УДК 330.33

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ*

А. М. НОСОНОВ,
доктор географических наук,
профессор кафедры
экономической и социальной географии
E-mail: artno@mail.ru
Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева

В статье показаны объективные цикличногенетические закономерности развития сельского хозяйства на основе применения методов математического моделирования. Данный подход необходим для решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности на основе инновационного развития агропромышленного комплекса. Впервые доказано наличие длинных циклов в сельском хозяйстве продолжительностью 64 года. Дан прогноз цикличности развития аграрной сферы до 2042 г. Рассмотрены основные виды инноваций в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: *продовольственная безопасность, инновация, экономические циклы, сельское хозяйство, диффузия инноваций, прогноз, спектральный анализ, длинные волны.*

Ухудшение продовольственной ситуации как в отдельных регионах и странах, так и в глобальном масштабе приводит к снижению уровня обеспечения населения продуктами питания и обострению социальных проблем в сельской местности. Это связано с повышением мировых цен на сельскохозяйственные товары (более чем в 2 раза за последние два десятилетия). Данная ситуация сложилась, по мнению экспертов ФАО, в результате негативного воздействия следующих факторов: увеличения издержек производства за счет быстрого роста цен на энергоносители и минеральные удобрения, обесценивания доллара США, быстрого роста потребления и изменения его структуры в развивающихся странах (прежде всего в Китае и Индии), спекулятивных инвестиций в сельском хозяйстве, неурожайных лет в основных зернопроизводящих странах мира (США, Австралия, Россия и Казахстан) и др.

На современном этапе формирования экономики России проблема обеспечения продовольственной безопасности страны может быть решена только на основе инновационного развития агропромышленного комплекса. Важной предпосылкой для этого является выявление и исследование циклично-генетических закономерностей развития сельского хозяйства как основного сектора АПК. На этой основе возможно раскрытие механизмов и тенденций развития аграрной сферы на протяжении длительного периода для прогнозирования перспектив ее развития. Одним из направлений исследований в этой области является моделирование цикличности сельского хозяйства.

Экономический и инновационный цикл – ключевые понятия макроэкономики. Они присущи всем странам и характеризуют процесс колебательного движения уровня производства, объема инвестиций, занятости и дохода, в результате чего происходят значительное расширение или сжатие деловой активности в большинстве секторов экономики.

* Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-06-00200-а).

Исходные положения теории инноваций были сформулированы Н. Д. Кондратьевым, который увязал волны изобретений и инноваций с переходом к новому циклу [6]. Он установил, что перед началом *повышательной волны большого цикла*, а иногда в самом начале ее происходят глубокие изменения в технике и технологии производства на основе появления кардинальных изобретений и открытий, радикальных нововведений (первая эмпирическая правильность по его терминологии), т. е. существенная трансформация в основных условиях хозяйственной жизни общества.

Изменения в области техники производства (технические и технологические инновации) предполагают два условия: 1) наличие соответствующих научно-технических открытий и изобретений; 2) хозяйственные возможности применения этих открытий и изобретений. Само совершенствование техники включено в ритмический процесс развития больших циклов.

Согласно концепции «больших циклов конъюнктуры» Н. Д. Кондратьева, развитию экономики наряду со средними и короткими циклами свойственны *продолжительные длинноволновые колебания*, охватывающие период от 45 до 60 лет. К такому выводу Н. Д. Кондратьев пришел на основе анализа обширных статистических данных за 100–150 лет. Им было отмечено, что циклы динамики указанных показателей достаточно близко совпадают во времени и в определенной степени взаимосвязаны. Результаты его деятельности в этой области сводятся к следующему. ***Во-первых,*** на основе большого количества статистических данных он доказал существование «больших циклов», проследив с конца XVIII в. и до 1920 г. два полных и один незавершенный цикл [7]. Первый цикл охватывал период около 60 лет, затем происходило постепенное сокращение длительности цикла.

Во-вторых, Н. Д. Кондратьев отметил так называемые «эмпирические правильности». Это были явления, которые он выявил статистически, но не смог объяснить теоретически: а) в начале фазы подъема происходит массовое внедрение технических изобретений; б) фазы подъема характеризуются бóльшим числом социальных потрясений, чем фазы спада; в) в фазе спада больше всего страдает сельское хозяйство; г) средние и малые циклы как бы «нанизаны» на большие циклы.

В-третьих, Н. Д. Кондратьев выдвинул некоторые гипотезы о механизме «больших циклов». Применив идеи А. Маршалла и М. Вальраса о равновесии, он дает схему перехода во время цикла от «равновесия первого порядка» к «равновесиям» следующих порядков. «Равновесием первого порядка» он называет период, в течение которого производственные условия, а следовательно, и объем предложения не могут существенно измениться, а повышение спроса может влиять только на товарные запасы и загрузку производственных мощностей. Далее идет «равновесие второго порядка», которое устанавливается в результате расширения производства в секторах, производящих предметы потребления, за счет имеющихся запасов основных капитальных благ. Далее начинает расширяться производство в секторах, где производятся средства производства, влияющие на объем производства предметов потребления, что приводит к установлению «равновесия третьего порядка».

Собственно *инновационная теория* была разработана австрийским экономистом Й. Шумпетером, который одним из первых воспринял и применил идею кондратьевских циклов [12]. Экономическая динамика, по его мнению, основывается на распространении различных нововведений, которые инициируются действующими экономическими агентами (предпринимателями). Й. Шумпетер определил длинноволновые колебания как одну из форм проявления экономической динамики, порождаемой инновационным процессом. По мнению ученого, побудительным мотивом к поиску и внедрению новых комбинаций является прибыль, которая становится вознаграждением за нововведения. Академик С. Ю. Глазьев связал глубокие изменения в технике (технологии производства), отмеченные Н. Д. Кондратьевым, со сменой технологических укладов [4]. Технологический уклад характеризуется единым техническим уровнем составляющих его производств, связанных вертикальными и горизонтальными потоками качественно однородных ресурсов, опирающихся на общие ресурсы квалифицированной рабочей силы, общий научно-технический потенциал и пр.

Отдельные положения инновационной теории в дальнейшем получили новое развитие [9]. В настоящее время имеющиеся теории и концепции в этой области можно свести к следующим: *марксистская теория кризисов* (К. Маркс, Дж. Хикс, К. Эрроу); *инновационная теория Й. Шумпетера* (С. Кузнец, Г. Менш, А. Клайнкнехт, Д. Ван Дайн, С. Глазьев и др.); *теории перенакопления в капитальном сек-*

торе (Д. Форрестер, Дж. Стерман и др.); *теории, связанные с рабочей силой* (К. Фримен, Л. Соете, Дж. Кларк и др.); *ценовые теории* (У. Ростоу, Б. Берри и др.); *кейнсианские и неокейнсианские теории* (Д. М. Кейнс, Э. Хансен, С. Фишер, Дж. Хикс, С. Харрис, П. Самуэльсон и др.); *интеграционный подход* (И. Дельбеке, Д. Шокэрт, П. Карпинен и др.).

Соотношение длинных экономических циклов Н. Д. Кондратьева и инновационного цикла Й. Шумпетера можно представить следующим образом (рис. 1).

Эту взаимосвязь в 1920-е гг. выявил Н. Д. Кондратьев [6]. Он отмечал, что перед началом повышательной фазы большого цикла (в фазе депрессии) наблюдается оживление в сфере технических изобретений, т. е. зарождаются инновации. В начале повышательной фазы они начинают реализовываться, достигая максимума на заключительной стадии подъема. Затем начинается их рутинизация, что совпадает с началом спада экономического цикла.

Первым примером инновации и самым важным нововведением в истории человечества, по мнению А. Баркера, является переход человечества к сельскохозяйственному производству (от присваивающего хозяйства к производящему) [3]. Он считает, что сельское хозяйство коренным образом изменило человеческое общество (причем сделало это сильнее, чем любая другая инновация до этого), а также наглядно показало, что инновации возникают циклически, по спирали. Успешное производство продуктов питания приводит к появлению излишков, для обмена которыми необходима торговля, которая, в свою очередь, породила новые специализации и формы взаимодействий между людьми, что привело к появлению деревень и городов.

Обобщив разные варианты выделения фаз инновационного цикла, можно предложить следующую их структуру [10]:

1) ***креативная фаза,*** где в результате творчества, фундаментальных исследований и открытий зарождаются инновационные идеи, вызванные человеческими потребностями и ходом процесса познания;
2) ***фаза рационализации и изобретения,*** когда инновационные идеи получают техническое решение и институциональное обеспечение в ходе прикладных исследований;
3) ***фаза виртуальных и реальных разработок и экспериментов;***
4) ***фаза реального нововведения,*** подразумевающая комплекс отношений по налаживанию опытного производства и пробному выходу на рынок продукта, содержащего новшество;
5) ***фаза коммерциализации и распространения новшества;***
6) ***фаза потребления нововведения,*** на которой происходят одновременно его диагностика и признание как редкой системной полезности;

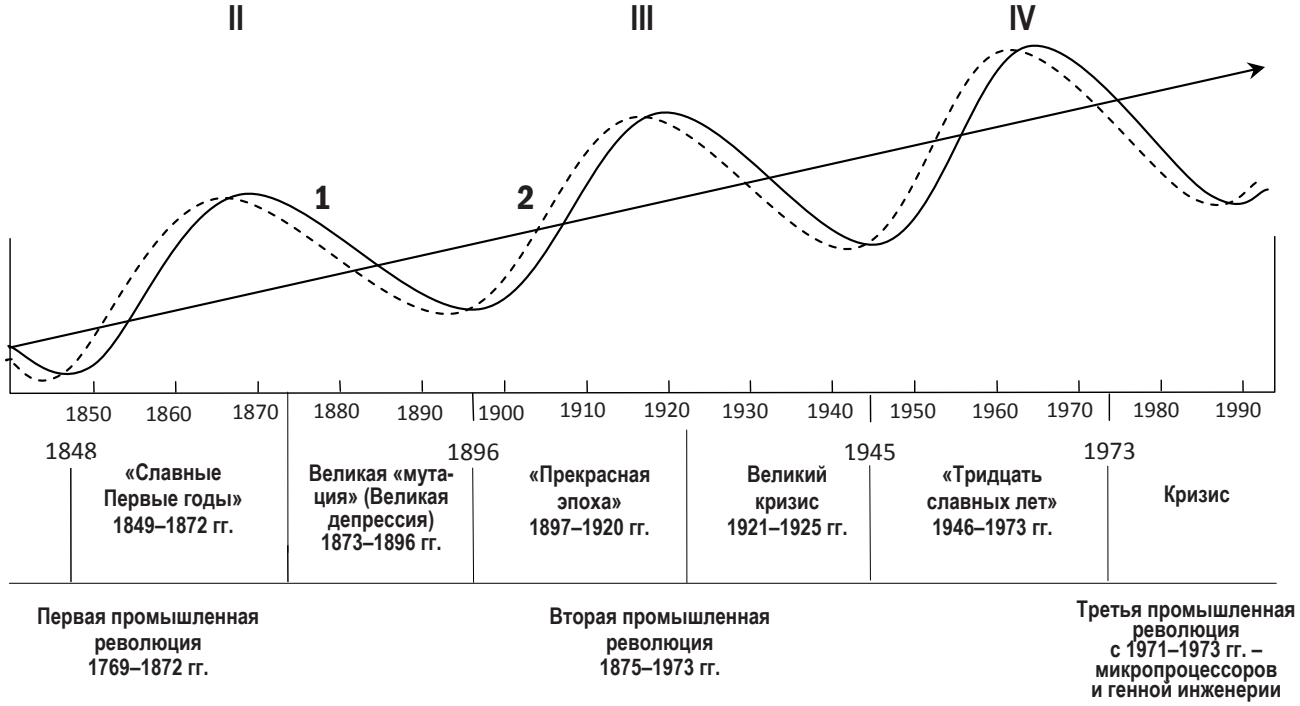

Рис. 1. Соотношение длинных волн Н. Д. Кондратьева (1) и инновационного цикла Й. Шумпетера (2).

7) ***фаза обновления,*** на которой происходит частичная или полная смена инноваций;
8) ***фаза трансформации инновации и инновационных отношений*** в экономическую традицию и традиционные отношения, которые превращаются в плацдарм, генетическую среду новых инноваций.

Таким образом, инновационный экономический цикл и его обеспечение – это *экономический процесс*, рассматриваемый во временном аспекте, охватывающий определенные экономические отношения в конкретный период времени от зарождения идеи и до ее использования, реализующийся посредством отдельных фаз, стадий, объединенных в единый цикл.

Распространение инноваций по территории происходит посредством их диффузии. Э. Роджерс считал, что диффузия – это процесс, в котором инновации передаются через определенные каналы на протяжении определенного времени среди членов социальной системы [17]. Теории *диффузии инноваций* разнообразны и охватывают несколько дисциплин. Впервые данная концепция была предложена французским социологом Г. Тардом, а также немецкими и австрийскими географами и антропологами Ф. Ратцелем и Л. Фробениусом (конец XIX в.). В 1950 г. шведский географ Т. Хагерстранд рассмотрел процесс диффузии социально-экономических явлений в сельской местности, в частности, распространение сельскохозяйственной техники, и осуществил ее моделирование с использованием метода Монте-Карло [13].

Существуют разные варианты пространственного перемещения новаций (инноваций) [2]:
1) перемещается сам носитель новации (человек) в результате миграций, «утечки мозгов» в пункт, лучше обеспеченный финансовыми и информационными ресурсами, что позволяет быстрее и с меньшими затратами материализовать инновацию;
2) перемещается новационная (информационная) волна в место, где для ее преобразования в инновацию имеются наилучшие финансовые и информационные ресурсы;
3) перемещается в результате диффузии нововведений материализованная новация (инновация) в места с максимальным спросом на нее.

Скорость распространения инновации в обществе, по мнению Э. Роджерса, зависит от пяти основных факторов: *относительных преимуществ* (relative advantage); *совместимости* (compatibility); *сложности* (complexity); *простоты апробации* (trialability); *коммуникативности* (communicability) инноваций [17].

Среди теорий экономического цикла наименьшее развитие получили работы по инновационной цикличности развития сельского хозяйства, хотя начало этих исследований приходится на середину XIX в. Наиболее хорошо разработана теория влияния ритмов солнечной активности на экономические циклы. Среди первых теорий цикличности сельского хозяйства была теория У. С. Джевонса, сформулированная еще в 1862 г. [15], согласно которой регулярно повторяющиеся годы повышенной солнечной активности являются также и годами климатических аномалий на Земле. Они приводят к неурожаям и кризисам сельского хозяйства, которые, в свою очередь, влекут за собой кризис смежных с сельским хозяйством секторов, а дальше по цепочке вовлекают в кризис все народное хозяйство.

Японский экономист С. Одзи исследовал циклическое развитие Японии и пришел к заключению, что в период с 1885 по 1984 г. произошло девять 11-летних солнечных циклов, которые совпали с промышленными циклами. Другой исследователь Симанака считает, что цикл С. Кузнеца равен двум солнечным циклам (22 года), а цикл Кондратьева – пяти солнечным циклам (55 лет). У. Х. Беверидж в начале XX в. обнаружил целый ряд циклов в долгосрочной динамике цен на пшеницу, причем характерный период одного из этих циклов оказался равным 54 годам. По Х. Л. Муру, хорошие урожаи облегчают наступление, увеличивают длительность подъема и сокращают период депрессии. Часто они важны для объяснения течения данного цикла.

Что касается явлений процветания и депрессии в сельском хозяйстве, то здесь в основном показательными являются колебания цен на сельскохозяйственные продукты. Изменения сельскохозяйственных цен в свою очередь определяются в значительной степени колебаниями совокупного спроса городского населения на сельскохозяйственные продукты. Таким образом, существует весьма тесная связь между ценами на сельскохозяйственные продукты и покупательной способностью городских рабочих, а последняя зависит в основном от объема занятости.

Первостепенное значение для раскрытия механизма экономического и инновационного цикла

и выявления основных причин его формирования имеет совершенствование методологии и методики исследования периодических колебаний в экономике. В настоящее время для выявления экономических циклов в большинстве случаев используются элементарные методы статистики, которые, как правило, не могут адекватно описать исследуемый процесс. Часто применяется модель Самуэльсона – Хикса, которая включает в себя только рынок благ. Модель разработана для идеальных условий и позволяет выявить различные сочетания величин акселератора и склонности к потреблению. Каждое сочетание определяет особую динамику производства.

В последние годы появляются работы, в которых используются оригинальные методы моделирования циклических процессов. В работах Р. Ленца, Х. Айзенсона, Л. Гартмана и др. показаны пути использования математического моделирования не только для формализованного описания циклических трендов, но и для прогнозирования последующих тенденций, особенно в сфере инновационной деятельности. Все применяемые модели диффузии инноваций исходят из *S*-образных кривых диффузии. Конкретный вид кривых может быть различным. Наиболее типичной *S*-образной кривой является логистическая функция. Но для описания процессов диффузии применимы и другие *S*-образные кривые: модифицированная экспоненциальная, нормального и логнормального распределения, кривые Гомпертца, Флойда, Шарифа-Кабира и др. Некоторым исследователям удалось найти эмпирические данные, подтверждающие наличие длинных волн в долгосрочной динамике мировых экономических индикаторов. Так, А. Тауш утверждает, что ему удалось выявить длинные волны в динамике мирового промышленного производства при помощи методов полиномиальной регрессии.

Особо следует отметить труды А. Акаева [1], который впервые делает попытку математической формализации теории деловых циклов Й. Шумпетера с использованием модели марковских случайных процессов размножения и гибели. Еще более достоверные результаты получены в исследовании А. В. Коротаева, С. В. Цареля [11]. Они разработали на новом уровне усовершенствованную методику оценки статистической значимости выделенных волн на основе спектрального анализа динамики мирового ВВП с использованием данных по динамике данной переменной за 1870–2007 гг. Еще ранее было предпринято несколько попыток использовать спектральный анализ для выявления присутствия длинных волн в мировой производственной динамике. Т. Кушинский [16] применил спектральный анализ для выявления длинных волн в мировом сельскохозяйственном производстве, суммарном объеме мирового экспорта, изобретениях, инновациях, мировом промышленном производстве и общем объеме мирового производства за период с 1850 по 1976 г. Х.-Д. Хауштайн и Э. Нойвирт при помощи спектрального анализа выявили кондратьевские волны в динамике мирового промышленного производства, потребления энергии, числа изобретений, инноваций и выданных патентов [14].

В последние годы во многих областях знаний стремительно расширяется применение *геоинформационных методов* (ГИС-технологий) и *геоинформационного моделирования*. Эти исследования могут быть эффективны при моделировании и анализе диффузии инноваций. В настоящее время существуют два основных подхода к интеграции ГИС-технологии и моделей природных и социально-экономических процессов в целях создания пространственно распределенной системы моделирования. *Первый* подход основан на использовании ГИС-пакета как дополнительного модуля компьютерной модели процесса, обеспечивающего формирование массивов входных данных, а также представление результатов моделирования, выполняемого с помощью реализованных традиционными методами моделей. *Второй* подход заключается в полной интеграции ГИС и профильной модели процесса на основе реализации модели языковыми возможностями ГИС-пакета.

Наиболее детально вопросы геоинформационного моделирования социально-экономических процессов рассмотрены в работах В. С. Тикунова и др. [5]. Ими предлагаются инновационные разработки в области комплексного и отраслевого системного тематического картографирования природных, социально-экономических, политических и других явлений и процессов на базе последних методологических и научно-технических достижений и приведены результаты их практического использования.

Таким образом, дальнейшее развитие исследований экономических и инновационных циклов, в том числе и в сельском хозяйстве, связано в первую очередь с поиском и использованием новых методов научного анализа.

Автором разработаны экономические критерии оценки цикличности функционирования сельскохозяйственных систем на основе методов математического моделирования. В качестве критериев использованы результирующие показатели развития сельского хозяйства, в том числе данные урожайности зерновых культур, по которым имеются самые длинные временные ряды (с 1883 по 2010 г., всего 128 лет). Использование данных показателей обусловлено тем, что они в общем виде выражают соотношение стоимости валовой продукции к затратам живого и овеществленного труда, т. е. экономическую эффективность сельского хозяйства. Кроме того, на изменение этих показателей оказывают влияние организационно-управленческие, технологические и социально-политические инновации, отражающие этапы интенсификации сельского хозяйства, а также природная ритмика.

Большая размерность и вариабельность исходных данных сделали невозможным при построении модели использование традиционных методов экономико-математического моделирования. Поэтому для выявления природных и социально-экономических факторов циклического развития сельского хозяйства был разработан оригинальный математический аппарат, представляющий собой модернизацию метода структурной и параметрической идентификации математической модели.

Структурная идентификация представляет определение структуры и формирование системологического принципа осуществимости модели. Она включает процедуру ее агрегирования на основе учета только самых существенных свойств систем сельского хозяйства, обусловливающих их эффективность. В процессе структурной идентификации определяется совокупность составных частей модели и связей между ними, а также выбирается минимально необходимая совокупность ее параметров. Целью параметрической идентификации является количественное определение значений параметров агрегированной модели на основе сопоставления экспериментальных данных с наблюдаемыми характеристиками сельскохозяйственных систем при различных их состояниях.

Процедура параметрической идентификации математической модели в настоящее время методологически недостаточно разработана, и автором предлагается метод *концептуального моделирования*, основанный на совмещении процедур сопоставления данных имитации и исходных баз данных. В качестве значений совокупности параметров модели, описывающих каждое из множеств состояния объекта моделирования, определяемых результатами экспериментов, принимаются те, при которых значения модельных характеристик сельскохозяйственных систем совпадают (с определенной точностью) с реальными значениями тех же характеристик объекта моделирования. Такой подход к идентификации параметров модели сводится к «пересчету» наблюдаемых в системах сельского хозяйства значений характеристик объекта в значения параметров модели, отображающих различные состояния этих систем.

При помощи метода структурной и параметрической идентификации выявлены коэффициенты значимости (важности) отдельных факторов, влияющих на циклическое развитие сельского хозяйства. Анализ степени влияния различных условий на продуктивность обрабатываемых земель в настоящее время показывает, что из антропогенных факторов наибольшее значение имеют затраты на минеральные удобрения и сельскохозяйственную технику, топливо и ГСМ, которые характеризуют уровень механизации сельскохозяйственного производства. Из агроклиматических условий наиболее значима обеспеченность теплом, условия увлажнения отрицательно влияют на продуктивность пахотных земель. В структуре земельных угодий решающее влияние на продуктивность сельского хозяйства оказывают размеры обрабатываемых угодий, из сельскохозяйственных культур наиболее важна доля посевных площадей зерновых и пропашных культур.

На основе имеющейся базы данных осуществлено математическое моделирование циклических процессов и явлений в сельском хозяйстве, определяющих его дальнейшее развитие. Для отбора наиболее адекватных моделей, описывающих циклическое развитие сельского хозяйства, был использован широкий спектр математических моделей: интегро-дифференциальные уравнения Фредгольма – Вольтера, сплайн-функции, функция Грина, структурная и параметрическая идентификация (для выявления факторов цикличности), спектральный анализ. Из этих методов самым эффективным оказался *спектральный анализ,* который позволяет учитывать как социально-экономические факторы цикличности сельского хозяйства, так и природную ритмику (солнечная и геомагнитная активность, повторяемость засушливых лет и др.). Цель

спектрального анализа в данном исследовании – распознать циклические колебания различной длины в динамике сельскохозяйственных процессов на примере урожайности зерновых культур.

Полученные результаты моделирования использованы для выявления пространственно-временных закономерностей циклического развития сельского хозяйства. Была подтверждена первоначальная гипотеза о бóльшей длительности экономических циклов в сельском хозяйстве и о сильном влиянии на них природных факторов. Выявлены признаки существования примерно 64-летнего и 42-летнего циклов и слабые колебания 11–12-летних циклов (рис. 2).

Проводя анализ данных рис. 2, замечаем, что на графике периодограммы видно несколько четких пиков. Максимальный пик – на частоте примерно 0,01 (64 года), менее выражен – на частоте 0,02 (42 года). Таким образом, подтверждается третья эмпирическая правильность Н. Д. Кондратьева в развитии больших циклов – их понижательные фазы сопровождаются длительной депрессией сельского хозяйства.

Четко выделяются два периода развития аграрного производства: 1883–1955 гг. (экстенсивный путь развития) и 1955–2010 гг. (интенсивный путь развития со спадом в 1990-х гг.). На *первом* этапе не происходило существенного прироста урожайности в связи с увеличением производства продовольствия преимущественно за счет увеличения посевных площадей, смены форм собственности в сельском хозяйстве, больших человеческих потерь в мировых и гражданской войнах, недостаточного использования интенсивных факторов развития и др. На *последнем* этапе увеличение урожайности достигалось за счет совершенствования всей системы земледелия: оптимизации севооборотов, расширения мелиоративных работ, механизации сельскохозяйственных работ, увеличения вносимых минеральных удобрений и др.

Из других закономерностей следует отметить следующие:

– эволюция сельского хозяйства в процессе исторического развития отражает этапы интенсификации аграрной экономики;
– основными тенденциями развития сельскохозяйственного производства в течение рассматриваемого периода явились увеличение земледельческой освоенности территории и расширение в составе обрабатываемых земель кормовых и технических культур, что способствовало усилению животноводческой специализации;
– сельскохозяйственные циклы, в отличие от промышленных и общеэкономических, более продолжительны (64 года) и не имеют тенденции к сокращению в ходе исторического развития;
– на цикличность сельского хозяйства системное воздействие оказывает вся совокупность природных, социально-экономических и организационно-производственных факторов;
– четко выражено сильное влияние на сельскохозяйственные циклы природных условий, особенно солнечной активности (64 года – примерно 6 циклов солнечной активности).

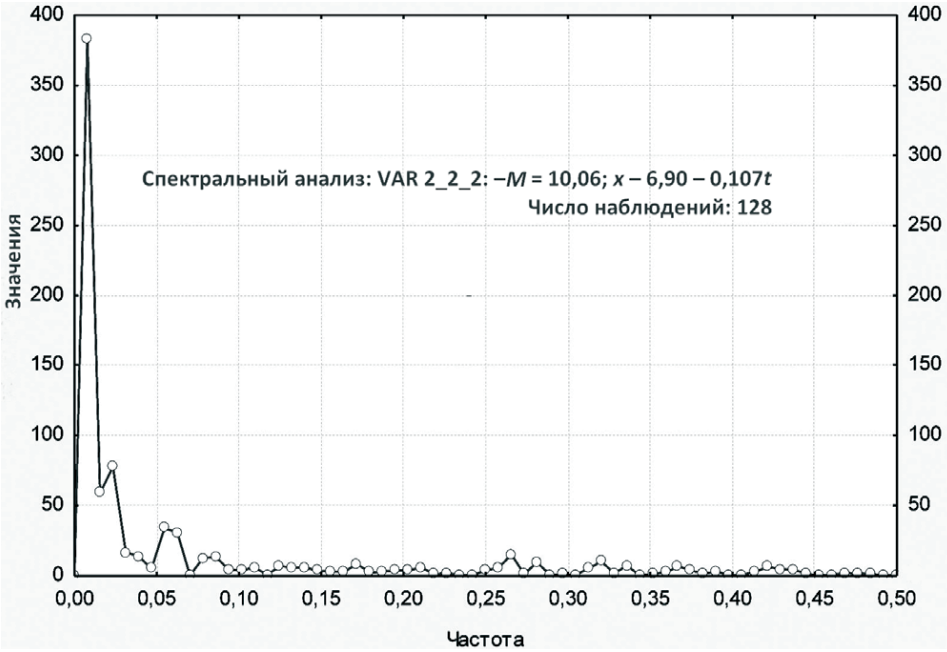

Рис. 2. График периодограммы исходных данных

В ходе исследования автором сделана попытка (в схематической форме) выявить влияние больших циклов Кондратьева (II–IV волн) на развитие сельского хозяйства Российской империи, СССР и Российской Федерации в период осуществления аграрных реформ [8]. Проведенное исследование показало, что аграрная реформа 1861 г., приходящаяся на начало II волны (фаза роста), способство-

вала развитию капиталистических отношений в сельском хозяйстве. Это привело к расширению применения машин, углублению специализации, развитию товарного земледелия и совершенствованию систем земледелия. На фазе стагнации, начавшейся с 1970-х гг., развитие сельского хозяйства начало сдерживаться существующей в основных земледельческих районах отработочной системой и господством трехпольной системы земледелия. Фаза стагнации сопровождалась ухудшением ситуации на мировом рынке продовольствия в результате сокращения спроса и, соответственно, падения цен на основные экспортные товары России – зерно, сливочное масло и др.

Третья волна Кондратьева ознаменовалась несколькими аграрными реформами, причем две из них, относительно успешные (столыпинская реформа и новая экономическая политика) пришлись на фазу *A* (подъем), а одна – коллективизация – на фазу стагнации. Подъему сельского хозяйства в фазе *A* в значительной степени способствовали возникновение промышленного производства минеральных удобрений, использование двигателя внутреннего сгорания в сельскохозяйственных машинах, внедрение плодосменной системы земледелия. В период нэпа сельское хозяйство России совершило небывалый в своей истории скачок вперед. На фазе *B* (период коллективизации) аграрный сектор страны был отброшен на несколько десятков лет. Положение усугубилось общемировым кризисом («Великий кризис» 1921–1945 гг.).

Подъем сельского хозяйства в послевоенные года (IV волна, фаза *A*) происходил на базе удачного сочетания *интенсивного* (в центральных районах) и *экстенсивного* (освоение целинных и залежных земель) путей развития, а также значительного повышения уровня механизации сельскохозяйственного производства. В результате этого за очень короткие сроки был превышен довоенный уровень сельскохозяйственного производства.

Резервы экстенсивного роста были исчерпаны в начале 1970-х гг., когда стали развиваться энергоинтенсивные способы производства (расширение дорогостоящих мелиоративных работ, применение больших доз удобрений, использование энергоемкой сельскохозяйственной техники), не сопровождаемые адекватным ростом продуктивности сельскохозяйственных угодий, что привело к очередному аграрному кризису. Именно в этот период произошли стабилизация, даже падение урожайности сельскохозяйственных культур (что характерно, в официальных статистических сборниках 1980-х гг. даже отсутствуют данные об урожайности зерновых и других культур), рост себестоимости продукции, резкий рост капиталоемкости производства, усиление территориальных диспропорций между секторами растениеводства и животноводства, обострение экологических проблем сельского хозяйства.

На современном этапе мировая экономика находится в фазе *B* (стагнации) IV волны, которая продлится вплоть до середины XXI в. В отношении сельского хозяйства эта точка зрения вполне оправданна. В настоящее время эта сфера характеризуется всеми чертами конца понижательной фазы – сильным износом основных производственных фондов, старением техники и технологий сельскохозяйственного производства. В то же время имеются новые технологические инновации и научные разработки во всех сферах аграрной науки, которые в настоящее время не могут быть реализованы из-за недостатка средств, что подтверждается неудовлетворительными результатами современной аграрной реформы, которая пока не привела к положительным итогам.

Для исследования других аспектов цикличности сельского хозяйства применялись как дискретные, так и континуальные методы анализа данных: информационные, многомерного шкалирования, факторного, регрессионного и др. Налицо актуальность, с одной стороны, и недостаточная разработанность, с другой, спектра системных проблем поиска и визуализации циклов сельского хозяйства, количественного расчета их параметров, отсутствие в классической экономической конъюнктуре столь нужных для исследования подходов. Это заставляет наряду с использованием традиционных подходов к изучению проблемы цикличности развития сельского хозяйства обратиться к новым подходам:

– построение систем универсальных аналитических непрерывных моделей с концепцией «кусочного» моделирования и экономического анализа с техникой реализации кусочно-полиномиальными сплайн-функциями;
– фазовый анализ с поиском, выявлением циклов и визуализацией «круговых» циклических конструкций;
– разработка способов расчета метрических и временных параметров периодичности;
– построение эконометрических законов в фазовом пространстве;
– прогнозирование циклических циклов.

Для анализа структуры временных рядов были использованы как традиционные подходы, так и новые методы математического моделирования, описывающие динамику процессов сельского хозяйства, содержащих сезонные или циклические колебания:

1) расчет значений сезонной компоненты методом скользящей средней и построение аддитивной или мультипликативной модели временного ряда. Выбор модели на основе анализа структуры сезонных колебаний (если амплитуда колебаний приблизительно постоянна – аддитивная, если возрастает или уменьшается – мультипликативная). Построение моделей сводится к расчету значений параметров трендовой (T), цикличной или сезонной (S) и случайной (E) составляющих для каждого уровня ряда:

– выравнивание исходного ряда методом средней скользящей;
– расчет значений компоненты S;
– устранение сезонной компоненты из исходных уровней ряда и получение выровненных данных ($T + E$) в аддитивной или ($T \cdot E$) в мультипликативной модели;
– аналитическое выравнивание уровней ($T + E$) или ($T \cdot E$) и расчет значения T с использованием полученного уровня тренда;
– расчет полученных по модели значений ($T + S$) или ($T \cdot S$);
– расчет абсолютных или относительных ошибок.

Если полученные значения ошибок не содержат автокорреляции, ими можно заменить исходные уровни ряда и в дальнейшем использовать временной ряд ошибок E для анализа взаимосвязи исходного ряда и других временных рядов;

2) построение модели регрессии с включением фактора времени и фиктивных переменных. Каждая фиктивная переменная отражает сезонную (циклическую) компоненту временного ряда для какого-либо одного периода. Она равна единице (1) для данного периода и нулю (0) для всех остальных. Недостаток модели с фиктивными переменными – наличие большого количества переменных;

3) построение модели регрессии с использованием гармонического анализа (тригонометрических рядов Фурье).

На заключительном этапе исследования разработан экономический прогноз циклического развития систем сельского хозяйства на примере динамики урожайности зерновых культур, который в общем виде отражает цикличность развития аграрной сферы. Прогнозирование урожайности зерновых культур в России до 2042 г. осуществлено с учетом полиномиальной возрастающей тенденции и циклической модели Фурье. Использован метод преобразования периодических функций в ряд тригонометрических уравнений, называемых гармониками. Этот метод подходит для аналитического выражения сезонных колебаний, имеющих синусоидальную форму. Выяснено, что сельское хозяйство в настоящее время находится в фазе депрессии, которая продлится до 2015 г., затем сектор вступит в фазу оживления, подъем прогнозируется к середине 2040-х гг. (рис. 3).

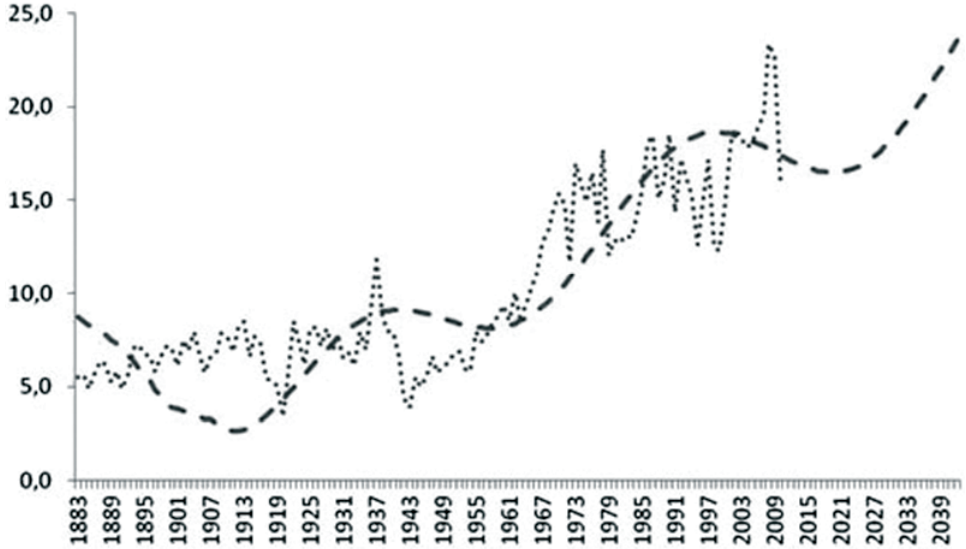

Рис. 3. Прогнозирование урожайности зерновых в России до 2042 г., ц/га:
1 – результаты прогнозирования (пунктирная линия);
2 – фактическая урожайность (точечная линия)

По прогнозным данным обоснованы варианты перспективного развития сельского хозяйства на основе применения разработанных математических и компьютерных моделей. Особенности различных вариантов связаны с учетом природных особенностей, прежде всего природного агропотенциала территории.

Таким образом, разработка комплексного научного подхода к исследованию экономи-

ческой и инновационной цикличности сельского хозяйства на основе применения оригинальных методов математического моделирования позволяет получить достоверные научные результаты о закономерностях функционирования и циклического развития сельского хозяйства.

Список литературы

1. *Акаев А. А.* Анализ экономических циклов с помощью математической модели марковских случайных процессов // Доклады Академии наук (ДАН) – научный журнал Президиума РАН. 2006. № 26. Т. 409. С. 727–731.

2. *Бабурин В. Л.* Инновационные циклы в российской экономике. М.: Красанд, 2010.

3. *Баркер А.* Алхимия инноваций. М.: Вершина, 2003.

4. *Глазьев С. Ю.* Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: ВлаДар, 1993.

5. *Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С.* Геоинформатика: учебник для вузов / под ред. В. С. Тикунова. Кн. 2. М.: Академия, 2010.

6. *Кондратьев Н. Д.* Избранные сочинения. М.: Экономика, 1993.

7. *Кондратьев Н. Д.* Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. Т. 1. Вып. 1. М., 1925. С. 28–79.

8. *Носонов А. М.* Территориальные системы сельского хозяйства (экономико-географические аспекты исследования). М.: Янус-К, 2001.

9. *Покидченко М. Г., Чаплыгина И. Г.* История экономических учений. М.: Инфра-М, 2008.

10. *Посталюк Т. М.* Содержание инновационного экономического процесса // Вестник ТИСБИ. 2007. № 2. С. 18–27.

11. Системный мониторинг: глобальное и региональное развитие / Ред. Д. А. Халтурина, А. В. Коротаев. М.: Книж. дом «Либроком», 2010.

12. *Шумпетер Й.* Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982.

13. *Hägerstrand T.* Innovation Diffusion as a Spatial Process. Chicago: University of Chicago Press, 1967.

14. *Haustein H.-D., Neuwirth E.* Long Waves in World Industrial Production, Energy. Consumption, Innovations, Inventions and Patents and their Identification by Spectral Analysis. 1982. P. 53–89.

15. *Jevons W. S.* On the Study of Periodic Commercial Fluctuations, with five Diagrams // Read before the Economic Science and Statistics Section of the British Association at Cambridge. Cambridge, 1862.

16. *Kuczynski Th.* Spectral Analysis and Cluster Analysis as Mathematical Methods for the Periodization of Historical Processes // Kondratieff Cycles – Appearance or Reality? Vol. 2. Edinburgh: International Economic History Congress. 1978. P. 79–86.

17. *Rogers E. M.* Diffusion of innovations. New York: Free Press, 1962.