

УДК 330.173.34

СПЛАЙН-ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ОСНОВНЫХ РИСК-ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ¹

Кумратова Альфира Менлигуловна, канд. экон. наук, доц.

Кубанский государственный аграрный университет, Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: alfa05@yandex.ru

Цель: в настоящей статье исследованы законы повторяемости «вторичного» признака (урожайности озимой пшеницы) в зависимости от «первичных» признаков (солнечной активности, количества осадков, температуры окружающей среды) оригинальными методами Фурье-синхронизма В.А. Тартаковского, найдены доли этих периодических взаимодействий и использованы при генерации многомерного обобщенного прогноза. *Обсуждение:* для анализа и прогнозирования временных рядов урожайности зерновых, поиска, визуализации, математического описания и расчёта циклов автором разработаны и предложены непрерывные сплайновые полиформные кусочно-аппроксимационные модели, отличающиеся от известных в литературе мономоделей и метода наименьших квадратов аналитичностью и приспособленностью к системам с изменяющейся структурой; представлены результаты в фазовом пространстве, определены топологические и метрические характеристики циклов (начало, конец, длина, размахи по переменной и её первой производной и пр.). *Результаты:* автором адаптирован и усовершенствован комплекс социально-экономических математических моделей с учетом риск-факторов, который является главной составляющей многокритериального подхода с прямыми методами поддержки принятия решений по безопасности инвестиций (определение и уменьшение рисков) в АПК.

Ключевые слова: сплайн, числа Вольфа, урожайность озимой пшеницы, фазовое пространство, риск-фактор.

DOI: 10.17308/meps.2018.05/1891

Введение

В настоящей статье представлено понятие «цикличности», опишем данное понятие математически. Составляя часть успешно разрабатываемой

¹ Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-06-00354, № 16-06-00158.

теории, называемой разными исследователями ритмологией, циклизмом, осцилляцией, повторяемостью, волнообразностью, ритмичностью, «колеблемостью», цикломатикой, циклологией, теорией делового цикла и пр., цикличность обращается к процессам, протекающим повсюду в природе. Это вращение небесных тел, циклическое движение заряженных частиц в атомах и в электромагнитных полях, звуковые и световые волны, солнечная активность, волны в океане, водовороты в реке, повторяемость социально-экономических процессов, сезонность сельского производства [3, 10, 4, 12, 5].

Методология исследования

Математически основная задача теории аппроксимации формулируется следующим образом: на некотором точечном множестве \mathcal{D} в пространстве произвольного числа переменных заданы две функции $f(P)$ и $F(P; A_1, A_2, \dots, A_N)$ от точки $P \in \mathcal{D}$, из которых вторая ещё зависит от некоторого числа параметров A_1, A_2, \dots, A_N ; эти параметры требуется определить так, чтобы уклонение в \mathcal{D} функции $F(P; A_1, A_2, \dots, A_N)$ от функции $f(P)$ было наименьшим. При этом надо указать, что понимать под уклонением F от f или, как ещё принято говорить, под «расстоянием» между F и f . Определим, что $f(P)$ – «решётчатая» функция на N точках (например, таблица урожайности по годам), $F(P; A_1, A_2, \dots, A_N)$ некоторый полином N -й степени с *a posteriori* определяемыми параметрами A_1, A_2, \dots, A_N .

Отметим главные достоинства сплайн-аппроксимации. Сплаины «подвижные и гибкие» [1], непрерывные и гладкие вместе со своими производными, эффективные, всегда существуют, единственны, сходятся быстро и равномерно, аналитичны, мал порядок аппроксимирующего полинома, адекватно представление ими систем с переменной структурой, инвариантна внутренняя структура, удобная замена рядов Фурье при моделировании периодических движений, сохранение временного показателя каждого дискретного отсчёта, прохождение сплайна точно через узловые точки делает его точность абсолютной и отменяет операцию минимизации в методе наименьших квадратов. Для сплайна характерны простота вычислений, сплайн хорошо проявил себя в фазовом анализе [3, 7] и параметрическом построении взаимосвязей, он не критичен к величине и вариативности шага, восстанавливает пропущенные значения.

Следующим этапом исследования становится выяснение причин, вызывающих циклические движения урожайности. Философские и математические способы описания паттернов причинно-следственных связей мы находим у В.А. Тартаковского [11], который впервые предложил «принцип Фурье-синхронизма», позволяющий выделять направления, по которым происходят наибольшие изменения в пространстве исходных величин. Найденные векторы образуют новое пространство, в котором облако точек, представляющих состояние изучаемой системы, располагается оптимально, что даёт основания для формирования других основных факторов и уменьшения размерности задачи.

О работах В.А. Тартаковского грубо можно сказать, что в них определяется доля спектрального состава «вторичного» сигнала (урожайности в нашем случае) от спектрального состава некоторого «первичного» источника. В частности, в его работах по дендрохронологии полагается, что внешнее вынуждающее воздействие инициирует, регулирует и синхронизирует природно-климатические процессы. Солнце вносит решающий вклад в сложную пространственную структуру, комплексной характеристикой его активности служат числа Вольфа. У В.А. Тартаковского вводятся ортогональные составляющие процессов с совпадающими и несовпадающими существенными признаками – это *CS*- и *NS*-составляющие рядов чисел Вольфа (и остальных возмущающих параметров) и исследуемого процесса («урожайности»), отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков. Парные отношения между *CS*-составляющими рядов чисел Вольфа, осадков и температуры среды и рядов урожайности можно интерпретировать как приток энергии (от Солнца, например), а между *NS*-составляющими – как сток энергии. В нашем исследовании существенными «первичными» погодно-климатическими источниками, влияющими на урожайность зерновых, кроме Солнца, солнечной активности (инсоляции), чисел Вольфа и цикличности инсоляции могут быть количество осадков, цикличность количества осадков или относительной влажности воздуха, цикличность температуры окружающей среды и поверхности земли, включая возможные периодические возвраты ранних заморозков.

Обсуждение результатов

Идея, что урожайность зерновых циклически следует числам Вольфа, или, другими словами, 11-летнему циклу солнечной активности, достаточно долго была в повестке дня. Правда, цикличность солнечной активности – весьма сложное понятие. В 1843 г. немецкий астроном С.-Г. Швабе открыл периодичность числа пятен, находящихся на Солнце – 11-летний цикл. В действительности период цикла в среднем равен 10,5 года, при этом расстояние между экстремумами цикла заметно меняется от цикла к циклу – от 7,3 до 17,1 лет – между максимумами, от 9 до 13,6 лет – между минимумами. Эта идея проросла предложениями, что «циклы урожайности сельскохозяйственных культур тесно связаны с циклами солнечной активности», периоды которой считаются «достаточно известными и постоянными». А это уже не так, раз сами длины циклов далеки от постоянства. Все сплайн-аппроксимации построены в системе компьютерной математики MAPLE 19.0.

Поскольку полученные в исследовании длины циклов урожайности озимой пшеницы (2-9 лет) [10, 8, 7, 9] заметно меньше 11-летних длин астрономических циклов солнечной активности, то это следует объяснить тем, что в последние десятилетия урожайность «сбилась» с солнечного цикла. Она в большей степени зависит от цикличной интенсивности выпадения осадков осенью, зимой и весной в оптимальные для урожайности озимых посевов сроки. Заметным стало влияние на цикличность урожайности ци-

кличности температуры почвы и окружающей среды. Частные случаи этой многокритериальной зависимости давно использует известный гидротермический коэффициент (*HTKS*) Селянинова, связывающий сумму осадков (P) за соответствующий период – в мм – с суммой температур (T) – в градусах – за тот же период, для яровых культур он считается со второй декады апреля до текущего момента:

$$HTKS = \frac{\sum P_i}{0,1 \times \sum T_i}, \quad i = 1..N.$$

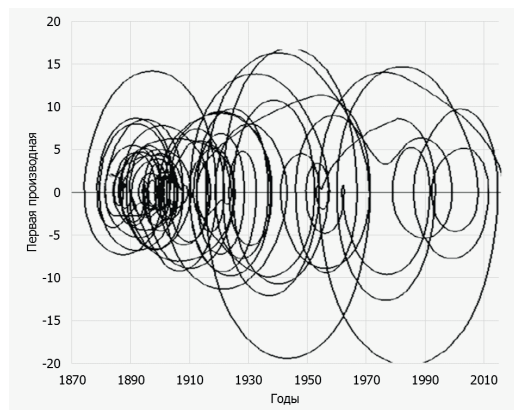


Рис. 1. Интегральный фазовый портрет динамики урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае с 1870 по 2015 г. Видно, что урожайность принципиально циклична. Цикл является некоторым повторяющимся «блоком» динамики, так что достройкой нового «кругового» блока или цикла можно прогнозировать на несколько лет вперед в отличие от прогнозирования на 1 год или от внутригодового программирования урожайности. Круговорот циклов, перемещающихся слева направо по оси абсцисс от 2.1 до 40.2 ц/га с интегральным увеличением урожайности

Особенность непрерывного фазового подхода состоит в комплексном представлении социально-экономической динамики на фазовой плоскости с осями «показатель» и «его первая производная». В классической экономической цикломатике утверждается, что «Общее решение $Y = Y(t)$, $Y' = Y'(t)$ (где Y' – первая производная) некоторых уравнений может быть представлено геометрически семейством ориентированных фазовых траекторий на фазовой плоскости OYY' ».

Поэтому «истинным» фазовым портретом будем называть построенную на фазовой плоскости кривую, представляющую собой зависимость первой производной $Y'(t)$ некоторой непрерывной функции $Y(t)$ от самой этой же функции $Y(t)$, время t играет роль параметра. Можно составить энциклопедию фазовых образов экономической динамики. На фазовом портрете отрезок прямой, параллельный оси переменной $Y(t)$, на временной картине представляет собой монотонно растущую от времени прямую. Замкнутая кривая фазового портрета указывает на периодические колебания переменной $Y(t)$, расширяющаяся спираль свидетельствует о росте амплитуды колебаний со временем, «сворачивающаяся» спираль соответствует затуханию колебаний [1, 3, 6].

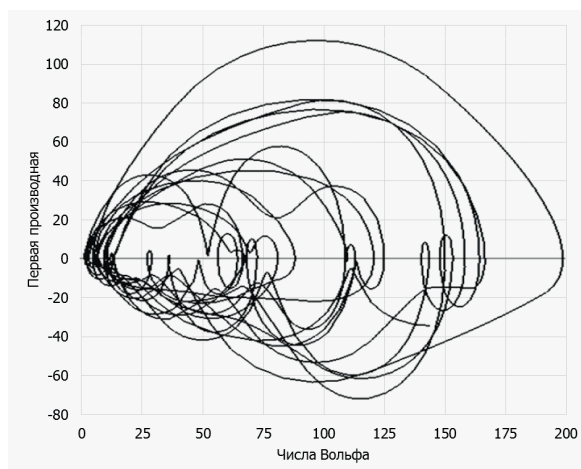


Рис. 2. Фазовый портрет среднегодового «календарного» показателя солнечной активности (числа Вольфа) с 1870 по 2015 г. Цикличность характерна для этого показателя, как и для урожайности озимой пшеницы, но в отличие от цикличности урожайности, которая во времени, интегрально увеличиваясь, смещает кольца картинку вправо, фазовая картинка чисел Вольфа в среднем стабильна и графически остаётся «на одном и том же месте»



Рис. 3. Фрагмент фазового портрета циклической картины инсоляции (чисел Вольфа) в 2000-2015 г. Видны конец XXIII и середина XXIV солнечных циклов, период последнего считается в точке $x=5$ $2015.8-2004.7=11.1$ г., в точке $x=3$ $2014.3-2003.7=10.6$ г. с паразитным циклом $2015.8-2014.3=1.5$ г.

На рис. 1 поставлены параметрические точки первого и последнего года наблюдения, чтобы увидеть начало и окончание интегральной фазовой кривой и попытаться аналитически и графически прогнозировать течение процесса. Цикличность внутренне присуща урожайности озимой пшеницы (данные за 146 лет), даже если мы не знаем вызывающих её причин. Фазо-

вое представление позволяет вычленять циклы из дискретных временных рядов, определять их метрические (начало, конец, длину, период, радиусы и диаметры по самой переменной и её первой производной) и топологические характеристики.

На рис. 4 приведена сравнительная характеристика кривых урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае и солнечной активности в 2000-2015 гг. Совпадение этих кривых или какая-то их корреляция хотя бы по экстремумам является мифом. На фазовых портретах удаётся отобразить и посчитать все циклические части, в том числе и паразитные. «Истинный» цикл точен, т.к. он замыкается в точке, в которой совпадают не только значения искомой переменной от разных ветвей цикла, но и значения её первой производной. Минимумы урожайности в 2000 и 2012 гг. попадают на максимумы солнечной активности.

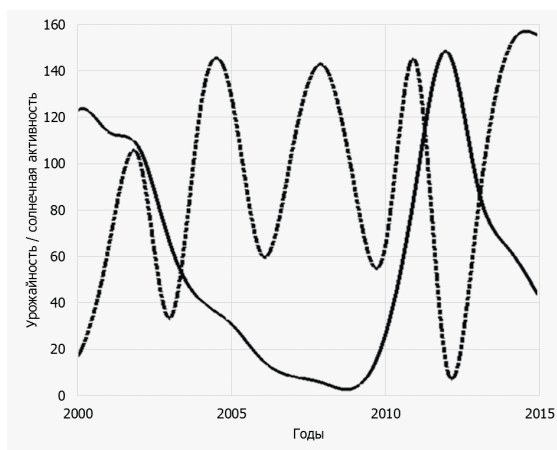


Рис. 4. Сравнительный анализ совмещённых кривых динамики урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае (пунктир) и частей XXIII (окончание) и XXIV (начало и середина) циклов солнечной активности (сплошная) в 2000-2015 гг. Начало и конец солнечного цикла считается по его минимумам, длина цикла – по расстоянию между ними. Числовые значения урожайности Y находятся через проставленные на оси ординат значения чисел Вольфа W в соответствующие годы по формуле $Y = (W+170)/8$. Отсутствие корреляции между кривыми или их экстремумами

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

В качестве дополнительного примера приведём фазовые портреты выпадения апрельских осадков в Ставрополе в 1990-2015 гг. (в соответ-

ствии с рис. 5). Интенсивность выпадения осадков влияет как на абсолютную величину урожайности озимой пшеницы, так и на её цикличность.

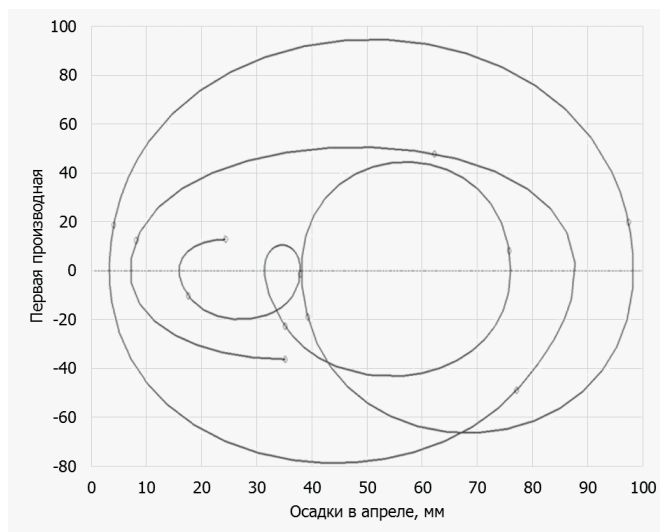


Рис. 5. В фазовом пространстве представлены циклы выпадения весенних (месяц апрель) осадков в Ставрополе в 2000-2015 гг. (MAROON) с минимумом в 2003 г.

Заключение

Особенности выращивания яровых или озимых культур заставляют тщательнее относиться к работе с таблицами. Например, сравнение урожайности в N -м году со среднегодовым W числом Вольфа в N -м же году неправомерно, поскольку солнечная активность и, соответственно, её ультрафиолетовая составляющая действуют на озимое растение с урожаем в N -м году в период с августа $N-1$ -го года по июль N -го года. В исследовании суммарное значение W^* («озимое» число Вольфа) подсчитывается для урожая N -го года по таблицам месячных W в указанном (с августа $N-1$ -го года по июль N -го года) периоде. Такие значения чисел Вольфа назовём «озимыми» в отличие от «календарных» – от января до декабря включительно. Нетрудно заметить, что таким же образом надо считать «яровые» годовые числа Вольфа – W^{**} – как сумму месячных чисел Вольфа от мая до сентября искомого года, разница между тремя числами может оказаться значительной. Аналогично обстоит дело с осадками – сумма помесечных осадков для озимого урожая N -го года должна измеряться и суммироваться по среднемесячным осадкам с августа $N-1$ -го года по июль N -го года, а для ярового урожая – от мая до сентября. На рис. 1 хорошо просматриваются многочисленные «правильные» фазовые циклы урожайности. Длины циклов сокращаются при приближении к 2015 г., выделено большое число замыканий циклов в отрезке 2000-2015 гг.

Список источников

1. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. *Теория сплайнов и её приложения*. Москва, Издательство «Мир», 1972.
2. Винтизенко А.М., Винтизенко И.Г. Особенности сплайн-прогнозирования экономического поведения // *Обозрение прикладной и промышленной математики*, 2007, т. 14, no. 6, с. 1096-1097.
3. Винтизенко И.Г., Яковенко В.С. *Экономическая цикломатика*. Москва, Финансы и статистика. Ставрополь, АГРУС, 2008.
4. Давнис В.В., Коротких В.В., Юрова Я.А. Регрессионно-матричная модель многомерных экономических процессов // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2016, no. 11 (83), с. 19-29.
5. Давнис В.В. Экономический анализ финансовой устойчивости организации с использованием прогнозных моделей // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2012, no. 2 (26), с. 33-44.
6. Ильясов Р.Х. Сплайн-анализ «тонкой» структуры взаимозависимости экспортных цен на природный газ и нефть // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*, 2008, no. 6 (68), с. 348-352.
7. Кумратова А.М. Точный прогноз как эффективный способ снижения экономического риска агропромышленного комплекса // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2014, no. 103, с. 293-311.
8. Кумратова А.М. *Прогноз динамики экономических систем: клеточный автомат*: монография. Краснодар, КубГАУ, 2015.
9. Кумратова А.М. и др. Прогностическое исследование природно-экономического процесса // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*, 2016, no. 116, с. 1454-1466.
10. Кумратова А.М. и др. Модифицированная система моделей и методов прогнозирования временных рядов с памятью // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2015, no. 1 (61), с. 8-19.
11. Тартаковский В.А. Влияние солнечной активности на температуру в приземном слое // *Оптика атмосферы и океана*, 2016, т. 29, no. 11, с. 972-979.
12. Ткаченко В.В., Великанова Л.О. Модели и методы совершенствования управления производством зерна в условиях северной зоны Краснодарского края // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*, 2008, no. 37, с. 104-123.

SPLINE TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF THE KEY RISK FACTORS OF FORECAST QUALITY FOR WINTER WHEAT YIELD

Kumratova Alfira Menligulovna, Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Prof.

Kuban State Agrarian University, Kalinina str., 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: alfa05@yandex.ru; elena-popov@yandex.ru

Purpose: the author researches the repeatability laws of the «secondary» feature (winter wheat's yield) in relation to the «primary» features (solar activity, precipitation, ambient temperature) with the use of original methods of Fourier-synchronism of V.A. Tartakovskiy in this paper. In addition, the author determines the shares of these periodic interactions and uses it in the generation of multidimensional generalized forecast.

Discussion: the author developed and offered continuous spline polyforme piecewise approximation models for the analysis and forecast of the yield of grain, search, visualization, mathematical description and calculation of cycles. These models are different from the known in the literature momomodels and the least squares method analytic and suitability to systems with variable structure. Besides, the author considers the results in phase space, defines the topological and metrical characteristics of the cycles (start, end, length, scale variable and its first derivative, etc.).

Results: the author adapted and improved the complex of socio-economic mathematical models subject to risk factors. This complex is the main component of the multicriteria approach with direct decision support methods for investment safety (definition and risk reduction) in agriculture.

Keywords: spline, Wolf numbers, winter wheat's yield, phase space, risk factor.

References

1. Alberg J., E. Nilsson, J. Walsh. *Theoriya splaynov i yeyo prilozheniya* [The splines theory and its applications]. Moscow, Publ. Mir, 1972. (In Russ.)
2. Vintizenko A.M. Osobennosti splayn-prognozirovaniya ekonomicheskogo povedeniya [Features of spline forecasting in economic behavior]. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki*, 2007, no. 6, pp. 1096-1097. (In Russ.)
3. Vintizenko I.G., Yakovenko V.S. *Ekonomicheskaya ciklomatika* [Economic cyclomatics]. M.: Finance and Statistics, Stavropol, AGRUS, 2008. (In Russ.)
4. Davnis V.V., Korotkikh V.V., Yurova Ya.A. Regressionno-matrichnaya model mnogomernykh ekonomicheskikh processov [Regression-matrix model of multidimensional economic processes]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniia*, 2016, no. 11 (83), pp. 19-29. (In Russ.)
5. Davnis V.V. Ekonomicheskiy analiz finansovoy ustoychivosti organizatsii s ispolzovaniem prognoznih modeley [Economic analysis of financial stability for the organization with the use of forecast models]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniia*, 2012, no. 2 (26), pp. 33-44. (In Russ.)
6. Ilyasov R.Kh. Splayn-analiz «tonkoy»

strukturi vzaimozavisimosti exportnih cen na prirodniy gaz i neft [Spline analysis of the «fine» structure of the export prices interdependence for natural gas and oil]. *Nauchno-tehicheskie vedomosti St. Petersburgskogo GPU*, 2008, no. 6 (68), pp. 348-352. (In Russ.)

7. Kumratova A.M. Tochniy prognoz kak effektivniy sposob snizheniya ekonomicheskogo riska APK [Exact forecast as an effective way to reduce the economic risk of the agro-industrial complex]. *Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy zhurnal KubGAU*, 2014, no. 103, pp. 293-311. (In Russ.)

8. Kumratova A.M. Prognosticheskoe issledovanie prirodno-ekonomicheskogo processa [Predictive study of the natural and economic process]. *Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy zhurnal KubGAU*, 2016, no. 116, pp. 1454-1466. (In Russ.)

9. Kumratova A.M. Prognoz dinamiki ekonomicheskikh system: kletochiy avtomat [Forecast of the economic systems dynamics: cellular automaton]:

monographia, KubGAU, 2015. (In Russ.)

10. Kumratova A.M. Modificirovannaya sistema modeley I metodov prognozirovaniya vremennih ryadov s pamyat'yu [Modified system of models and methods for prediction of time series with memory]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2015, no. 1 (61), pp. 8-19. (In Russ.)

11. Tartakovskii V. A. Vliyanie solnechnoy aktivnosti na temperaturu v prizemnom sloe [The influence of solar activity on the temperature in the surface layer]. *Optika atmosfery i oceana*, 2016, no. 11, pp. 972-979. (In Russ.)

12. Tkachenko V.V. Modeli I metodi sovershenstvovaniya upravleniya proizvodstvom zerna v usloviyah severnoy zoni Krasnodarskogo kraya [Models and methods for improving the management of grain production in the northern zone of the Krasnodar Territory]. *Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy zhurnal KubGAU*, 2008, no. 37, pp. 104-123. (In Russ.)