

УДК 338.431.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФАКТОРОВ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Е.В. Стомба, к.э.н., доцент

г. Бирск, ФГБОУ ВПО Бирский филиал БашГУ

Исследования выполнены при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ «Разработка стратегии устойчивого развития сельских территорий Республики Башкортостан», проект № 14-12-02004 а/У.

Уже на рубеже 60-70 годов прошлого века мировая наука стала искать пути решения проблем устойчивого развития. Понимание этих проблем отразилось в принятии целого ряда международных документов, в том числе в решениях Конференций ООН по экологии и развитию (Рио-де Жанейро, 1992 г. и 2012 г.), сессии ФАО (Рим, 1996 г.), отдельных разработках подразделений Мирового Банка (январь, 2000 г.), Всемирном саммите по устойчивому развитию (ЮАР, 2002 г.). В последнее время отечественные экономисты все большее значение придают решению вопросов разработки концепции устойчивого развития аграрной сферы на региональном уровне и, в том числе, на уровне сельских территорий.

Необходимо подчеркнуть, что сельская территория представляет единую сложившуюся социально-экономическую систему, непосредственно регулирующую интересы как сельхозтоваропроизводителей, так и потребителей аграрной продукции. Экономика отдельной сельской территории составляет сложную производственную структуру, являющуюся важнейшим функционально-зависимым звеном региональной экономики. Устойчивое развитие (в зарубежной терминологии - sustainable development) сельских территорий требует разработки эффективной стратегии, обеспечивающей оптимальное решение различных социально-

экономических проблем, возникающих непосредственно на муниципальном уровне управления.

В современных условиях одним из путей повышения эффективности сельскохозяйственного производства, его устойчивости и конкурентоспособности является совершенствование структуры отраслей растениеводства и животноводства агроорганизаций. По мнению ведущих отечественных ученых, математиков-экономистов М. Браславца, Р. Кравченко, А. Аганбегяна, А. Гатаулина определение оптимальной структуры сельского хозяйства равносильно приросту продукции на 12 и более процентов [1, 2, 3, 4, 5].

Одним из наиболее эффективным средством определения оптимального сочетания отдельных отраслей агроорганизаций, устойчивости сельскохозяйственного производства является использование современных методов экономико-математического моделирования. Применение методов моделирования, как важнейшего методологического инструмента аграрной экономики, помогает осуществлять эффективное управление хозяйственной деятельностью агроорганизаций на уровне сельских территорий [6, 7]. Практическая реализация получаемых модельных решений позволяет обеспечить оптимальное распределение производственных ресурсов непосредственно в хозяйствах, существенно повысить эффективность аграрного производства и определить сбалансированный вариант устойчивого развития сельских территорий на перспективу

Важнейшим этапом разработки прогнозных моделей устойчивого развития сельских территорий является подготовка информационного обеспечения. Формированию информационного обеспечения принадлежит существенное значение в развитии методики формирования стратегии развития сельских территорий. Ключевым условием разработки информационного обеспечения моделей является обязательная идентификация составляющих параметров (структурных элементов). С помощью данного процесса идентификации обеспечивается уточнение

целого ряда входных модельных данных с использованием современных методов прогнозирования.

Ключевыми факторами конкурентоспособности агроорганизаций, отражающими устойчивое развитие сельскохозяйственного производства на уровне сельских территорий, являются урожайность культур и продуктивность животных. В настоящее время при прогнозировании этих ключевых показателей эффективности сельскохозяйственного производства, имеющих вероятностный характер, исследователям необходимо в большей степени применять методы математической статистики и теории вероятности, в том числе экстраполяционные и интерполяционные методы, методы эвристического прогнозирования, дисперсионный, корреляционно-регрессионный, факторный анализ, многомерный статистический (кластерный) анализ, метод группировок. Реализация современных методов прогнозирования особенно эффективна при использовании таких современных пакетов прикладных программ как Statistica и SPSS.

Вышеперечисленные инструменты решения проблемы информационного обеспечения модели необходимо применять в различных комбинациях. Это повышает качество используемой информации, увеличивает объективность, достоверность и вероятность прогнозируемых событий. Преимущества выбора этих методов выражаются в дешевизне проводимых вычислительных расчетов. При этом их использование ориентировано на прогнозировании преимущественно краткосрочного периода развития сельскохозяйственных организаций, что особенно актуально в часто меняющейся рыночной конъюнктуре отечественного рынка аграрной продукции.

В рамках разработки концепции устойчивого развития сельских территорий Республики Башкортостан нами составлены корреляционно-регрессионные модели прогнозирования урожайности зерновых культур и продуктивности коров для агроорганизаций Бирского муниципального района - одного из типичных районов Северной лесостепной зоны региона. В

качестве входных параметров моделей использовались ключевые экономические показатели, отражающие динамику развития агроорганизаций сельской территории за период с 2000 по 2012 гг. При разработке моделей ставилась задача определить прогнозируемую урожайность зерновых культур и продуктивность коров хозяйств сельской территории на краткосрочный период развития, а также выявить наиболее значимые факторы, влияющие на их уровень.

Корреляционно-регрессионная модель прогнозирования урожайности зерновых культур решена с использованием программного продукта Statistica. При составлении корреляционно-регрессионных уравнений, с помощью метода экспертных оценок, были рассмотрены 14 факторов, оказывающих определенное влияние на урожайность зерновых культур.

Обеспечение устойчивого развития агроорганизаций в пределах сельской территории предполагает повышение уровня производства сельскохозяйственной продукции. При этом, как отмечается целым рядом отечественных экономистов (А. Никонов, Б. Сорокин, В. Афанасьев), повышение уровня производства (роста устойчивости) аграрной продукции определяет также и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. Таким образом, применительно к составляемым экономико-математическим моделям, производственные функции (ПФ) позволяют вычислить прогнозируемые показатели урожайности в зависимости от сочетания различных факторов и выявить те факторы, которые существенно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур.

При оценке показателей устойчивости аграрного производства (трендов и коэффициентов колеблемости урожайности отдельных сельскохозяйственных культур, коэффициентов устойчивости, индексов корреляции) использовались производственные функции, позволяющие определять различные коэффициенты разрабатываемых моделей. Производственные функции представляют собой экономико-математические уравнения, объединяющие и связывающие результаты производства

сельскохозяйственной продукции с величинами затрат различных факторов, влияющих на производство. В общем случае, модель ПФ описывается уравнением $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где y - конечный показатель производства (результат), x_1, x_2, \dots, x_n - факторы производства.

Количественный и качественный анализ полученных результатов с использованием F-критерия позволил выделить семь производственных функций, наиболее полно соответствующих поставленной цели настоящего исследования. Остальные функции (в том числе степенная и показательная функции) были отсеяны в соответствии с низким коэффициентом детерминации, выражающим слабую корреляционную зависимость и табличным значением критерия Фишера, превышающим расчетные значения этого параметра.

Полученные в результате вычислений корреляционно-регрессионные уравнения представлены в следующем виде:

- линейная функция (1) :

$$\hat{y}_{ур.1} = - 10,42 + 0,03x_1 + 0,36x_2 + 0,16x_3 + 0,03x_4 + 1,85x_5;$$

- параболическая функция (полином 2-го порядка) (2) :

$$\hat{y}_{ур.2} = - 81,61 + 0,012x_1 + 7,79x_2 - 0,12x_2^2 - 0,24x_3 + 0,01x_3^2 + 0,03x_4 - 0,01x_4^2 + 2,72x_5 - 0,06x_5^2;$$

- корень-линейная функция (3) :

$$\hat{y}_{ур.3} = - 30,42 + 0,17x_1^{1/2} + 4,43x_2^{1/2} + 0,59x_3^{1/2} + 0,49x_4^{1/2} + 3,25x_5^{1/2};$$

- гиперболическая функция (4) :

$$\hat{y}_{ур.4} = 56,89 - 38,32/x_1^{1/2} - 75,77/x_2^{1/2} - 0,96/x_3^{1/2} - 48,26/x_4^{1/2} - 4,01/x_5^{1/2};$$

- линейно-логарифмическая функция (5) :

$$\hat{y}_{ур.5} = - 57,3 + 1,46\ln x_1 + 7,23\ln x_2 + 0,64\ln x_3 + 1,37\ln x_4 + 2,42\ln x_5;$$

- комплексная гипербола-логарифмическая функция (6) :

$$\hat{y}_{ур.6} = 364,28 - 131,99/x_1 - 0,11\ln x_1 - 3705,31/x_2 - 114,97\ln x_2 + 0,46/x_3 + 1,29\ln x_3 + 168,72/x_4 + 1,21\ln x_4 + 0,77/x_5 + 3,86\ln x_5;$$

- комплексная корень-линейно-логарифмическая функция (7) :

$$\hat{y}_{yp.7} = - 336,95 - 0,21x_1^{1/2} + 2,11\ln x_1 - 105,02x_2^{1/2} + 296,38\ln x_2 + 1,23x_3^{1/2} - 0,82\ln x_3 - 947x_4^{1/2} + 4,56\ln x_4 + 5,82x_5^{1/2} - 0,5\ln x_5,$$

где $\hat{y}_{yp.1-7}$ - урожайность зерновых культур агроорганизаций сельской территории, ц/га;

x_1 - фондооснащенность (стоимость основных производственных фондов сельскохозяйственного назначения на 100 га сельхозугодий), руб.;

x_2 - экономическая оценка пашни, баллов бонитета;

x_3 - удельный вес семян элиты и первой репродукции в общей массе посеянных семян зерновых культур, %.

x_4 - энергообеспеченность (наличие энергетических мощностей на 100 га сельхозугодий), л.с.;

x_5 - внесение минеральных удобрений д.в. на 1 га посева, кг.

Остальные восемь факторов, являющихся мультиколлинеарными, малодостоверными, малозначимыми и дублирующими друг друга, в соответствии с парными корреляционными критериями и критериями надежности Стьюдента (t-критериями) были последовательно исключены из представленных уравнений.

Соответствующие расчетные значения (коэффициенты корреляции R, детерминации R^2 , дисперсионного отношения Фишера F) для каждого корреляционно-регрессионного уравнения (1-7) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные показатели корреляционно-регрессионных уравнений (1-7)

Стандартный вид функции	R	R^2	F	ε , %
$\hat{y}_{yp.1} = a_0 + a_1x$	0,921	0,848	97,646	0,142
$\hat{y}_{yp.2} = a_0 + a_1x + a_2x^2$	0,902	0,814	76,187	0,213
$\hat{y}_{yp.3} = a_0 + a_1x^{1/2}$	0,857	0,734	57,474	0,396
$\hat{y}_{yp.4} = 1/(a_0 + a_1x^{1/2})$	0,812	0,659	31,941	0,515
$\hat{y}_{yp.5} = a_0 + a_1\ln x$	0,862	0,743	62,754	0,343
$\hat{y}_{yp.6} = a_0 + a_1/x + a_2\ln x$	0,883	0,779	73,197	0,284
$\hat{y}_{yp.7} = a_0 + a_1/x^{1/2} + a_2\ln x$	0,874	0,764	71,446	0,259

С целью оценки адекватности и выделения основного (базового) уравнения была рассчитана средняя ошибка аппроксимации:

$$\varepsilon = (1/n) * \sum_{i=1}^n (|y_i - \hat{y}_i| / y_i) * 100 \% \quad (8),$$

где n – число испытаний (наборов данных) для анализируемой совокупности;

$|y_i - \hat{y}_i|$ - модуль разности между фактическими и прогнозируемыми значениями результативного показателя;

y_i - фактическое значение результативного признака;

\hat{y}_i - расчетное (прогнозируемое) значение результативного признака.

На основании проведенных расчетов, среди уравнений (1-7) нами выделено линейное уравнение (1) с наименьшей ошибкой аппроксимации, для которого $\varepsilon_{ур1.} = 0,142 \%$. Предложенное уравнение обладает более высокой точностью по сравнению с другими уравнениями. Расчетное значение дисперсионного отношения Фишера $F_{расч.}$ значительно превышает $F_{кр.}$ при уровне значимости 0,05, что говорит об адекватности построенной корреляционно-регрессионной модели.

Коэффициент множественной корреляции уравнения (1) $R = 0,921$ является свидетельством очень высокой тесноты связи урожайности зерновых культур с факторами, вошедшими в уравнение. Коэффициент детерминации R^2 составил, соответственно, 0,848, то есть вариация урожайности зерновых культур агроорганизаций сельской территории на 84,8 % объясняется факторами, вошедшими в базовое уравнение.

Также была осуществлена проверка отсутствия автокорреляции в остаточной статистической последовательности по d -критерию Дарбина-Уотсона (D-W). Для линейной функции (1) критерий Дарбина-Уотсона $d = 2,12 (\approx 2)$, что показывает отсутствие автокорреляции и позволяет сделать вывод об адекватности построенной модели.

Прогнозные показатели урожайности зерновых культур рассчитываются с учетом сохранения в целом без изменений условий развития аграрной сферы сельской территории. При прогнозировании значений факторов $x_1 - x_5$, входящих в корреляционно-регрессионное уравнение (1), применялись

методы прогнозирования (экспоненциального сглаживания и скользящей средней), а также метод экспертных оценок. В дальнейших вычислениях эти значения подставлялись в базовое уравнение и рассчитывалась прогнозируемая урожайность зерновых культур для отдельных агроорганизаций сельской территории.

При экономико-математическом анализе полученных результатов с целью объединения сельскохозяйственных организаций в отдельные группы (кластеры), схожих между собой по целому ряду экономических показателей применяется агломеративный метод k-средних (k-means). В ходе предварительных расчетов все используемые для кластерного анализа данные были стандартизированы, то есть из каждого значения вычиталось среднее и производилось деление на корень квадратный из дисперсии.

В процессе кластеризации выделены три основных признака ($\hat{y}_{ур.1}$, x_1 , x_5), наиболее полно обеспечивающие объединение агроорганизаций в кластеры, на основе которых хозяйства сельской территории сгруппированы в четыре кластера (рис. 1).



Рис. 1. График средних значений выбранных признаков VAR 1 ($\hat{y}_{ур.1}$), VAR 2 (x_1), VAR 6 (x_5) для кластеров I – IV

При прогнозировании урожайности отдельных зерновых культур используются «коэффициенты соотношения», представленные, как отношение достигнутого уровня урожайности этих культур за 2000-2012 гг. к

средней урожайности зерновых культур по сгруппированным кластерам (табл. 2).

Таблица 2

Соотношения уровней фактической урожайности культур по кластерам

Зерновые и зернобобовые культуры	Номер кластера				В среднем по агроорганизациям сельской территории
	I	II	III	IV	
Зерновые	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Рожь озимая	1,01	1,37	1,06	0,94	1,12
Пшеница яровая	0,99	0,93	1,04	0,97	1,03
Ячмень	1,04	1,45	0,97	0,98	1,04
Овес	1,24	0,59	0,97	1,35	1,05
Гречиха	0,60	0,91	0,67	-	0,65
Вика	1,43	2,56	1,09	1,21	1,32
Горох	0,99	-	1,22	0,95	1,01

Аналогичные экономико-статистические вычисления проведены для расчета прогнозируемой продуктивности молочных коров. Полученные корреляционно-регрессионные уравнения представлены в следующем виде:

- линейная функция (8) :

$$\hat{y}_{пр1} = 2441,383 + 0,223x_6 - 3,216x_7 + 0,388x_8 - 0,012x_9;$$

- параболическая функция (9) :

$$\hat{y}_{пр2} = - 2935,09 - 1,92x_6 - 10,59x_7 + 0,02x_7^2 + 1,07x_8 - 0,17x_9;$$

- корень-линейная функция (10) :

$$\hat{y}_{пр3} = 2486,475 - 2,879x_6^{1/2} - 86,137x_7^{1/2} + 34,234 x_8^{1/2} - 2,363x_9^{1/2};$$

- гиперболическая функция (11) :

$$\hat{y}_{пр4} = 2423,1 + 1508,4/x_6^{1/2} + 8473,4/x_7^{1/2} - 59152,1/x_8^{1/2} - 7354,9/x_9;$$

- линейно-логарифмическая функция (12) :

$$\hat{y}_{пр5} = - 1696,71 - 75,41\ln x_6 - 493,7 \ln x_7 + 747,7\ln x_8 + 94,33 \ln x_9;$$

- комплексная гипербола-логарифмическая функция (13) :

$$\hat{y}_{пр6} = 26884 + 859/x_6 - 36\ln x_6 + 16684/x_7 - 213\ln x_7 + 6412671/x_8 + 834\ln x_8 + 1607184/x_9 + 338\ln x_9;$$

- комплексная корень-линейно-логарифмическая функция (14) :

$$\hat{y}_{\text{пр}7} = 71136 - 749x_6^{1/2} - 108\ln x_6 + 10409x_7^{1/2} + 151\ln x_7 + 29374x_8^{1/2} + 718\ln x_8 + 100100x_9^{1/2} + 675\ln x_9.$$

где $\hat{y}_{\text{пр}1-7}$ - продуктивность (среднегодовой надой от одной коровы), кг;

x_6 - стоимость ОПФ животноводства на 100 га сельхозугодий, руб.;

x_7 - величина прямых затрат труда в расчете на 1 корову, чел.-час.;

x_8 - затраты на оплату труда в расчете на 1 корову, руб.;

x_9 - затраты на корма в расчете на 1 корову, руб.

Соответствующие расчетные значения для каждого корреляционно-регрессионного уравнения (8-14) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчетные показатели корреляционно-регрессионных уравнений (9-15)

Стандартный вид функции	R	R ²	F	ε, %
$\hat{y}_{\text{пр}1} = a_0 + a_1x$	0,978	0,957	11,167	0,174
$\hat{y}_{\text{пр}2} = a_0 + a_1x + a_2x^2$	0,838	0,702	4,717	0,398
$\hat{y}_{\text{пр}3} = a_0 + a_1x^{1/2}$	0,865	0,748	5,946	0,387
$\hat{y}_{\text{пр}4} = 1/(a_0 + a_1x^{1/2})$	0,922	0,850	11,492	0,348
$\hat{y}_{\text{пр}5} = a_0 + a_1\ln x$	0,901	0,812	8,630	0,365
$\hat{y}_{\text{пр}6} = a_0 + a_1/x + a_2\ln x$	0,975	0,951	9,683	0,192
$\hat{y}_{\text{пр}7} = a_0 + a_1/x^{1/2} + a_2\ln x$	0,976	0,954	10,435	0,186

При проведении расчетов из полученных корреляционно-регрессионных уравнений выделено уравнение линейного типа ($\epsilon_{\text{пр}1} = 0,174\%$), наиболее полно, по статистическим характеристикам, выражающим зависимость факторов от результирующего признака (продуктивности коров). Расчетное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 выше табличного показателя. Индекс корреляции составил 0,978 и коэффициент детерминации полученного уравнения $R^2 = 0,957$, что свидетельствует о наличии высокой связи между результирующим признаком $\hat{y}_{\text{пр}}$ и выбранными факторными признаками $x_6 - x_9$.

При расчете прогнозируемой продуктивности коров использовались значения $x_6 - x_9$, полученные с помощью формализованных методов прогнозирования. В дальнейших вычислениях эти значения подставлялись в

базовое уравнение (8) и рассчитывалась прогнозируемая продуктивность молочных коров для каждой агроорганизации сельской территории. Четыре кластера, сформировавшихся в результате применения методов многомерного статистического анализа, позволяют выделять агроорганизации в пределах сельской территории в отдельные группировки и прогнозировать вероятностные показатели продуктивности коров на краткосрочный период развития (рис. 2).

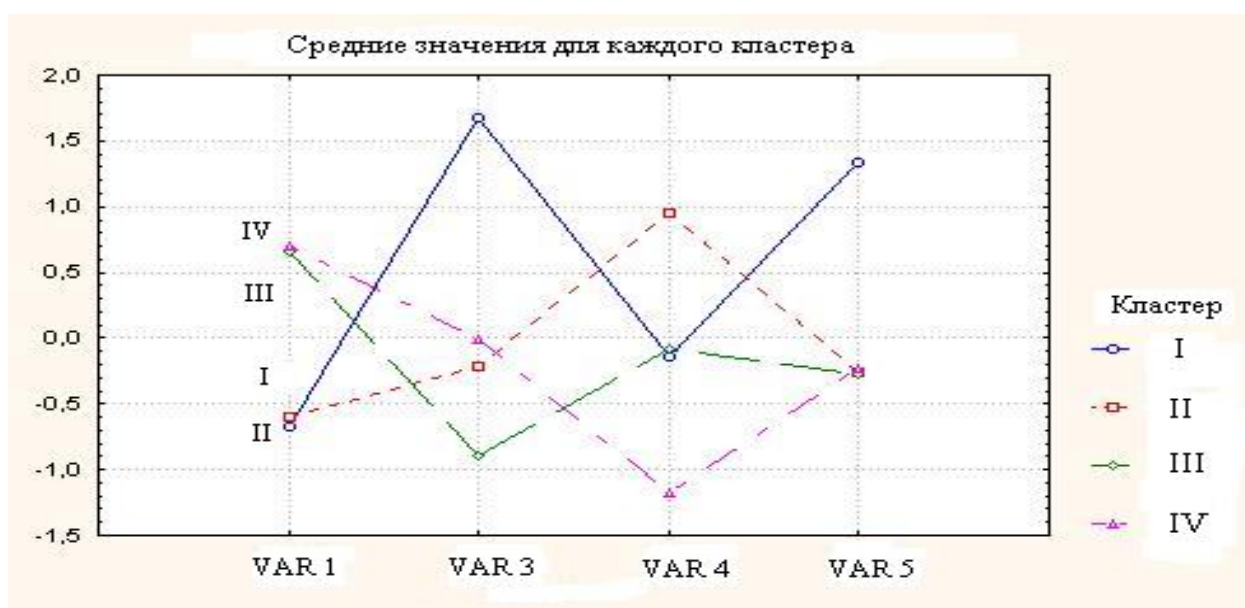


Рис. 2. График средних значений выбранных признаков VAR 1 ($\hat{y}_{пр1}$), VAR 3 (x_2), VAR 4 (x_3), VAR 5 (x_4) для кластеров I – IV

Проведенные исследования по прогнозированию таких ключевых экономических показателей, как урожайность культур и продуктивность коров в агроорганизациях базовой сельской территории позволяют сделать следующие выводы:

1. Сопоставление эмпирических (фактических) данных урожайности зерновых культур и продуктивности коров с соответствующими расчетными показателями определяет наличие резервов повышения урожайности в девяти сельскохозяйственных организациях и, соответственно, увеличения продуктивности – в восьми сельскохозяйственных организациях. То есть, имеющийся в значительной части хозяйств сельской территории ресурсный

потенциал используется не полностью, и существуют реальные возможности повышения экономической эффективности производства.

2. Повышение урожайности зерновых культур прогнозируется в десяти хозяйствах, ее снижение – в одном хозяйстве. При этом, в одном хозяйстве уровень урожайности останется без изменения ($\hat{y}_{\text{факт.}} = \hat{y}_{\text{прогн.}}$). В среднем по сельской территории прогнозный прирост урожайности зерновых культур составит 8,9 %.

3. В восьми агроорганизациях сельской территории прогнозируется увеличение продуктивности коров (в среднем прирост продуктивности 10 %). В остальных хозяйствах продуктивность снизится. В среднем по агроорганизациям снижение составит 8,9 % от фактического уровня продуктивности коров.

Таким образом, использование современных методов эконометрического моделирования помогает эффективно определять количественные показатели, выражающие устойчивость аграрного производства на уровне сельской территории. Важно подчеркнуть, что рассмотренные в настоящей статье методические аспекты по прогнозированию перспективных показателей функционирования агроорганизаций могут быть применены при разработке стратегии устойчивого развития для других сельских территорий Республики Башкортостан и регионов Российской Федерации с аналогичными условиями развития.

Литература

1. Аганбегян А.Г., Багриновский К.А., Гранберг А.Г. Система моделей народнохозяйственного планирования. - М.: Наука, 1972. - 351 с.
2. Браславец М.Е. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства. - М.: Экономика, 1971. - 358 с.

3. Браславец М.Е., Кравченко Р.Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1972. - 589 с.
4. Гатаулин А.М. Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. Часть 1. - М.: МСХА, 1992. - 160 с.
5. Гатаулин А.М. Введение в теорию систем и системный анализ. - М.: Издательство РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. - 192 с.
6. Стомба Е.В. Экономико-математическое моделирование сценариев развития сельских территорий региона: Монография. - М.: Экономика, 2013. – 166 с.
7. Стомба Е.В. Сценарное моделирование развития экономики сельских территорий Республики Башкортостан: Монография. - М.: Издательство «Перо», 2012. - 155 с.