

# ЦИКЛИЧНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ<sup>1</sup>

**А. М. Носонов**

*Статья посвящена методологически вопросам исследования развития сельского хозяйства на основе объективных циклично-генетических закономерностей с использованием математико-экономических моделей. Данный подход необходим для решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны на основе инновационного развития агропромышленного комплекса. Проанализировано влияние длинных волн Кондратьева на развитие сельского хозяйства России в период осуществления аграрных реформ. Впервые доказано наличие длинных циклов в сельском хозяйстве продолжительностью 64 года и выявлены факторы инновационного развития сельского хозяйства. Рассмотрены основные виды инноваций в сельском хозяйстве и осуществлено прогнозирование цикличности развития аграрной отрасли до 2042 г.*

---

<sup>1</sup> Исследование осуществлено при поддержке РФФИ (проект №14-05-00860-а).

Обострение продовольственной проблемы и ухудшение экологической ситуации в сельской местности как в отдельных регионах, так и в глобальном масштабе приводит к снижению уровня обеспечения населения продуктами питания, деградации и разрушению природных экосистем. В последние десятилетия продовольственная проблема усиливается в связи с повышением мировых цен на сельскохозяйственные товары (более чем в 2 раза). Данная ситуация в мировой экономике сложилась, по мнению экспертов ФАО, в результате негативного воздействия следующих факторов: увеличение издержек производства в результате быстрого роста цен на энергоносители и минеральные удобрения, обесценивание доллара США, быстрый рост потребления и изменение его структуры в развивающихся странах (прежде всего, Китае и Индии), спекулятивные инвестиции в сельском хозяйстве, неурожайные годы в основных зернопроизводящих странах мира (США, Австралия, Россия, Казахстан) и др. [4]. Данные обстоятельства вызвали целый ряд гуманитарных, социально-экономических, политических проблем в сельской местности, а также проблем в области развития и безопасности.

В условиях глобализации и становления экономики, основанной на инновациях, экономические достижения стран-лидеров определяются эффективной интеграцией науки, образования и бизнеса. Успех развития любой страны сейчас определяется той скоростью, с какой результаты научной деятельности воплощаются в новых технологиях и технологических продуктах на рынке, то есть скоростью коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности. Генерация знаний и научно-исследовательская деятельность из общественного блага превращаются в часть рыночного механизма, в инструмент конкурентной борьбы страны за лидерство в сфере высоких технологий. Это в полной мере относится к развитию агропромышленного комплекса (АПК) и его главной отрасли — сельского хозяйства. Эффективное развитие АПК в современных условиях требует постоянного появления и внедрения новых техники и технологий, совершенствования экономических отношений между производителями и потребителями научной продукции, формирование инновационной инфраструктуры.

Первая эпохальная инновация в сельском хозяйстве произошла еще в неолите (более 7 тыс. лет) — становление земледелия и животноводства, производительное использование

земли, пастбищ и возникновение первой системы земледелия — подсечно-огневой. По мнению А. Баркера [1], переход человечества к сельскохозяйственному производству (от присваивающего хозяйства к производящему) является самым важным нововведением в истории человечества. Он считает, что сельское хозяйство не только изменило человеческое общество сильнее, чем любая другая инновация до этого или с этого времени, но и 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.

В дальнейшем появились другие базисные и улучшающие (модернизирующие) инновации в сельском хозяйстве и их распространение по территории (диффузия):

а) технологические и организационно-производственные: переход от залежной и подсечно-огневой системы земледелия к трехпольной зерновой; переход от трехпольной к плодосменной системе земледелия, применение минеральных удобрений, повышение уровня механизации в сельском хозяйстве, расширение мелиоративных работ и др.;

б) социально-политические (аграрные реформы: отмена крепостного права 1861 г., столыпинская 1906-1914 гг., новая экономическая политика (НЭП) 1921-1928 гг., 1990-е гг. XX в.);

в) научно-производственные: «особая экспедиция» В.В. Докучаева, создание новых специализированных сельскохозяйственных учреждений, показательных опытно-производственных хозяйств (сортсемучастки, опытные станции, зоветпункты и т. п.), создание ВАСХНИЛ, высшего профессионального аграрного образования и др.;

г) перспективные, находящиеся в стадии исследований и разработок, пробных проектов, коммерциализации и частичного распространения: сельскохозяйственные роботы (BoniRob, Astronaut), замкнутые экологические системы (проект «Эдем», Bioshelter, Seawater greenhouse), генетически модифицированная пища, вертикальные фермы («Стрекоза», «Plantagon», Circular Symbiosis Tower, «R4 apartment»), точное земледелие, в основе которого лежат представления о существовании неоднородностей в пределах одного поля. Для оценки и детектирования этих неоднородностей используются новейшие технологии, та-

кие как системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), специальные датчики, аэрофотоснимки и снимки со спутников, а также специальные программы для агроменеджмента на базе ГИС и другие разработки.

Процесс развития сельского хозяйства, в отличие от процессов развития других отраслей народного хозяйства, имеет ряд существенных особенностей. К их числу относятся:

- значительное влияние на сельское хозяйство природных условий территории и природных циклов (повторяемость засушливых лет, двухлетние ритмы урожайности, солнечная активность и др.);
- наличие сезонных колебаний в течение года в самой отрасли;
- относительно высокая инерционность и стабильность;
- значительная длительность использования основных производственных фондов;
- большая продолжительность аграрных кризисов и большая длительность возврата в исходное состояние;
- несовпадение инновационных и экономических циклов во времени;
- значительная зависимость от организационно-производственных изменений (смена систем земледелия, уровень механизации, химизации и мелиорации, влияние диффузии инноваций).

Важной предпосылкой анализа инновационной деятельности в аграрной сфере является выявление и исследование циклично-генетических закономерностей развития сельского хозяйства как основной отрасли АПК. На этой основе возможно раскрытие механизмов и тенденций развития аграрной отрасли 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 которых происходит значительное расширение или сжатие деловой активности в большинстве секторов экономики. Исходные положения теории инноваций были сформулированы Н. Д. Кондратьевым, который увязал волны изобретений и инноваций с переходом к новому циклу [2]. Он установил, что перед началом повышательной волны большого цикла, а иногда в самом начале ее происходят глубо-

кие изменения в технике и технологии производства на основе появления кардинальных изобретений и открытий, радикальных нововведений (первая эмпирическая правильность по его терминологии), то есть существенная трансформация основных условий хозяйственной жизни общества. Изменения в области техники производства (технические и технологические инновации) предполагают два условия: наличие соответствующих научно-технических открытий и изобретений и хозяйственные возможности применения этих открытий и изобретений. Само совершенствование техники включено в ритмический процесс развития больших циклов.

Взаимосвязь длинных экономических и инновационных циклов еще в 20-е годы XX века выявил Н. Д. Кондратьев [2]. Он отмечал, что перед началом повышательной фазы большого цикла (в фазе депрессии) наблюдается оживление в сфере технических изобретений, то есть 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.

Нами 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. Проведенное исследование показало, что аграрная реформа 1861 г., приходящаяся на начало II волны (фаза роста), способствовала 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 70-х гг. XIX в., 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 А (подъема), а одна

(коллективизация) на фазу стагнации. Подъему сельского хозяйства в фазе А 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 В (период коллективизации) аграрный сектор страны был отброшен на несколько десятков лет. Положение усугубилось общемировым кризисом (1921–1945 гг.).

Подъем сельского хозяйства в послевоенные годы (IV волна, фаза А) 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 и даже падение урожайности сельскохозяйственных культур (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 отраслями растениеводства и животноводства, обострение экологических проблем сельского хозяйства.

На современном этапе мировая экономика находится в фазе В (стагнации) IV волны, которая продлится вплоть до середины XXI вв. В отношении сельского хозяйства эта точка зрения вполне оправдана. В настоящее время эта отрасль 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 реа-

лизованы из-за недостаточности средств, что подтверждается неудовлетворительными результатами современной аграрной реформы, которая пока не привела к положительным итогам.

Мы разработали экономические критерии оценки цикличности функционирования сельскохозяйственных систем на основе методов математического моделирования [3]. 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 гг. — 128 лет). Использование данных показателей обусловлено тем, что они в общем виде выражают отношение стоимости валовой продукции к затратам живого и овеществленного труда, то есть 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, обуславливающих 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 нами 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 важны доли 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 циклическости) и спектральный анализ. Из этих методов самым эффективным оказался спектральный анализ, который позволяет учитывать как социально-экономические

факторы циклическости сельского хозяйства, так и природную ритмику (солнечная 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 большей 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. 1). На графике периодограммы видны 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 в развитии больших циклов Н.Д. Кондратьева: их понижительные 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

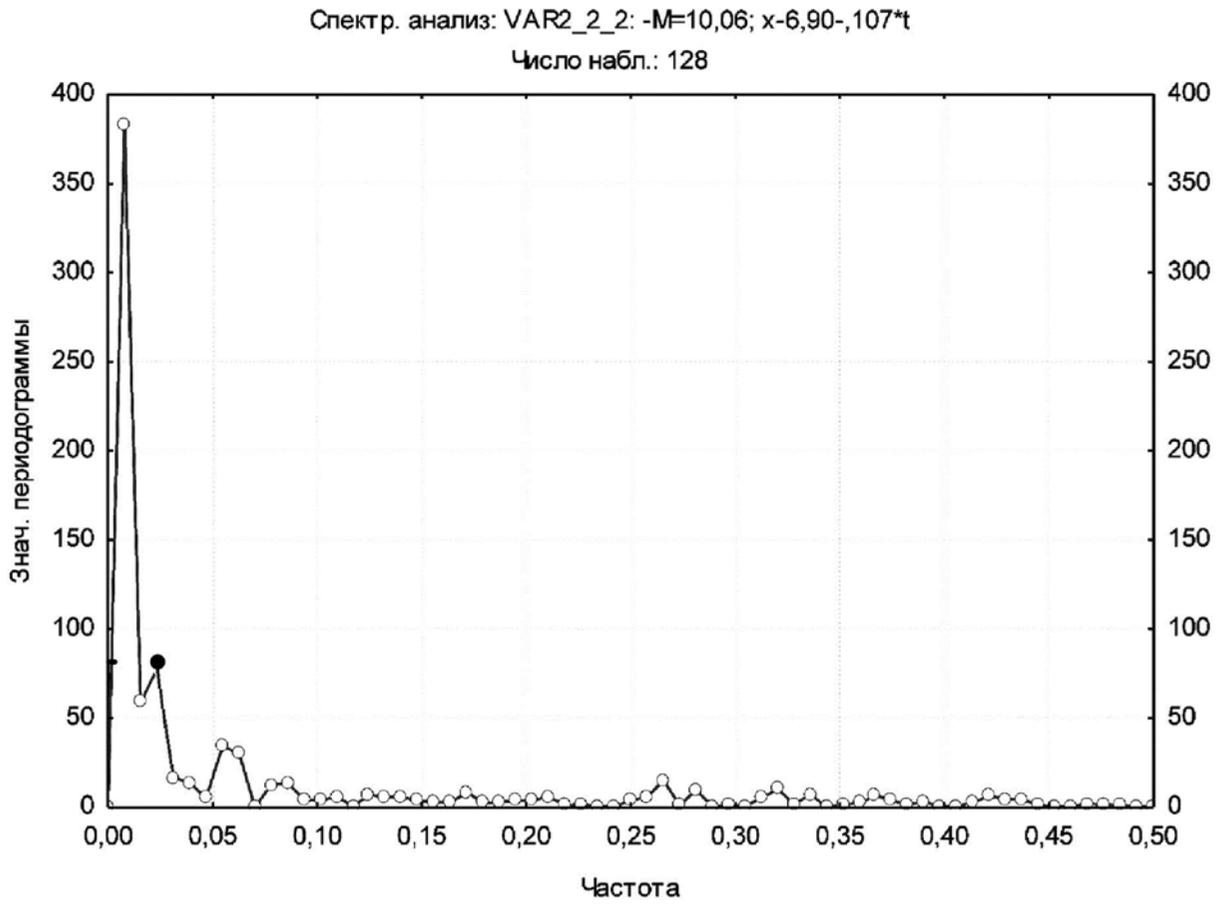


Рис. 1. График периодограммы исходных данных

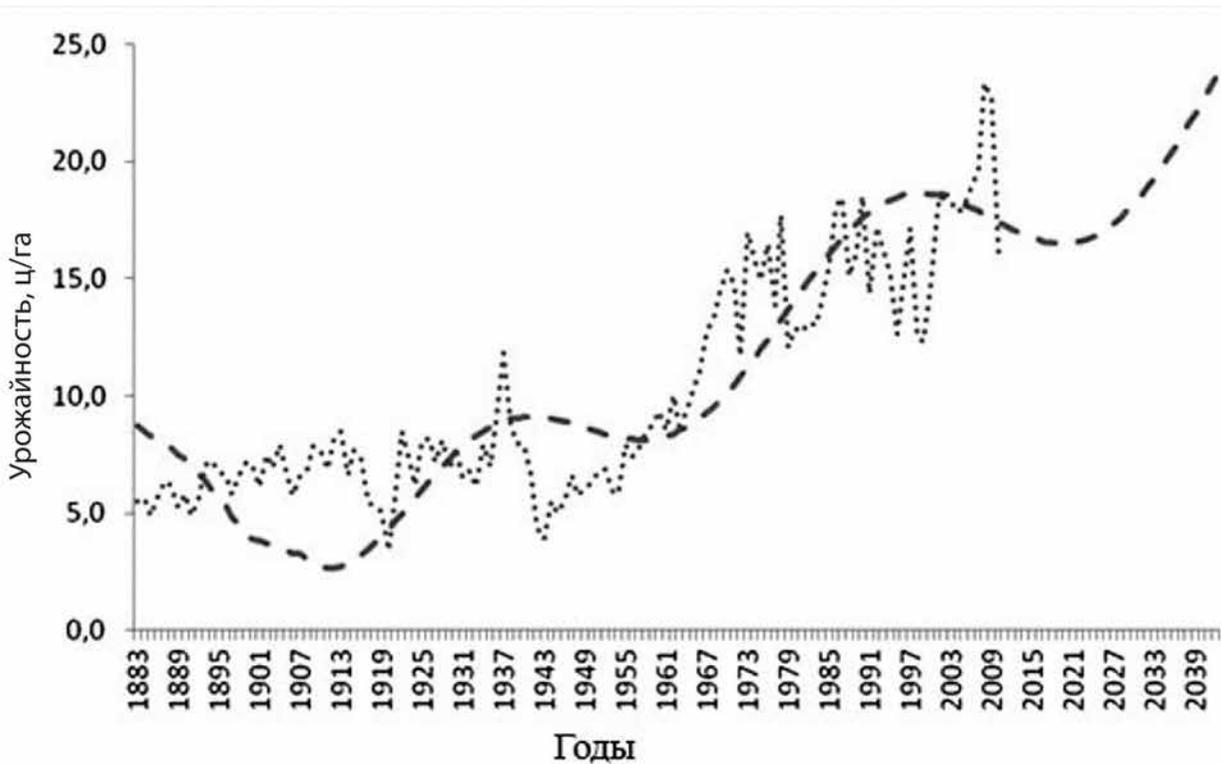


Рис. 2. Прогнозирование цикличности развития сельского хозяйства на основе динамики урожайности зерновых в России до 2042 г.

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 тенденцию 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).

На заключительном этапе исследования разработан экономический прогноз развития сельского хозяйства на основе динамики урожайности зерновых культур, который в общем виде отражает цикличность развития аграрной отрасли. 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 на фазе депрессии, которая продлится до 2015 г., затем отрасль вступит в фазу оживления, подъем прогнозируется к середине 2040-х гг. (рис. 2).

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, дальнейшее развитие исследований инновационных циклов и продовольственной безопасности связано с поиском и использованием новых методологических подходов и оригинальных методов концептуального и математического моделирования. Это является основой разработки территориально дифференцированных программ комплексного развития сельской местности на территории России в целом и в ее отдельных регионах.

#### Список источников

1. Баркер А. Алхимия инноваций. — М. : Вершина, 2003.
2. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. — М. : Экономика, 2002.
3. Носонов А. М. Моделирование экономических и инновационных циклов в сельском хозяйстве // Национальные интересы. Приоритеты и безопасность. — 2014. — № 1 (238). — С. 24-33.
4. Mendoza A., Machado R. The escalation in world food prices and its implications for the Caribbean // ECLAC-Project Documents collection-Caribbean Development Report. — 2009. — Vol. 2.

#### УДК 330.34

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, продовольственная безопасность, инновационное развитие, диффузия инноваций, прогнозирование, агропромышленный комплекс, моделирование, циклы Кондратьева, спектральный анализ, технологии