mu'_H}{\sigma_1}$, $\mu_C = \frac{\mu'_C}{\sigma_1}$, $\mu_B = \frac{\mu'_B}{\sigma_1}$.

Представленный таблицей Ж.1 лингвистический временной ряд ежемесячных значений цен на платину заканчивается элементом $u_n = C$, где $n = 70$ соответствует агрегированному значению за декабрь месяц 2023 г. Осуществим *прогноз* цены на платину на январь 2024 г., т. е. построим для отсутствующего элемента u_{n+1} его нечеткое терм-множество $U_{n+1}^0 = \{(H; \mu_H^0), (C; \mu_C^0), (B; \mu_B^0)\}$. Прогноз осуществляется на качественном уровне, т.е. определенно можно сказать, какой будет цена на платину в следующем месяце: низкой, средней или высокой.

Учитывая установленную глубину памяти $k = 7$, рассматриваем отрезок лингвистического временного ряда:

$$u_{n-6}u_{n-5}u_{n-4}u_{n-3}u_{n-2}u_{n-1}u_n = \text{HNSHNS} \quad (8)$$

Для ряда (4.13) рассматриваем все его (такие существующие) l -конфигурации, $l = \overline{1, k}$, $k = 7$: C ; HC ; HNS ; $HNSC$; $SHNS$, $HSHNS$, $HNSHNS$. Для $l = 1$ из таблицы Ж.2 получаем:

$$w_1(C \rightarrow H) = \frac{11}{25}, w_1(C \rightarrow C) = \frac{9}{25}, w_1(C \rightarrow B) = \frac{5}{25} \quad (9)$$

Для $l = 2$, из рисунка И.2 получаем значения частоты переходов из 2-конфигурации HC в термы H , C , B :

$$w_1(HC \rightarrow H) = \frac{4}{9}, w_1(HC \rightarrow C) = \frac{2}{9}, w_1(HC \rightarrow B) = \frac{3}{9} \quad (10)$$

Для $l = 2$, 2-конфигурация HC , демонстрирует наличие памяти, в силу чего для ряда (4.5) процесс вычисления частоты можно прекратить, но для достижения более высокой точности прогнозного значения можно продолжить частотный анализ до исчерпания памяти, т. е. до конфигурации длины 7, а именно, для $l = 3, 4, 5$ соответственно из таблицы Ж.4 и рисунков Ж.2–Ж.3 имеем:

$$w_3(\text{ННС} \rightarrow H) = \frac{3}{7}, w_3(\text{ННС} \rightarrow C) = \frac{1}{7}, w_3(\text{ННС} \rightarrow B) = \frac{3}{7}; \quad (11)$$

$$w_4(\text{НННС} \rightarrow H) = 0, w_4(\text{НННС} \rightarrow C) = \frac{1}{2}, w_4(\text{НННС} \rightarrow B) = \frac{1}{2}; \quad (12)$$

$$w_5(\text{СНННС} \rightarrow H) = 0, w_5(\text{СНННС} \rightarrow C) = 1, w_5(\text{СНННС} \rightarrow B) = 0 \quad (13)$$

Для $l = 6, 7$ – такие конфигурации переходов не обнаружены для представленного примера. На основании значений частотей (4–13), вычисляем ненормированные значения функции принадлежности:

$$\mu'_H = \frac{11}{25} + \frac{4}{9} + \frac{3}{7} + 0 + 0 = 0,44 + 0,44 + 0,43 = 1,31, \quad \mu'_C = \frac{9}{25} + \frac{2}{9} + \frac{1}{7} + \frac{1}{2} +$$

$$1 = 0,36 + 0,22 + 0,14 + 0,5 + 1,0 = 2,23,$$

$$\mu'_B = \frac{5}{25} + \frac{3}{9} + \frac{3}{7} + \frac{1}{2} + 0 = 0,2 + 0,33 + 0,43 + 0,5 = 1,46 \text{ и их сумму } \sigma = 1,31 +$$

$2,23 + 1,46 = 5$. Далее осуществляя операцию нормирования, получим искомое

значение функции принадлежности: $\mu_H = \frac{\mu'_H}{\sigma_3} = \frac{1,31}{5,00} = 0,26$, $\mu_C = \frac{\mu'_C}{\sigma_3} = \frac{2,23}{5,00} = 0,45$,

$$\mu_B = \frac{\mu'_B}{\sigma_3} = \frac{1,46}{5,00} = 0,29.$$

Таким образом, *прогноз* ежемесячного значения цены на платину (январь 2024 г.) представляется в виде нечеткого терм-множества $U_{n+1}^0 = \{(H; 0,26), (C; 0,45), (B; 0,29)\}$. В лингвистических терминах этот прогноз можно сформулировать следующим образом: агрегированная цена на платину ожидается средней ($\mu_C = 0,45$) или, что менее вероятно, низкой ($\mu_C = 0,26$). Промежуточные и окончательные результаты работы алгоритма прогнозирования представлены в таблице Ж.5 (фрагмент) и на рисунке Ж.5.

Применительно к понятию «модель», термин «верификация» означает проверку структуры и логики модели, а термин «валидация» означает проверку соответствия данных, полученных на основе модели, реальному процессу.

Для реализации этих видов проверки построенной прогнозной модели последовательно рассматриваем лингвистические временные ряды:

$$u_i, i = 1, 2, \dots, m, m = n - r, r = \overline{1, n - k} \quad (14)$$

то есть ряды (14) получаются последовательно путем удаления из лингвистического временного ряда (4.5) крайних r его элементов.

Таблица Ж.5 – Промежуточные и окончательные результаты работы алгоритма прогнозирования

Прогнозируемый уровень ВР	l -конфигурация	Переходы l -конфигурации в состоянии Н, С и В	Ненормированные значения функции принадлежности μ'_H, μ'_C, μ'_B	Сумма ненормированных значений функций принадлежности	Значение функции принадлежности μ_H, μ_C, μ_B	Прогнозное нечеткое терм множество $U = \{(H; \mu_H), (C; \mu_C), (B; \mu_B)\}$
1	2	3	4	5	6	7
I.2024	ННСННС	Н	$\frac{11}{25} + \frac{4}{9} + \frac{3}{7} + 0 + 0 = 1,3$	5,00	0,26	$U = \{(H; 0,26), (C; 0,45), (B; 0,29)\}$
		С	$\frac{9}{25} + \frac{2}{9} + \frac{1}{7} + \frac{1}{2} + 1 = 2,23$		0,45	
		В	$\frac{5}{25} + \frac{3}{9} + \frac{3}{7} + \frac{1}{2} + 0 = 1,46$		0,29	

Для каждого индекса t строится прогноз-сценарий термина u_{t+1} , представляемого в виде нечеткого терм-множества $U_{t+1} = \{(H; \mu_H), (C; \mu_C), (B; \mu_B)\}$. Пусть, в полученном НТМ U_{t+1} , среди чисел μ_H, μ_C, μ_B максимальным является то число $\mu_\Delta, \Delta \in \{H, C, B\}$, у которого индекс Δ совпадает с термом u_{t+1} ряда (4.5). Тогда, говорим, что для рассматриваемого индекса t прогнозная нечеткая модель привела к непротиворечивому прогнозу. В противном случае, говорим о противоречивом прогнозе для термина u_{t+1} .

Для лингвистического временного ряда (4.5), соответствующего ряду (4.4) ежемесячных значений цен на платину, проведена валидация (рисунок 4.12) прогнозной модели и получен непротиворечивый прогноз для каждого уровня $ВР_t = n - r, r = 1, 2, \dots, n - 7$ (кроме первых 7 точек, где $l = 7$ – глубина памяти). Иными словами, в процессе валидации прогнозной модели подтверждена адекватность предложенной прогнозной нечеткой модели агрегированного временного ряда цен на платину.

Процедура валидации прогнозной модели линейного клеточного автомата (в соответствии с рисунком Ж.4) выполняется следующим образом: строится гистограмма, где угаданные уровни обозначены зеленым цветом (знак «+»), неугаданные уровни – красным цветом (знак «=»).

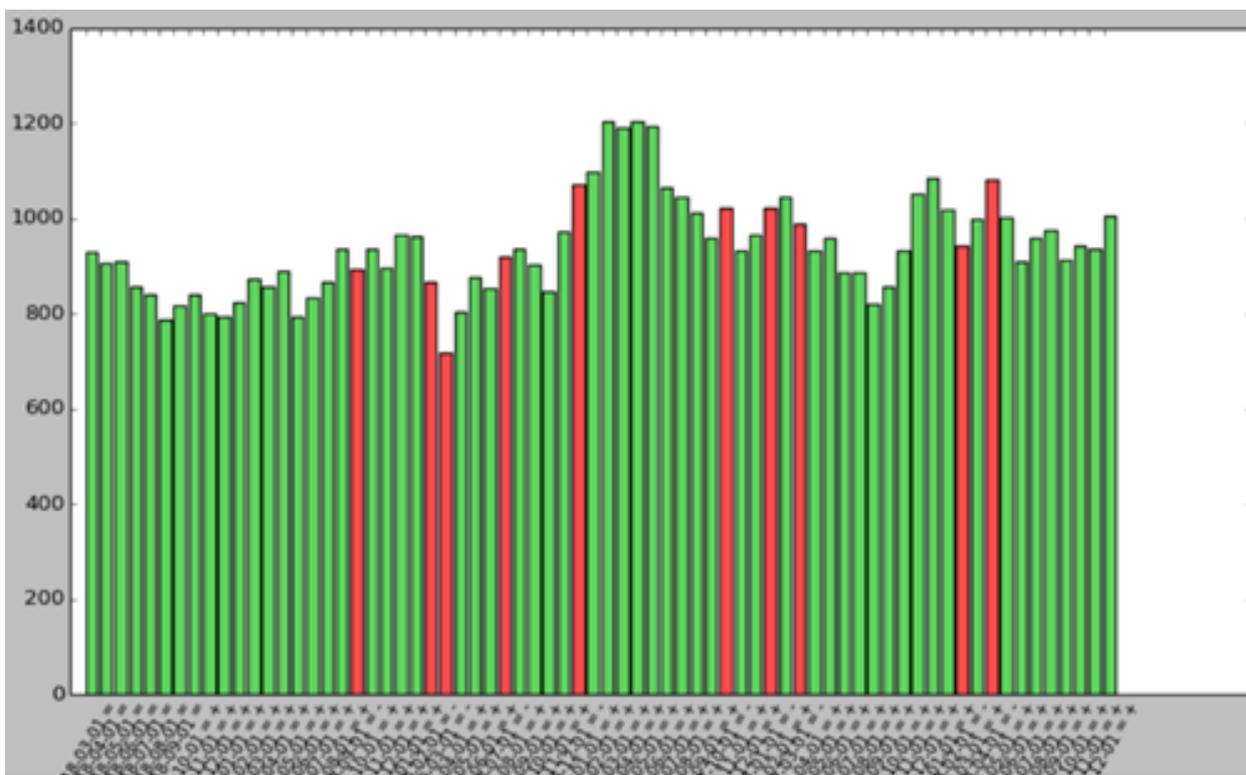


Рисунок Ж.4 – Верификация прогнозной модели временного ряда «Платина»
(результаты проведения валидации: число угаданных уровней – 53 шт.,
число неугаданных уровней – 10 шт.)

Пусть получено лингвистическое прогнозное значение цены на платину:

$$U_{n+1}^0 = \{(H; 0,26), (C; 0,45), (B; 0,29)\}. \quad (15)$$

Приведем описание процесса преобразования лингвистического нечеткого множества (ЛНМ) (15) в числовое (классическое) нечеткое множество (НМ):

$$Y_{n+1}^0 = \{(y_H^0; \mu_H), (y_C^0; \mu_C), (y_B^0; \mu_B)\}. \quad (16)$$

В качестве подходящих числовых значений элементов y_u^0 , $u \in \{H, C, B\}$ выбираются во временном ряду P (4.4) ближайшие к элементам y_u низкие, средние, высокие значения цен, которые затем усредняются:

$$y_H^0 = \frac{1}{3}(y_{69} + y_{68} + y_{67}) = \frac{1}{3}(915 + 942 + 936,1) = 931;$$

$$y_C^0 = \frac{1}{2}(y_{70} + y_{66}) = \frac{1}{2}(1005,5 + 977,3) = 991,4; \quad y_B^0 = y_{62} = 1081,9$$

Отсюда, с учетом представленных в ЛНМ (15) значений функции принадлежности μ_H , μ_C , μ_B получаем искомый прогноз в виде нечеткого множества (НМ): $Y_{n+1}^0 = \{(931; 0,26), (991,4; 0,45), (1081,9; 0,29)\}$.

Применяя к нечеткому множеству Y_{n+1}^0 операцию дефаззификации [100], получаем прогнозное значение цены на платину в обычном числовом виде, т. е.:

$$Y_{n+1}^0 = \sum_{t=1}^3 \mu_t y_t^0 = 0,26 \cdot 931 + 0,45 \cdot 991,4 + 0,29 \cdot 1081,9 = 1001,9 \text{ (руб.)},$$

где индексом $t = 1, 2, 3$ перенумерованы соответственно термы H, C, B : $\mu_1 = \mu_H = 0,26, \mu_2 = \mu_C = 0,45, \mu_3 = \mu_B = 0,29$.

На основании валидации результатов прогнозирования временного ряда цен на платину получена оценка средней погрешности прогноза $\varepsilon \leq 14,3\%$.

Оценка погрешности результатов, полученных с помощью предлагаемой прогнозной модели, обосновывается также по отношению результата валидации, как временной ряд лингвистических нечетких множеств $U: u_i, i = L, L + 1, \dots, n$. В этом случае погрешность $\bar{\varepsilon}_i$ лингвистического прогнозирования для каждого наблюдения i принимается равной нулю, если в ряду ЛНМ $U: u_i, i = L, L + 1, \dots, n$ для полученного ЛНМ $U^0 = \{(u_1^0; \mu_1), (u_2^0; \mu_2), (u_3^0; \mu_3)\}$, где максимальное значение функции принадлежности $\mu = \max_{1 \leq t \leq 4} \mu_t$ достигается для такого индекса $t = t_0$,

что в лингвистическом временном ряду (4.5) элемент u_i совпадает с термом $u_{t_0}^0$ т. е. $\bar{\varepsilon}_i = 0$ если выполняется равенство $u_i = u_{t_0}^0$, в противном случае значение $\bar{\varepsilon}_i = 1$. Погрешность лингвистического прогнозирования определяется как среднее значение $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n-L+1} \sum_{i=L}^n \bar{\varepsilon}_i$. На основании валидации результатов лингвистического прогнозирования временного ряда цен на платину получена оценка средней погрешности прогноза $\bar{\varepsilon}_i = 0$ т. е. в процессе валидации прогнозная модель выдала почти точный прогноз в лингвистических термах для каждого уровня исходного ВР (рисунок Ж.4).

Дата	L- конфигурация	НСВ	Нормированные значения	Сумма	F принадлежности	U (U ₁ U ₂ U ₃)	U _i +/-	Числовое нечеткое множество
Прогноз	ННСННС	Н	$0.44 + 0.44 + 0.43 = 1.31$	5	0.26	$U = \{(H; 0.26), (C; 0.45), (B; 0.29)\}$		
		С	$0.36 + 0.22 + 0.14 + 0.5 + 1.0 = 2.23$		0.45			
		В	$0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.5 = 1.46$		0.29			
2023-12-01	СННСНН	Н	$0.54 + 0.31 + 0.25 + 0.33 = 1.43$	5	0.29	$U = \{(H; 0.29), (C; 0.69), (B; 0.02)\}$	С +	$Y = \{939.05 * 0.29 + 989.4 * 0.69 + 989.4 * 0.02 = 976.41\}$
		С	$0.42 + 0.62 + 0.75 + 0.67 + 1.0 = 3.45$		0.69			
		В	$0.04 + 0.08 = 0.12$		0.02			
2023-11-01	ВСННСН	Н	$0.54 + 0.31 + 0.33 + 0.67 + 1.0 + 1.0 = 4.85$	7	0.69	$U = \{(H; 0.69), (C; 0.23), (B; 0.08)\}$	Н +	$Y = \{928.5 * 0.69 + 991.4 * 0.23 + 991.4 * 0.08 = 952.54\}$
		С	$0.42 + 0.62 + 0.56 = 1.59$		0.23			
		В	$0.04 + 0.08 + 0.11 + 0.33 = 0.56$		0.08			
2023-10-01	СВСННС	Н	$0.54 + 0.82 + 0.75 + 0.67 + 0.67 = 3.44$	5	0.69	$U = \{(H; 0.69), (C; 0.3), (B; 0.01)\}$	Н +	$Y = \{925.55 * 0.69 + 991.4 * 0.3 + 991.4 * 0.01 = 946.54\}$
		С	$0.42 + 0.18 + 0.25 + 0.33 + 0.33 = 1.52$		0.3			
		В	$0.04 = 0.04$		0.01			
2023-09-01	СВСНС	Н	$0.44 + 0.44 + 0.43 + 0.6 = 1.91$	4	0.48	$U = \{(H; 0.48), (C; 0.18), (B; 0.34)\}$	Н +	$Y = \{951.45 * 0.48 + 991.4 * 0.18 + 991.4 * 0.34 = 992.25\}$
		С	$0.36 + 0.22 + 0.14 = 0.73$		0.18			
		В	$0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.4 = 1.36$		0.34			
2023-08-01	СССНС	Н	$0.54 + 0.31 + 0.33 = 1.18$	3	0.39	$U = \{(H; 0.39), (C; 0.53), (B; 0.08)\}$	С +	$Y = \{937.95 * 0.39 + 1003.5 * 0.53 + 1003.5 * 0.08 = 981.22\}$
		С	$0.42 + 0.62 + 0.56 = 1.59$		0.53			
		В	$0.04 + 0.08 + 0.11 = 0.23$		0.08			
2023-07-01	СССС	Н	$0.54 + 0.82 + 1.0 + 1.0 = 3.36$	4	0.84	$U = \{(H; 0.84), (C; 0.15), (B; 0.01)\}$	Н +	$Y = \{912.6 * 0.84 + 989.4 * 0.15 + 989.4 * 0.01 = 925.52\}$
		С	$0.42 + 0.18 = 0.6$		0.15			
		В	$0.04 = 0.04$		0.01			
2023-06-01	СССС	Н	$0.44 + 0.29 + 0.5 = 1.23$	3	0.41	$U = \{(H; 0.41), (C; 0.31), (B; 0.28)\}$	Н +	$Y = \{937.95 * 0.41 + 989.4 * 0.31 + 989.4 * 0.28 = 985.4\}$
		С	$0.36 + 0.57 = 0.93$		0.31			
		В	$0.2 + 0.14 + 0.5 = 0.84$		0.28			
2023-05-01	СССС	Н	$= 0.0$	6	0	$U = \{(H; 0.0), (C; 0.79), (B; 0.21)\}$	С +	$Y = \{935.55 * 0.0 + 971.35 * 0.79 + 971.35 * 0.21 = 987.74\}$
		С	$0.35 + 0.4 + 1.0 + 1.0 + 1.0 = 4.75$		0.79			
		В	$0.65 + 0.6 = 1.25$		0.21			
2023-04-01	СССС	Н	$0.44 + 0.56 + 0.25 + 0.25 + 0.33 = 1.83$	5	0.37	$U = \{(H; 0.37), (C; 0.41), (B; 0.23)\}$	В -	$Y = \{935.55 * 0.37 + 1000.9 * 0.41 + 1000.9 * 0.23 = 988.7\}$
		С	$0.36 + 0.33 + 0.5 + 0.5 + 0.33 = 2.03$		0.41			
		В	$0.2 + 0.11 + 0.25 + 0.25 + 0.33 = 1.14$		0.23			
2023-03-01	СССС	Н	$0.44 + 0.29 + 0.2 + 0.25 = 1.18$	7	0.17	$U = \{(H; 0.17), (C; 0.78), (B; 0.05)\}$	С +	$Y = \{935.55 * 0.17 + 971.95 * 0.78 + 971.95 * 0.05 = 969.66\}$
		С	$0.36 + 0.57 + 0.8 + 0.75 + 1.0 + 1.0 = 5.4$		0.78			
		В	$0.2 + 0.14 = 0.34$		0.05			
2023-02-01	СССС	Н	$= 0.0$	3	0	$U = \{(H; 0.0), (C; 0.41), (B; 0.59)\}$	С -	$Y = \{883.8 * 0.0 + 1000.9 * 0.41 + 1000.9 * 0.59 = 1031.0\}$
		С	$0.35 + 0.38 + 0.5 = 1.23$		0.41			
		В	$0.65 + 0.62 + 0.5 = 1.77$		0.59			
2023-01-01	СССС	Н	$= 0.0$	5	0	$U = \{(H; 0.0), (C; 0.15), (B; 0.85)\}$	В +	$Y = \{839.75 * 0.0 + 971.35 * 0.15 + 971.35 * 0.85 = 1054.48\}$
		С	$0.35 + 0.38 = 0.73$		0.15			
		В	$0.65 + 0.62 + 1.0 + 1.0 = 4.27$		0.85			
2022-12-01	СССС	Н	$= 0.0$	5	0	$U = \{(H; 0.0), (C; 0.28), (B; 0.72)\}$	В +	$Y = \{839.75 * 0.0 + 937.25 * 0.28 + 937.25 * 0.72 = 1007.2\}$
		С	$0.35 + 0.4 + 0.33 + 0.33 = 1.42$		0.28			
		В	$0.65 + 0.6 + 0.67 + 0.67 + 1.0 = 3.58$		0.72			
2022-11-01	СССС	Н	$0.44 + 0.44 + 0.43 = 1.31$	4	0.33	$U = \{(H; 0.33), (C; 0.31), (B; 0.37)\}$	В +	$Y = \{839.75 * 0.33 + 937.25 * 0.31 + 937.25 * 0.37 = 947.2\}$
		С	$0.36 + 0.22 + 0.14 + 0.5 = 1.23$		0.31			
		В	$0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.5 = 1.46$		0.37			
2022-10-01	СССС	Н	$0.54 + 0.31 + 0.25 = 1.1$	5	0.22	$U = \{(H; 0.22), (C; 0.76), (B; 0.02)\}$	С +	$Y = \{839.75 * 0.22 + 951.55 * 0.76 + 951.55 * 0.02 = 929.75\}$
		С	$0.42 + 0.62 + 0.75 + 1.0 + 1.0 = 3.78$		0.76			
		В	$0.04 + 0.08 = 0.12$		0.02			

Рисунок Ж.5 – Процедура валидации прогнозной модели

2021-04-01	HHCBBB	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.32), (B; 0.68)}	B +	Y = { 903.85 * 0.0 + 1055.95 * 0.32 + 1055.95 * 0.68 = 1148.67 }
		c	0.35 + 0.38 + 0.5 + 0.5 + 0.5 = 2.23	7	0.32			
		B	0.65 + 0.62 + 0.5 + 0.5 + 0.5 + 1.0 + 1.0 = 4.77		0.68			
2021-03-01	CHHCBB	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.41), (B; 0.59)}	B +	Y = { 875.25 * 0.0 + 1019.1 * 0.41 + 1019.1 * 0.59 = 1128.47 }
		c	0.35 + 0.38 + 0.5 = 1.23	3	0.41			
		B	0.65 + 0.62 + 0.5 = 1.77		0.59			
2021-02-01	CCHHCBB	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.1), (B; 0.9)}	B +	Y = { 875.25 * 0.0 + 1019.1 * 0.1 + 1019.1 * 0.9 = 1131.34 }
		c	0.35 + 0.38 = 0.73	7	0.1			
		B	0.65 + 0.62 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 = 6.27		0.9			
2021-01-01	HCCHHC	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.4), (B; 0.6)}	B +	Y = { 875.25 * 0.0 + 954.5 * 0.4 + 954.5 * 0.6 = 1065.05 }
		c	0.35 + 0.4 + 0.33 + 0.33 + 0.5 + 0.5 = 2.42	6	0.4			
		B	0.65 + 0.6 + 0.67 + 0.67 + 0.5 + 0.5 = 3.58		0.6			
2020-12-01	CHCCHHC	H	0.44 + 0.44 + 0.43 + 0.6 + 0.33 = 2.25	5	0.45	U = {(H; 0.45), (C; 0.15), (B; 0.41)}	B -	Y = { 875.25 * 0.45 + 954.5 * 0.15 + 954.5 * 0.41 = 999.04 }
		c	0.36 + 0.22 + 0.14 = 0.73		0.15			
		B	0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.4 + 0.67 = 2.03		0.41			
2020-11-01	HCHCCH	H	0.54 + 0.31 + 0.33 + 0.25 = 1.43	4	0.36	U = {(H; 0.36), (C; 0.58), (B; 0.06)}	C +	Y = { 875.25 * 0.36 + 928.25 * 0.58 + 928.25 * 0.06 = 918.31 }
		c	0.42 + 0.62 + 0.56 + 0.75 = 2.34		0.58			
		B	0.04 + 0.08 + 0.11 = 0.23		0.06			
2020-10-01	HHCHCCH	H	0.54 + 0.82 + 0.8 + 1.0 = 3.16	4	0.79	U = {(H; 0.79), (C; 0.2), (B; 0.01)}	H +	Y = { 878.15 * 0.79 + 954.5 * 0.2 + 954.5 * 0.01 = 895.55 }
		c	0.42 + 0.18 + 0.2 = 0.8		0.2			
		B	0.04 = 0.04		0.01			
2020-09-01	CHHCCHC	H	0.44 + 0.56 + 0.5 + 1.0 = 2.5	4	0.62	U = {(H; 0.62), (C; 0.3), (B; 0.08)}	H +	Y = { 849.9 * 0.62 + 928.25 * 0.3 + 928.25 * 0.08 = 891.61 }
		c	0.36 + 0.33 + 0.5 = 1.19		0.3			
		B	0.2 + 0.11 = 0.31		0.08			
2020-08-01	BCHHHC	H	0.44 + 0.44 + 0.5 = 1.38	7	0.2	U = {(H; 0.2), (C; 0.73), (B; 0.08)}	C +	Y = { 878.15 * 0.2 + 898.45 * 0.73 + 898.45 * 0.08 = 908.7 }
		c	0.36 + 0.22 + 0.5 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 = 5.0		0.73			
		B	0.2 + 0.33 = 0.53		0.08			
2020-07-01	BBCHHC	H	0.54 + 0.82 + 0.75 + 0.67 + 0.67 = 3.44	5	0.69	U = {(H; 0.69), (C; 0.3), (B; 0.01)}	C -	Y = { 878.15 * 0.69 + 907.0 * 0.3 + 907.0 * 0.01 = 888.06 }
		c	0.42 + 0.18 + 0.25 + 0.33 + 0.33 = 1.52		0.3			
		B	0.04 = 0.04		0.01			
2020-06-01	BBCHHC	H	0.44 + 0.44 + 0.43 + 0.6 = 1.91	4	0.48	U = {(H; 0.48), (C; 0.18), (B; 0.34)}	H +	Y = { 761.8 * 0.48 + 898.45 * 0.18 + 898.45 * 0.34 = 855.31 }
		c	0.36 + 0.22 + 0.14 = 0.73		0.18			
		B	0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.4 = 1.36		0.34			
2020-05-01	BBBCHHC	H	0.54 + 0.31 + 0.33 = 1.18	3	0.39	U = {(H; 0.39), (C; 0.53), (B; 0.08)}	C +	Y = { 829.15 * 0.39 + 893.05 * 0.53 + 893.05 * 0.08 = 873.27 }
		c	0.42 + 0.62 + 0.56 = 1.59		0.53			
		B	0.04 + 0.08 + 0.11 = 0.23		0.08			
2020-04-01	CBBBCH	H	0.54 + 0.82 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 = 5.36	6	0.89	U = {(H; 0.89), (C; 0.1), (B; 0.01)}	H +	Y = { 785.45 * 0.89 + 871.8 * 0.1 + 871.8 * 0.01 = 795.3 }
		c	0.42 + 0.18 = 0.6		0.1			
		B	0.04 = 0.04		0.01			
2020-03-01	BCBBBC	H	0.44 + 0.29 + 0.2 + 0.25 + 0.5 + 1.0 = 2.68	6	0.45	U = {(H; 0.45), (C; 0.5), (B; 0.06)}	H -	Y = { 829.15 * 0.45 + 871.8 * 0.5 + 871.8 * 0.06 = 858.03 }
		c	0.36 + 0.57 + 0.8 + 0.75 + 0.5 = 2.98		0.5			
		B	0.2 + 0.14 = 0.34		0.06			
2020-02-01	CBCCBB	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.45), (B; 0.55)}	C -	Y = { 761.8 * 0.0 + 884.75 * 0.45 + 884.75 * 0.55 = 928.42 }
		c	0.35 + 0.38 + 0.5 + 0.5 + 0.5 = 2.23	5	0.45			
		B	0.65 + 0.62 + 0.5 + 0.5 + 0.5 = 2.77		0.55			
2020-01-01	HCBCBB	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.41), (B; 0.59)}	B +	Y = { 761.8 * 0.0 + 879.35 * 0.41 + 879.35 * 0.59 = 910.01 }
		c	0.35 + 0.38 + 0.5 = 1.23	3	0.41			
		B	0.65 + 0.62 + 0.5 = 1.77		0.59			
2019-12-01	HHCBBC	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.24), (B; 0.76)}	B +	Y = { 761.8 * 0.0 + 879.35 * 0.24 + 879.35 * 0.76 = 917.63 }
		c	0.35 + 0.38 = 0.73	3	0.24			
		B	0.65 + 0.62 + 1.0 = 2.27		0.76			
2019-11-01	CHHCBC	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.19), (B; 0.81)}	B +	Y = { 776.2 * 0.0 + 879.35 * 0.19 + 879.35 * 0.81 = 937.28 }
		c	0.35 + 0.4 = 0.75	4	0.19			
		B	0.65 + 0.6 + 1.0 + 1.0 = 3.25		0.81			
2019-10-01	CCHHCBC	H	0.44 + 0.29 + 0.5 = 1.23	7	0.18	U = {(H; 0.18), (C; 0.13), (B; 0.69)}	B +	Y = { 813.65 * 0.18 + 880.4 * 0.13 + 880.4 * 0.69 = 894.03 }
		c	0.36 + 0.57 = 0.93		0.13			
		B	0.2 + 0.14 + 0.5 + 1.0 + 1.0 + 1.0 = 4.84		0.69			
2019-09-01	CCCHHC	H	= 0.0	0	0	U = {(H; 0.0), (C; 0.4), (B; 0.6)}	C -	Y = { 813.65 * 0.0 + 879.9 * 0.4 + 879.9 * 0.6 = 913.52 }
		c	0.35 + 0.4 + 0.33 + 0.33 + 0.5 + 0.5 = 2.42	6	0.4			
		B	0.65 + 0.6 + 0.67 + 0.67 + 0.5 + 0.5 = 3.58		0.6			
2019-08-01	HCCCHHC	H	0.44 + 0.44 + 0.43 + 0.6 + 0.33 = 2.25	6	0.37	U = {(H; 0.37), (C; 0.12), (B; 0.5)}	B +	Y = { 813.65 * 0.37 + 880.4 * 0.12 + 880.4 * 0.5 = 873.88 }
		c	0.36 + 0.22 + 0.14 = 0.73		0.12			
		B	0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.4 + 0.67 + 1.0 = 3.03		0.5			
2019-07-01	HHCCCH	H	0.54 + 0.31 + 0.33 + 0.25 + 0.5 = 1.93	5	0.39	U = {(H; 0.39), (C; 0.57), (B; 0.05)}	C +	Y = { 813.65 * 0.39 + 891.8 * 0.57 + 891.8 * 0.05 = 863.63 }
		c	0.42 + 0.62 + 0.56 + 0.75 + 0.5 = 2.84		0.57			
		B	0.04 + 0.08 + 0.11 = 0.23		0.05			
2019-06-01	HHHCCH	H	0.54 + 0.82 + 0.8 = 2.16	3	0.72	U = {(H; 0.72), (C; 0.27), (B; 0.01)}	H +	Y = { 808.0 * 0.72 + 879.9 * 0.27 + 879.9 * 0.01 = 828.92 }
		c	0.42 + 0.18 + 0.2 = 0.8		0.27			
		B	0.04 = 0.04		0.01			
2019-05-01	CHHCCHC	H	0.44 + 0.56 + 1.0 + 1.0 = 3.0	4	0.75	U = {(H; 0.75), (C; 0.17), (B; 0.08)}	H +	Y = { 828.65 * 0.75 + 873.8 * 0.17 + 873.8 * 0.08 = 844.84 }
		c	0.36 + 0.33 = 0.69		0.17			
		B	0.2 + 0.11 = 0.31		0.08			
2019-04-01	HCHHCCH	H	0.44 + 0.56 + 0.5 = 1.5	5	0.3	U = {(H; 0.3), (C; 0.64), (B; 0.06)}	C +	Y = { 813.65 * 0.3 + 865.2 * 0.64 + 865.2 * 0.06 = 854.2 }
		c	0.36 + 0.33 + 0.5 + 1.0 + 1.0 = 3.19		0.64			
		B	0.2 + 0.11 = 0.31		0.06			
2019-03-01	HHCHHC	H	0.44 + 0.44 + 0.43 = 1.31	5	0.26	U = {(H; 0.26), (C; 0.45), (B; 0.29)}	C +	Y = { 808.0 * 0.26 + 882.7 * 0.45 + 882.7 * 0.29 = 878.73 }
		c	0.36 + 0.22 + 0.14 + 0.5 + 1.0 = 2.23		0.45			
		B	0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.5 = 1.46		0.29			
2019-02-01	CHHCCH	H	0.54 + 0.31 + 0.25 + 0.33 = 1.43	5	0.29	U = {(H; 0.29), (C; 0.69), (B; 0.02)}	C +	Y = { 809.45 * 0.29 + 873.8 * 0.69 + 873.8 * 0.02 = 856.84 }
		c	0.42 + 0.62 + 0.75 + 0.67 + 1.0 = 3.45		0.69			
		B	0.04 + 0.08 = 0.12		0.02			
2019-01-01	CCHHCCH	H	0.54 + 0.31 + 0.33 + 0.67 + 1.0 + 1.0 = 3.85	6	0.64	U = {(H; 0.64), (C; 0.26), (B; 0.09)}	H +	Y = { 797.9 * 0.64 + 865.2 * 0.26 + 865.2 * 0.09 = 827.45 }
		c	0.42 + 0.62 + 0.56 = 1.59		0.26			
		B	0.04 + 0.08 + 0.11 + 0.33 = 0.56		0.09			
2018-12-01	BCCHHC	H	0.54 + 0.82 + 0.75 + 0.67 + 0.67 + 1.0 = 4.44	6	0.74	U = {(H; 0.74), (C; 0.25), (B; 0.01)}	H +	Y = { 811.45 * 0.74 + 857.8 * 0.25 + 857.8 * 0.01 = 823.83 }
		c	0.42 + 0.18 + 0.25 + 0.33 + 0.33 = 1.52		0.25			
		B	0.04 = 0.04		0.01			
2018-11-01	BBCCHHC	H	0.44 + 0.44 + 0.43 + 0.6 + 0.33 = 2.25	5	0.45	U = {(H; 0.45), (C; 0.15), (B; 0.41)}	H +	Y = { 807.1 * 0.45 + 857.8 * 0.15 + 857.8 * 0.41 = 855.43 }
		c	0.36 + 0.22 + 0.14 = 0.73		0.15			
		B	0.2 + 0.33 + 0.43 + 0.4 + 0.67 = 2.03		0.41			
2018-10-01	BBCCCH	H	0.54 + 0.31 + 0.33 + 0.25 = 1.43	4	0.36	U = {(H; 0.36), (C; 0.58), (B; 0.06)}	C +	Y = { 809.1 * 0.36 + 848.15 * 0.58 + 848.15 * 0.06 = 837.61 }
		c	0.42 + 0.62 + 0.56 + 0.75 = 2.34		0.58			
		B	0.04 + 0.08 + 0.11 = 0.23		0.06			

Продолжение рисунка Ж.5

Приложение 3 – Регрессионный анализ

Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,32							
R-квадрат	0,10							
Нормированный R-квадрат	0,05							
Стандартная ошибка	8,51							
Наблюдения	55,00							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	3,00	412,40	137,47	1,90	0,14			
Остаток	51,00	3691,80	72,39					
Итого	54,00	4104,20						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
Y-пересечение	45,82	11,89	3,85	0,00	21,95	69,70	21,95	69,70
Осадки_апр_СК	0,04	0,06	0,66	0,51	-0,08	0,15	-0,08	0,15
Майские температуры	-1,14	0,71	-1,60	0,12	-2,57	0,29	-2,57	0,29
Числа Вольфа	-0,04	0,02	-1,98	0,05	-0,07	0,00	-0,07	0,00