

А. М. Носонов

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ¹

В статье на основе системного подхода рассматривается развитие региональных систем сельского хозяйства (на примере Республики Мордовия). Предложена оригинальная методика моделирования с использованием модернизированного метода структурной и параметрической идентификации имитационной модели. Приведена структурная схема модели, обоснованно включение в ее состав соответствующих компонентов: затрат материальных средств и труда, агроклиматических условий, показателей почвенного плодородия, структуры земельной площади и использования обрабатываемых земель. Выявлены коэффициенты значимости (важности) отдельных параметров, влияющих на целевую функцию региональных систем сельского хозяйства. Показаны ареалы с различной экономической эффективностью пахотных угодий и вскрыты факторы, определяющие эти различия. Разработана математическая имитационная модель, позволяющая оценить степень влияния территориальной структуры сельского хозяйства и социально-экономических факторов на эффективность региональных систем сельского хозяйства и определить различные варианты их устойчивого развития на основе выбранного критерия устойчивости экономической эффективности.

Ключевые слова: региональные системы сельского хозяйства, моделирование, метод, сценарий, имитационная модель, параметрическая и структурная идентификация

Исследование территориальных проблем развития сельской местности требует разработки комплексного подхода, основанного на применении экономических, математико-статистических, картографических и других методов. Такой подход позволяет сопряжено решать социально-экономические и экологические проблемы сельской местности в целях наиболее полного использования природного потенциала и социально-экономических предпосылок развития сельскохозяйственных систем.

Одним из наиболее перспективных методов исследования региональных систем и процессов, протекающих в них, является имитационное моделирование. Имитационное моделирование представляет собой формализацию эмпирических знаний о рассматриваемом объекте с использованием современных компьютерных технологий [3]. Под имитационной моделью

понимается модель, воспроизводящая процесс функционирования систем в пространстве в определенный момент времени путем отображения элементарных явлений и процессов с сохранением их логической структуры и последовательности. Это позволяет, используя исходные данные о структуре и главных свойствах систем, получить сведения о взаимосвязях между их основными компонентами и выявить механизм формирования устойчивого развития.

Большинство имитационных моделей построено по типу «черного ящика», когда имеется определенный вход в него, описываемый экзогенными переменными (которые возникают вне системы под воздействием внешних причин), и выход (описывается выходными переменными), который характеризует результат действия системы. Имитационные эксперименты состоят из многократных расчетов по заданной модели при изменении входных параметров и предполагают целенаправленный поиск оптимальных реше-

¹ Выполнено при поддержке РФФИ (проект №11-06-00177-а).

ний, в частности касающихся рациональности функционирования и развития систем.

Важным вопросом моделирования является разработка и обоснование критерия устойчивости региональных систем сельского хозяйства. Применительно к сельскому хозяйству разработана концепция устойчивого (поддерживаемого) сельского хозяйства (sustainable agriculture) [5]. В соответствии с ней под устойчивостью сельского хозяйства следует понимать способность сохранять свое состояние, основные свойства и взаимосвязи при внешнем воздействии в течение некоторого времени, т. е. поддерживать необходимое динамическое равновесие. В экономике в качестве такого показателя может быть использован наиболее общий показатель экономической эффективности — отношение стоимости валовой продукции к затратам живого и овеществленного труда (ЭВП) [4]:

$$\mathcal{E}_{ВП} = \frac{ВП}{С + ОС},$$

где ВП — стоимость валовой продукции, произведенной сельскохозяйственным предприятием за анализируемый период (год); С — текущие производственные затраты (на электроэнергию, топливо, минеральные удобрения, заработную плату и др.); ОС — среднегодовая стоимость основных производственных средств.

Нами разработана математическая имитационная модель, позволяющая оценить степень влияния территориальной структуры сельского хозяйства и социально-экономических факторов на эффективность региональных систем сельского хозяйства, определить различные варианты их устойчивого развития на основе выбранного критерия устойчивости — экономической эффективности. Принятый в данной работе подход базируется на методологии системного анализа. Региональная система сельского хозяйства рассматривается как множество нетождественных элементов (подсистем). Цель функционирования системы любого уровня также может быть разделена на подцели (задачи), достижение которых возлагается на соответствующие элементы подсистем. Все подцели могут быть количественно оценены (измерены) по степени их значимости для достижения общей цели системы. Чтобы иметь возможность количественно охарактеризовать систему, параметры системы должны быть представлены в виде дискретного счетного множества.

В соответствии с этим в модель включены следующие структурные блоки:

— затраты материальных средств и труда (затраты на минеральные удобрения, сельскохозяйственную технику, электроэнергию и топливо, затраты ручного труда и др.);

— агроклиматические условия (сумма активных температур, коэффициент увлажнения, коэффициент континентальности);

— почвенное плодородие (кислотность почв, содержание элементов питания растений в почве, содержание гумуса в пахотном слое);

— организация сельскохозяйственной территории (структура земельной площади);

— использование обрабатываемых земель (доля отдельных групп сельскохозяйственных культур в площади пашни).

В имитационной модели оценивалось влияние всех этих параметров (кроме агроклиматических ресурсов как нерегулируемых) на экономическую эффективность сельскохозяйственного производства.

Все данные приведены по крупным сельскохозяйственным предприятиям Республики Мордовия на 2008 г.

Большая размерность и вариабельность исходных данных не дает возможности при построении модели использовать традиционные методы экономико-математического моделирования. Поэтому был разработан оригинальный математический аппарат, представляющий собой модернизацию метода структурной и параметрической идентификации имитационной модели [2].

Структурная идентификация представляет определение структуры и формирование системологического принципа осуществимости модели. Она включает процедуру ее агрегирования модели на основе учета только самых существенных свойств региональных систем сельского хозяйства, обуславливающих их устойчивость. 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 региональных систем сельского хозяйства при различных их состояниях.

Процедура параметрической идентификации имитационной модели в настоящее время методологически недостаточно разработана, и мы предлагаем 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 натурных экспериментов, принимаются те, при которых значения модельных характеристик региональных систем сельского хозяйства совпадают (с определенной точностью) с реальными значениями тех же характеристик объекта моделирования. Такой подход к идентификации параметров модели сводится к «пересчету» наблюдаемых в региональных системах народного хозяйства значений характеристик объекта в значения параметров модели, отображающих различные состояния устойчивости этих систем.

На начальном этапе определены коэффициенты значимости каждого показателя (в зависимости от их влияния на совокупную урожайность). На основе статистического анализа из общего набора первичных параметров оцениваемых подсистем формируется матрица исходных данных Q , которая используется для нахождения весовых коэффициентов (коэффициентов важности) каждого параметра.

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & \dots & Q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{m1} & Q_{2m} & \dots & \dots & Q_{mn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где m — номер оцениваемого параметра ($m = 1, 2, \dots$); n — количество территориальных единиц ($n = 1, 2, \dots$); Q_{mn} — величина m -го параметра n -й территориальной единицы. Первоначально принимается, что все параметры равнозначны, а коэффициенты их важности $K^{(1)}_{VES_{(j)}}$ равны величинам $K^{(1)}_{VES_{(j)}} = 1 + 1/m$. Исходя из полученных коэффициентов важности параметров, определяется первое приближение эффективности подсистемы:

$$Q_i^{(1)} = 1/m \sum_{j=1}^m X_{ij}. \quad (2)$$

Используя полученное первое приближение, вычисляется среднее значение первого приближения

$$Q_i = 1/n \sum_{i=1}^m Q_i^{(1)}. \quad (3)$$

Величина совпадения параметрической идентификации исходных данных и измененных характеристик регионально системы сельского хозяйства оценивается по величине подобия, которая вычисляется по формуле:

$$R_i^{(1)} = 1 - 1/n \sum_{i=1}^n \frac{X_{ij} - Q_i^{(1)}}{X_{ij} - Q_i^{(2)}}. \quad (4)$$

С учетом формулы (4) вычисляется второе приближение коэффициентов важности параметров:

$$K^{(2)}_{VES_{(j)}} = R_j^{(1)} / \sum_{j=1}^m R_j^{(1)}. \quad (5)$$

Затем вычисляется второе приближение полезности параметров:

$$Q_i^{(2)} = K^{(1)}_{VES_{(1)}} X_{ij}. \quad (6)$$

Далее рассчитывается второе приближение эффективности подсистемы:

$$Q_i^{(2)} = \sum_{j=1}^m Q_{ij}^{(2)}. \quad (7)$$

Вычисляется среднее значение второго приближения эффективности подсистемы:

Определяется величина разности первого и второго приближения:

$$\Delta Q_i^{(1)} = Q_i^{(2)} - Q_i^{(1)}, \quad \text{если } |\Delta Q_i| < s \text{ (где } s = 0,001) \quad (9)$$

Процесс нахождения параметрической идентификации заканчивается. Если условие (9) не выполняется, то осуществляется: 1) переход к пересчету $K^{(3)}_{VES_{(j)}}$, учитывая формулы (3), (4), (5); 2) затем по формулам (6), (7) вновь рассчитывается набор параметров $Q_i^{(3)}$. Этот цикл продолжается до выполнения условия:

$$|Q_i^{(s)} - Q_i^{(s-1)}| < \sigma, \quad (10)$$

где s — номер итерации, $s = 2, 3, \dots, n$.

Полученные выходные коэффициенты важности параметров отдельных компонентов далее используются для определения его величины. Для этого рассчитывается величина каждого параметра с учетом коэффициентов значимости:

$$F_{ij} = Q_{ij} K^{(n)}_{VES_i},$$

и их сумма: $\sum_{j=1}^n F_{ij} = A_i, i = 1, 2, \dots, n$.

Предлагаемый нами подход позволяет проектировать имитацию натуральных экспериментов и осуществлять их целенаправленно для параметрической идентификации получаемой агрегированной имитационной модели, что существенно повышает эффективность построения и адекватность получаемых модельных оценок изменения состояния и устойчивости региональной системы сельского хозяйства. Экономичность разработанного модельного решения связана с тем, что моделью учитывается и анализируется огромный объем информации о структуре и особенностях функционирования региональной системы сельского хозяйства.

Перед началом моделирования были выявлены коэффициенты значимости (важности) отдельных параметров, влияющих на целевую функцию региональной системы сельского хозяйства. Анализ степени влияния различных условий на продуктивность обрабатываемых земель 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 (сумма активных температур), условия увлажнения отрицательно влияют на продуктивность пахотных земель. Наибольшей продуктивностью отличаются региональные системы сельского хозяйства восточных районов с черноземными почвами (где коэффициент увлажнения ниже) по сравнению с более увлажненными западными частями Мордовии, где преобладают дерново-подзолистые и серые лесные почвы. В структуре земельных угодий решающее влияние на продуктивность сельского хозяйства оказывают размеры обрабатываемых угодий, из сельскохозяйственных культур наиболее значимы доли посевных площадей зерновых и пропашных культур.

На основе имитационных экспериментов с моделью выявлены механизмы формирования устойчивости региональных систем сельского хозяйства, обусловленные уровнем затрат антропогенной энергии (и их отдельных компонентов) и соотношением входящих в них структурных элементов.

На начальном этапе моделирования выявлялась степень влияния отдельных параметров на интегральный критерий устойчивости ре-

гиональной системы сельского хозяйства. Это позволило определить, изменение каких параметров в наибольшей степени влияет на продуктивность земель и их экономическую эффективность. Самой высокой устойчивостью отличаются региональные системы сельского хозяйства в пределах ландшафтов широколиственных лесов и лесостепи с черноземными почвами. Ареал высокой экономической эффективности сформировался также в пригородном районе, что объясняется как почвенным покровом, в составе которого преобладают черноземы выщелоченные, так и высоким уровнем интенсивности применяемых здесь систем земледелия и их высокой продуктивностью. Средний уровень устойчивости региональных систем сельского хозяйства характерен для зоны широколиственных лесов и лесостепи с преобладанием в составе почвенного покрова светло-серых, серых и темно-серых лесных почв. Наименьшие показатели экономической эффективности региональных систем сельского хозяйства наблюдаются в зоне смешанных лесов с дерново-подзолистыми почвами.

Таким образом, анализ территориальной дифференциации коэффициента эффективности экономических затрат показывает его тесную взаимосвязь с характером почвенного покрова, геоморфологическими условиями, а также социально-экономическими факторами — ЭГП, обеспеченностью трудовыми ресурсами, развитием транспортной инфраструктуры и др.

На следующем этапе моделирования выявлялось совокупное влияние различных факторов на эффективность экономических затрат в региональных системах сельского хозяйства. Специфика имитационных моделей заключается в возможности манипулирования значениями входными и управляющими параметрами в виде задания сценариев развития моделируемого объекта для оценки его функционирования в соответствии с этими сценариями в ходе компьютерных экспериментов с моделью. При большом количестве используемых в данной модели показателей и возможности их изменения в широких пределах существует неограниченное количество сценариев и их вариантов. Поэтому при отборе сценариев моделирования мы исходили из реальных возможностей развития сельского хозяйства республики, приоритетных направлений его совершенствования и имеющихся представлений об оптимальном функционировании

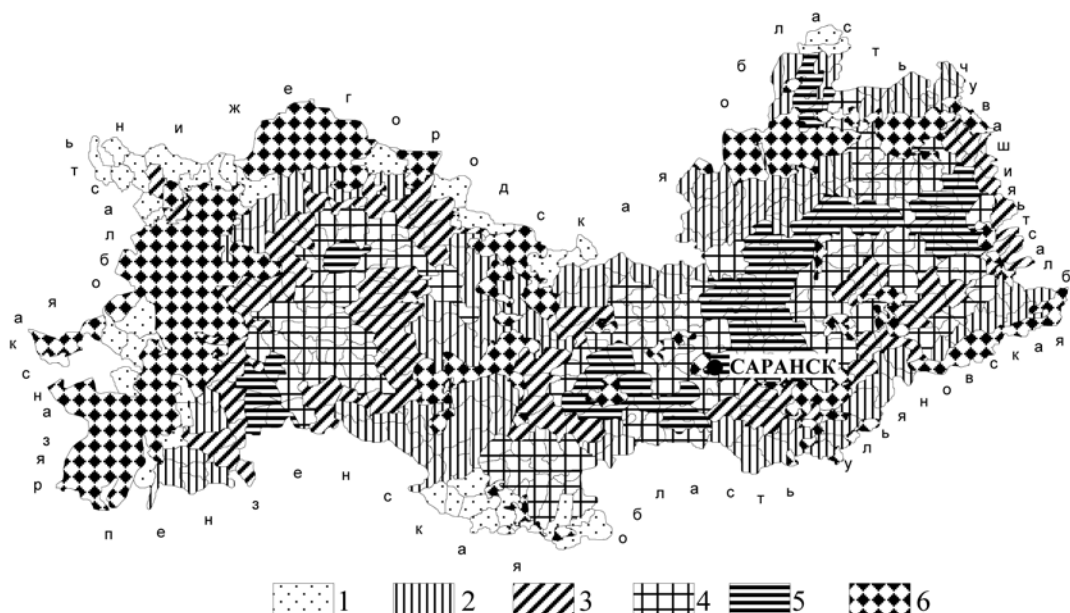


Рис. Результаты имитации по комплексному сценарию. Изменение критерия устойчивости, %: 1 — менее 86,0; 2 — 86,0 — 110,0; 3 — 110,1 — 134,0; 4 — 134,1 — 158,0; 5 — более 158,0; 6 — земли Гослесфонда

региональных систем сельского хозяйства. Все разрабатываемые сценарии были направлены на повышение устойчивости (достижение наибольшей экономической эффективности) региональных систем сельского хозяйства.

Было разработано четыре основных сценария развития моделируемого объекта: а) сценарий изменения структуры затрат антропогенной энергии; б) сценарий повышения почвенного плодородия; в) сценарий изменения систем использования земель; г) комплексный сценарий (изменение параметров во всех подсистемах) [1].

Остановимся более подробно на последнем сценарии, так как на эффективность функционирования и устойчивость развития региональной системы сельского хозяйства оказывает влияние вся совокупность природных и социально-экономических факторов, что и реализуется в этом сценарии.

В данном сценарии произведены следующие изменения исходных параметров. Все показатели затрат антропогенных затрат были увеличены: затраты на минеральные удобрения на 543%, затраты ручного труда на 8%, затраты на сельскохозяйственную технику на 165%, на топливо и горюче-смазочные материалы на 205, подготовку семян на 5%, электроэнергию на 3%. Показатели почвенного плодородия также были увеличены: кислотность на 10%, содержание подвижного калия на 25%, фосфора на 20%, гумуса на 11%, плотность почв на 8%. Структура земельного фонда была изменена за счет расши-

рения площадей обрабатываемых земель на 10%, лесов на 6% и уменьшения пастбищных угодий на 14%. Изменение посевных площадей выразилось в увеличении посевов зерновых культур (на 10%), многолетних трав (на 5%) и пропашных культур (на 5%) и уменьшении посевов однолетних трав на 10%. Расчетные показатели экономической эффективности региональной системы сельского хозяйства отличались очень сильной территориальной дифференциацией (рис.).

Повышение экономической эффективности региональных систем сельского хозяйства произошло во всех типах природной среды за исключением зоны смешанных лесов с дерново-подзолистыми почвами и районов распространения светло-серых и серых лесных почв различной степени щебнистости на юго-востоке республики. Наибольшее увеличение экономической эффективности региональных систем сельского хозяйства было характерно для ландшафтов широколиственных лесов и лесостепи с черноземами оподзоленными и выщелоченными — более 150%. Она закономерно понижалась при переходе в районы с серыми лесными почвами.

Все произведенные изменения направлены на повышение уровня интенсивности сельского хозяйства, и они оказываются достаточно эффективными на большей части Мордовии, что свидетельствует о недостаточно высоком уровне использования природного агропотенциала территории. На ограниченной части региона интенсификация приводит к снижению уровня

эффективности экономических затрат. Поэтому в этих районах необходимо пересмотреть сложившуюся территориальную организацию и специализацию сельского хозяйства в направлении внедрения менее интенсивных систем использования земель с большей долей многолетних и однолетних трав и развитие на этой основе животноводства, что будет способствовать более эффективному использованию природных и социально-экономических условий территории.

Таким образом, применение методов имитационного моделирования является весьма эффективным для решения территориальных проблем сельского хозяйства. На его основе могут быть разработаны наилучшие варианты измене-

ния территориальной организации сельского хозяйства и определены приоритетные территориально дифференцированные направления вложения инвестиций в аграрный сектор. Такими приоритетными направлениями в Республике Мордовия являются, прежде всего, химизация сельского хозяйства, повышение уровня его механизации, совершенствование систем использования земель, повышение плодородия почв и улучшение их экологического состояния. Аналогичные выводы делаются и при исследовании сельского хозяйства традиционными методами, однако математические модели позволяют дать не только качественное, но и количественное обоснование предлагаемых решений.

Список источников

1. Носонов А. М. Территориальные системы сельского хозяйства. Экономико-географические аспекты исследования. — М.: Янус-К, 2001. — 324 с.
2. Носонов А. М., Смольянов А. Г., Триханов Г. А. Экономико-географическое исследование агроэкосистем // Экономические, социально-политические и экологические аспекты исследования геосистем: межвуз. сб. научн. тр. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1997. — Вып. 1. — С. 36-51.
3. Пегов С. А., Хомяков П. М. Моделирование развития экологических систем. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 222 с.
4. Цатхланова Т. Т. Методические аспекты оценки и повышения эффективности сельскохозяйственного производства // Управление экономическими системами. — 2011. — № 9. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uecs.ru/makroekonomika/item/636-2011-09-22-08-51-19>.
5. Gold M. V. Sustainable agriculture: definitions and terms // National Agricultural Library Agricultural Research Service U. S. Department of Agriculture. 2007. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.NAL.USDA.gov/afsic/pubs/Terms/srb9902.shtml>.

Информация об авторе

Носонов Артур Модестович (Саранск, Россия) — доктор географических наук, доцент, профессор кафедры международного и регионального туризма, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева (430005 Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, д. 24, e-mail: artno@mail.ru)

A. M. Nosonov

Modeling of development of regional systems of agriculture of Republic Mordovia

This paper considers the development of regional systems of agriculture (on the example of the Republic of Mordovia) on the basis of the systemic approach. The original technique of modeling with use of the modernized method of structural and parametrical identification of simulation model is offered. The block diagram of model is represented, the inclusion into its structure of the corresponding components is substantiated: expenses of appliances and work, agroclimatic conditions, indicators of soil fertility, structure of the ground area and the use of processed lands. Coefficients of the importance of the separate parameters influencing criterion function of regional systems of agriculture are revealed. Areas with various economic efficiencies of arable grounds are shown and the factors determining these distinctions are opened. A model of mathematical simulation is developed, allowing to estimate the degree of influence of territorial structure of agriculture and socio-economic factors on the efficiency of regional systems of agriculture and to define various possible scenarios of their sustainable development on the basis of the chosen criterion of stability — of economic efficiency.

Keywords: regional systems of agricultural industry, modelling, method, scenario, simulation model, parametrical and structural identification

References

1. Nosonov A. M. (2001). Territorial'nye sistemy sel'skogo khozyaistva. Ekonomiko-geograficheskie aspekty issledovaniya [Territorial systems of agricultural industry. Economic and geographic aspects of the study]. Moscow, Yanus-K.
2. Nosonov A. M., Smol'yanov A. G., Trikhanov G. A. (1997). Ekonomiko-geograficheskoe issledovanie agroekosistem [Economic and geographic research of agricultural ecologic systems]. Ekonomicheskie, sotsial'no-politicheskie i ekologicheskie aspekty issledovaniya geosistem: mezhvuz. sb. nauchn. tr. [Economic, socio-political and environmental aspects of the study of geosystems: interacademic collected works]. Saransk, Mordovia University Publ., Issue 1, 36-51.
3. Pegov S. A., Khomyakov P. M. (1991). Modelirovanie razvitiya ekologicheskikh sistem [Modelling the development of economic systems]. Leningrad, Gidrometeoizdat.

4. *Tsatkhlanova T. T.* (2011). Metodicheskie aspekty otsenki i povysheniya effektivnosti sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Methodological aspects of evaluating and improving the efficiency of agricultural production]. Upravlenie ekonomicheskimi sistemami [Management of economic systems], 9. Available at: <http://www.uecs.ru/makroekonomika/item/636-2011-09-22-08-51-19>.

5. *Gold M. V.* (2007). Sustainable agriculture: definitions and terms. National Agricultural Library Agricultural Research Service U.S. Department of Agriculture. Available at: <http://www.NAL.USDA.gov/afsic/pubs/Terms/srb9902.shtml>.

Information about the author

Nosonov Arthur Modestovich (Saransk, Russiz) — Doctor of Geographical Sciences, senior lecturer, Professor of the Department of international and regional tourism, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (430005, Republic of Mordovia, Saransk, Sovetskaya St., 24, E-mail: artno@mail.ru).