

УДК 519.25:338.43:633:1

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ЗЕРНОВОЙ ОТРАСЛИ АПК ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Тютюников Александр Александрович¹, канд. экон. наук, доц.
Куксин Сергей Владимирович², асп.

¹ ФГБНУ НИИЭОАПК ЦЧР России, ул. Серафимовича, 26а, Воронеж, Россия, 394042;
e-mail: tytnn@rambler.ru

² ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, 1, Воронеж, Россия, 394087; e-mail:
kuksin.sergej@yandex.ru

Цель: статья посвящена вопросам использования стохастического методического инструментария для долгосрочного прогнозирования производства зерна на региональном уровне. *Обсуждение:* инструментарий предлагается формировать в виде совокупности вероятностных моделей основных показателей зернопроизводства, многократная реализация которых позволяет получить статистические характеристики параметров развития зерновой отрасли, на основе которых разрабатываются альтернативные сценарии. В рамках предлагаемой методики на основе кластерного анализа проводится группировка муниципальных районов региона, имеющих схожие картины динамики урожайности зерновых в долгосрочном периоде. Для каждой из выделенных групп составляется карта направленности отклонений от предиктивных значений урожайности, полученных на основании анализа временных рядов. Карты отклонений используются для моделирования псевдослучайных механизмов колебания урожайности в будущем, учитывающих, в том числе устойчивые повторяющиеся ситуации (паттерны) групповых и общих тенденций. Прогнозирование динамики уборочных площадей зерновых культур предлагается осуществлять на основе двух компонентов: трендовых моделей временного ряда и вероятностных моделей колебаний, в том числе – с учетом характеристик ранее наблюдавшихся отклонений. На основе прогнозов урожайностей и уборочных площадей по методу Монте-Карло формируется множество альтернативных прогнозов параметров развития зерновой отрасли. Статистическая обработка полученной совокупности данных позволяет интерпретировать параметры прогноза в целом, выделяя различные сценарии развития. *Результаты:* разработанная на основе предлагаемой методики имитационная вероятностная модель прогно-

зирования параметров развития зерновой отрасли апробирована на данных зернового подкомплекса Воронежской области за 1976-2016 гг.

Ключевые слова: производство зерна, прогнозирование урожайности зерновых, вероятностное имитационное моделирование, зерновой баланс.

DOI:

1. Введение

Прогнозирование параметров долгосрочного функционирования зернопроизводства в Воронежской области является достаточно сложной задачей ввиду влияния ряда факторов: принадлежности территории региона к зоне рискованного земледелия, различия агроклиматических условий в муниципальных районах, нестабильной и разнонаправленной ценовой конъюнктурой зерна различных культур, продолжающихся процессов аграрной трансформации. Зерновая отрасль характеризуется существенными ежегодными колебаниями урожайности и посевных площадей, следовательно – нестабильностью объема производства зерновой продукции в целом. Несмотря на то, что регион традиционно является зерновывозящим, колебания показателей зернопроизводства могут негативным образом влиять на процессы его развития, на состояние регионального рынка зерна, а также на устойчивость функционирования сельскохозяйственных товаропроизводителей [3].

Трудность надежного прогнозирования урожайности зерновых культур в Воронежской области как в краткосрочном, так и долгосрочном периоде подтверждается характером ее временных рядов, демонстрирующих существенный размах отклонений от среднего уровня. В силу этого трендовые модели позволяют увидеть в лучшем случае некую базовую тенденцию изменения урожайности – долгосрочные рост или снижение, практически не объясняя дисперсию временного ряда [5, 12]. Например, модель временного тренда урожайности озимых и яровых культур в Воронежской области в 1976-2016 гг. имеет коэффициент детерминации всего 16,2%, зерновой кукурузы – 43,6%, зернобобовых – 9,3%. Таким образом, прогнозы урожайности, построенные на использовании исключительно временной компоненты, скорее всего, окажутся ненадежными для каждого конкретного будущего периода.

Моделирование зависимости урожайности от прочих факторов также является проблематичным ввиду того, что в рассматриваемый период коренным образом изменились не только хозяйственный уклад, но и материально-техническая база, технологии производства, рыночные условия. Таким образом, материальные факторы имеют совершенно различное влияние на различных участках временного ряда. Например, рост урожайности зерновых в 1980-е гг. сопровождался ростом уровня машиноемкости сельского хозяйства, а в 2000-е гг. – наоборот, его снижением. Кроме того, не следует забывать, что существенное влияние имеют природно-климатические фак-

торы, проявления которых носит вероятностный характер и не могут быть удовлетворительно предсказаны за пределами краткосрочного периода.

2. Методика исследования

В условиях вероятностного характера основных параметров развития зерновой отрасли АПК региона, учитывая также дефицит достоверной статистической информации, в данной работе предлагается использовать инструменты долгосрочного стохастического прогнозирования. Они основаны на разработке вероятностных моделей динамики основных показателей зернопроизводства (урожайности, уборочной площади, валового сбора, потребления и движения продукции). Многократная реализация предлагаемых моделей позволит получить статистические характеристики прогноза функционирования зерновой отрасли в долгосрочном периоде, что позволит сформировать и оценить сценарии ее развития.

Учитывая неоднородность агроклиматических условий на территории Воронежской области, в качестве основного элемента эмпирической базы прогнозирования развития зерновой отрасли предлагается использовать временные ряды показателей урожайности и уборочных площадей, детализированных по культурам и муниципальным районам. На основе первичного корреляционного анализа данных показателей сформулирован ряд основных допущений, используемых для получения прогноза:

1. Моделирование колебаний урожайности может осуществляться по укрупненным группам зерновых культур. Между временными рядами урожайности озимых и яровых зерновых культур наблюдается достаточно тесная корреляция ($r = 0,87$ в среднем по области), поэтому они могут быть отнесены к одной группе. Урожайность зернобобовых культур и кукурузы недостаточно сильно коррелирует как с урожайностью озимых и яровых ($r = 0,5-0,6$), так и между собой ($r = 0,29$), поэтому данные культуры выделяются в отдельные группы.

2. Моделирование колебаний урожайности может осуществляться по группам муниципальных районов, существование которых обусловлено различием в агроклиматических условиях, а также в уровне развития агротехники зерновых культур. Например, урожайность зерновых в Аннинском районе наиболее тесно коррелирует с урожайностью в Бобровском (0,97), Терновском (0,96), Эртильском (0,95) районах, а наименее тесно – с урожайностью в Петропавловском (0,64), Калачеевском (0,72) и Борисоглебском (0,75) районах. Таким образом, предполагается существование групп районов, картины динамики урожайности зерновых культур в которых на протяжении длительного времени являются схожими.

Для уточнения границ и состава групп районов Воронежской области, обладающих схожими характеристиками динамики урожайности зерновых культур, применены инструменты кластерного анализа – «многомерной статистической процедуры, предусматривающей сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, а затем упорядочение объектов в сравни-

тельно однородные группы (кластеры) таким образом, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались» [1, 2, 7, 10]. Кластерный анализ позволяет не только учитывать наборы разнородных классификационных признаков, но и проводить исследования при отсутствии четко выраженной гипотезы о природе разбиения изучаемых объектов на классы.

Выборку кластеризации в данном случае составили муниципальные районы Воронежской области, а признаковое пространство задано при помощи временных рядов урожайности зерновых культур в период с 1976 по 2016 г. (рассчитаны на основе данных из [6, 11]). Учитывая постепенное изменение среднего уровня урожайности в рамках данного периода, в целях оценки расстояний между объектами выборки значения признаков (годовых уровней урожайности) были стандартизированы [4, с. 187]:

$$x_{ij}^{st} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i}, \quad (1)$$

где x_{ij}^{st} – стандартизированное значение i -го признака по j -му объекту выборки; x_{ij} – наблюдаемое значение i -го признака по j -му объекту выборки; \bar{x}_i – среднее значение по i -му признаку; σ_i – стандартное отклонение i -го признака.

Таким образом, был получен набор показателей, характеризующий ежегодную колеблемость урожайности объекта выборки относительно урожайности, наблюдаемой в теоретическом среднетипичном районе.

В качестве меры близости (метрики) была выбрано т.н. «расстояние городских кварталов» (манхэттенская метрика), позволяющая нивелировать классифицирующее влияние anomalно нетипичных значений признаков (например, когда наблюдается катастрофическое падение урожайности, обусловленное засухой). Вычисление данной метрики производится по формуле суммы модулей разности соответствующих значений признаков для каждой пары объектов кластеризации:

$$d_{hk} = \sum_{i=1}^n |x_{ih}^{st} - x_{ik}^{st}|, \quad (2)$$

где d_{hk} – оценка расстояния между объектами h и k ; x_{ih}^{st} – стандартизированное значение i -го признака по объекту h ; x_{ik}^{st} – стандартизированное значение i -го признака по объекту k .

В качестве правила объединения (связи) кластеров был выбран метод наиболее удаленных соседей (полная связь), определяющий расстояния между кластерами как наибольшее расстояние между любыми парами их членов:

$$D_{AB} = \max_{a \in A, b \in B} d_{ab}, \quad (3)$$

где D_{AB} – оценка расстояния между кластерами A и B ; d_{ab} – оценка расстояния между объектами a и b , где $a \in A$, $b \in B$.

Данный метод позволяет формировать наиболее «непохожие» друг на друга кластеры.

Формирование групп районов производилось по принципу иерархической агломеративной кластеризации, предполагающей первоначальное рассмотрение каждого объекта совокупности в качестве отдельного кластера, с последующим соединением их в кластеры более высокого уровня с учетом близости оценок межкластерного расстояния. Результатом является древообразный иерархический граф (дендрограмма, дендрограф), характеризующий каждый объект перечислением всех кластеров, которым он принадлежит. Каждый узел дендрограммы показывает формирование нового кластера и расстояние объединения по вертикальной оси. Дендрограмма кластеризации муниципальных районов Воронежской обл. представлена на рис. 1.

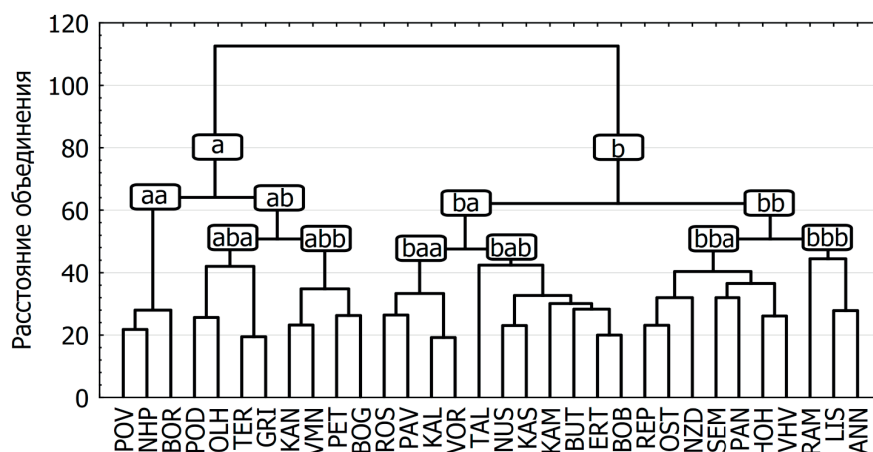


Рис. 1. Древоподобная диаграмма кластеризации районов Воронежской обл. по колебаниям урожайности зерновых культур в 1976-2016 гг.

В целях интерпретации полученного древоподобного графа каждое последующее ветвление сверху вниз добавляет к названию кластера буквы *a* и *b*, итоговая последовательность которых позволит идентифицировать кластер любого уровня. Два кластера верхнего уровня, объединенные на расстоянии 112,6, получают идентификаторы *a* и *b* (рис. 1). В свою очередь, кластер *a* дробится на кластеры второго уровня *aa* и *ab*, объединенные на расстоянии 64,1. Кластер *ab* делится на кластеры третьего уровня *aba* и *abb*, объединенные на расстоянии 50,7; в свою очередь, в кластер *aba* входят Подгоренский, Ольховатский, Терновский и Грибановский районы, в кластер *abb* – Кантемировский, Верхнемамонский, Петропавловский и Богучарский районы. В целях наглядности на дендрограмме обозначены кластеры не ниже третьего уровня, которые стали основой предлагаемой классификации районов.

В макрокластер *a* вошли 11 муниципальных районов, объединенных в кластеры *aa*, *aba* и *abb*. Они находятся на южных и восточных окраинах региона, характеризующихся недостаточным уровнем увлажнения и частыми

засухами. По данным Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии [8], данные районы расположены в 4 и 5 агроклиматических подзонах Воронежской обл., обладающих низшим в регионе агроклиматическим потенциалом. Для районов данного макрокластера характерен более низкий уровень урожайности зерновых культур, нежели в среднем по области. Кластер *aa*, в который входят Борисоглебский, Поворинский и Новохоперский районы, за рассматриваемый период в среднем демонстрировал урожайность на 26% ниже областного уровня. Для этого кластера характерны частые неурожаи, в том числе – катастрофические (1984, 1999, 2010 гг.), а также длительные периоды депрессии (например, 2005-09 гг.), что неудивительно – агроклиматические условия этих районов обоснованно считаются худшими.

В кластер *abb*, сформированный на южной границе региона, вошли Богучарский, Верхнемамонский, Кантемировский и Петропавловский районы. Низкий агроклиматический потенциал никогда не позволял данному кластеру превысить среднеобластной уровень урожайности, в отдельные годы отмечались его резкие падения. Однако в периоды с 1987 по 1995 и с 1999 по 2005 г. показатели приближались к региональным, что свидетельствовало о соответствии общему тренду развития отрасли. Начиная с 2006 г. динамика урожайности стала носить стагнационный характер, приблизившись к уровням кластера *aa*. Таким образом, в настоящее время можно охарактеризовать кластер *abb* как зону деградирующего зернопроизводства; в среднем за период уровень урожайности здесь ниже среднеобластного на 16%.

Кластер *aab* сформировался за счет районов, находящихся на границах агроклиматических районов и подзон, – в него вошли Ольховатский и Подгоренский районы на юго-западе области, Терновский и Грибановский районы на северо-востоке области. На большей части рассматриваемого периода они демонстрировали низкую урожайность зерновых, однако, в связи климатическими изменениями и улучшением экономической ситуации, начиная с 2007 г. уровень урожайности в общем соответствует среднеобластному. В среднем за период кластер демонстрирует урожайность зерновых на 7% ниже, чем по области. Таким образом, этот кластер можно считать переходным и ожидать, что в будущем районы из него могут перейти в состав макрокластера *b*.

Макрокластер *b* включает в себя кластеры *baa*, *bab*, *bb* и *bbb*, в которые входит в совокупности 21 район области, 14 из которых расположены в 1-3-й агроклиматических подзонах (наиболее благоприятных), 6 – в 4-й агроклиматической подзоне, 1 – в 5-й агроклиматической подзоне. На рис. 1 хорошо видно, что макрокластер *b* отчетливо разделяется на два субкластера: *ba*, средний уровень урожайности в котором практически не отличается от среднеобластного; и *bb*, урожайность в котором высока.

Кластер *baa* в составе субкластера *ba* охватывает 4 района на юге

области: Воробьевский, Калачеевский, Павловский и Россошанский. По картине колебаний этот кластер похож на кластер *abb*, районы которого расположены южнее. Однако несколько лучшие агроклиматические условия, а также разница в экономическом потенциале сельскохозяйственного производства обусловили тот факт, что усредненная за рассматриваемый период внутрикластерная урожайность зерновых соответствует среднему уровню по региону (+0,5%). Следует отметить в составе «урожайного» макрокластера данная группа отличается наименьшей устойчивостью зернопроизводства, о чем свидетельствует широкая амплитуда колебаний урожайности. Кроме того, начиная с 2006 г. подавляющая часть колебаний имеет отрицательный характер, следовательно – отмечается ухудшение состояния отрасли.

Кластер *bab* можно называть среднетипичным, так как на большей части рассматриваемого периода – с 1985 по 2016 г. – резкие колебания к среднеобластному уровню урожайности являются достаточно редкими. Среднее отклонение составляет +3%. В эту группу вошли преимущественно районы центральной части области – Бобровский, Бутурлиновский, Каменский, Каширский, Таловский; северная часть региона представлена Новоусманским и Эртильским районами, которые сформировали отдельный микрокластер (рис. 1). В конце 1970-х – начале 1980-х гг. районы кластера *bab* удерживали лидерские позиции, однако изменения климата постепенно сместили фокус урожайности зерновых культур на северо-запад области.

Кластер *bba* располагается преимущественно на территории 1-й и 2-й агроклиматических подзон и включает в себя 7 районов: Верхнехавский, Нижнедевицкий, Острогожский, Панинский, Репьевский, Семилукский и Хохольский. Здесь сложились наиболее благоприятные в области природно-климатические условия для возделывания зерновых, характеризующиеся редкими засухами и заморозками. Средняя урожайность по данной группе районов за последние 40 лет превышает областной уровень на 13% и только в 5 случаях он оказался ниже.

В кластер *bbb* вошли районы, эффективность зернового производства в которых в большей степени обуславливается экономическими, нежели природно-климатическими факторами – Аннинский, Лискинский и Рамонский. Средний уровень урожайности превышает областной на 16,1%; начиная с 1986 г. ни разу не отмечалось отрицательных отклонений. Данная группа является флагманом зерновой отрасли региона, создавая целевой ориентир для развития зернопроизводства районов, входящих в географически близкие кластеры *bba* и *bab*.

По итогам выявления кластеров муниципальных районов Воронежской области, обладающих схожим характером колебаний урожайности зерновых культур, была составлена карта направленности отклонений, для получения которой ежегодные средние уровни урожайности по кластерам и по области сравнивались с предиктивными значениями, рассчитанными по модели полиномиального тренда.

$$Y_i = 0,0106x^2 - 0,2562x + 20,63, \quad (4)$$

где Y_i – предиктивное значение урожайности зерновых в i -ом году в среднем по области, ц/га; x – порядковый номер временного периода (начиная с 1976 г. – 1).

Если средняя урожайность оказывалась выше предиктивного уровня, то год считался урожайным, если ниже – то наоборот. Таким образом, были выделены периоды, являвшиеся, безусловно, урожайными (например, 2008 г.) или неурожайными (2010 г.) для всех кластеров региона. Однако часты случаи, когда отклонение урожайности по области в целом и по отдельным кластерам имеет разную направленность. Наблюдаются устойчивые повторяющиеся ситуации (далее – паттерны исходов), в которых отдельные кластеры демонстрируют одновременное отклонение от среднеобластной тенденции. Например, трижды встречается ситуация, когда урожайный исход в среднем по области сопровождается относительным неурожаем в макрокластере *a* (1994, 2001 и 2002 гг.); плюс к этому пять раз – одновременным неурожаем в кластерах *aa* и *abb* (1983, 1997, 2009, 2013 и 2015). Предполагается, что проявление паттернов исходов обусловлено схожестью агроклиматических явлений в районах различных кластеров, поэтому должно учитываться в методике прогнозирования.

Важным элементом долгосрочного прогнозирования параметров развития зерновой отрасли является оценка тенденций динамики площадей, на которых возделываются злаковые культуры. При этом в зонах рискованного земледелия она, по нашему мнению, должна опираться в большей степени на изучении уборочной площади, нежели посевной. Нередки ситуации, когда неурожай приводит к тому, что значительная часть посевов зерновых остается необранной (1999-2000, 2010 гг.).

Поэтому мы предлагаем прогнозировать динамику площадей возделывания зерновых на основе двух компонентов: трендовой модели временного ряда и вероятностной модели колебаний. Для прогнозирования уборочных площадей озимых и яровых зерновых культур был отобрана следующая модель логарифмического тренда, имеющая достаточно высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,75$):

$$S_i = -162 \ln x + 1621,2, \quad (5)$$

где S_i – предиктивное значение совокупной уборочной площади зерновых в i -ом году, тыс. га; x – порядковый номер временного периода (начиная с 1976 г. – 1).

Прогноз базовой уборочной площади по каждому из кластеров предлагается производить пропорциональным методом на основе совокупной площади по области с учетом внутренних тенденций в последние годы. Прогноз колебаний посевной площади моделируется по каждому кластеру отдельно с учетом вероятностных характеристик ранее наблюдавшихся отклонений. Кроме того, для моделирования колебаний посевных площадей предлагается учитывать факторное влияние колеба-

ний урожайности. Были рассмотрены две гипотезы факторного влияния:

1. Рост/падение урожайности в текущем году может обуславливать равнонаправленную динамику площадей возделывания в следующем году в результате роста/снижения привлекательности возделывания культуры для сельскохозяйственных товаропроизводителей.

2. Рост/падение урожайности в текущем году может сопровождаться равнонаправленной динамикой площадей возделывания в текущем году, например, в результате расширения посевов яровых культур ввиду благоприятной погодно-климатической конъюнктуры, или сокращения посевов и уборочной площади в результате весенней или летней засухи.

В целях подтверждения данных гипотез был произведен корреляционный анализ колебаний урожайности и посевных площадей. Было обнаружено, что колебания урожайности текущего года и колебания площади возделывания в следующем году имеют очень слабую обратную корреляцию ($r = -0,14$), а колебания урожайности и площади в текущем году – среднюю прямую корреляцию ($r = 0,54$). Таким образом, первая гипотеза была отвергнута, а вторая – допущена к использованию с учетом вероятностного характера направленности отклонений. Например, при составлении вероятностной модели совместных колебаний урожайности и уборочной площади зерновых в кластере *aa* должно учитываться, что в рамках рассматриваемого периода 24 случая роста урожайности сопровождались 14 случаями роста и 10 случаями снижения уборочной площади в текущем году, а 16 случаев снижения урожайности сопровождались 5 случаями роста и 11 случаями снижения площади.

Базовые прогнозы динамики площадей возделывания кукурузы на зерно и зернобобовых культур в данном исследовании были получены при помощи методики экспоненциального сглаживания с демпфированным трендом. Это обусловлено тем, что достоверные временные ряды данных показателей коротки (начиная с 1998 г.) и на существенной их части наблюдается одна ярко выраженная тенденция (например, быстрый рост посевов кукурузы с 2005 г.). Для получения базовых прогнозов уборочных площадей кукурузы и зернобобовых культур были использованы коэффициент сглаживания ряда $a=0,3$ и коэффициент сглаживания тренда $\beta=0,3$, предполагающие достаточно сильную степень сглаживания уровней ряда и локальных трендов, а также коэффициент демпфирования тренда $\varphi=0,8$, обуславливающее постепенное затухание тенденций быстрого роста посевов кукурузы и быстрого снижения посевов зернобобовых, отмеченные в последние годы наблюдений. На основе анализа фактических и предиктивных значений также были сформированы вероятностные модели колебаний уборочных площадей данных культур.

На основании вышеизложенных моделей прогнозирования урожайности и посевных площадей зерновых культур была разработана имитационная вероятностная модель прогнозирования параметров развития зерновой

отрасли АПК региона (рис. 2). Программной средой модели является табличный процессор MS Excel, имеющий достаточный набор инструментов для многовариантных расчетов, моделирования трендов временных рядов, симулирования псевдослучайных величин, проведения статистического анализа и статистических экспериментов. Блоки данной модели оформлены в виде электронных таблиц, связанных с другими при помощи гиперссылок. Блок статистических экспериментов по методу Монте-Карло использует макрос VBA.

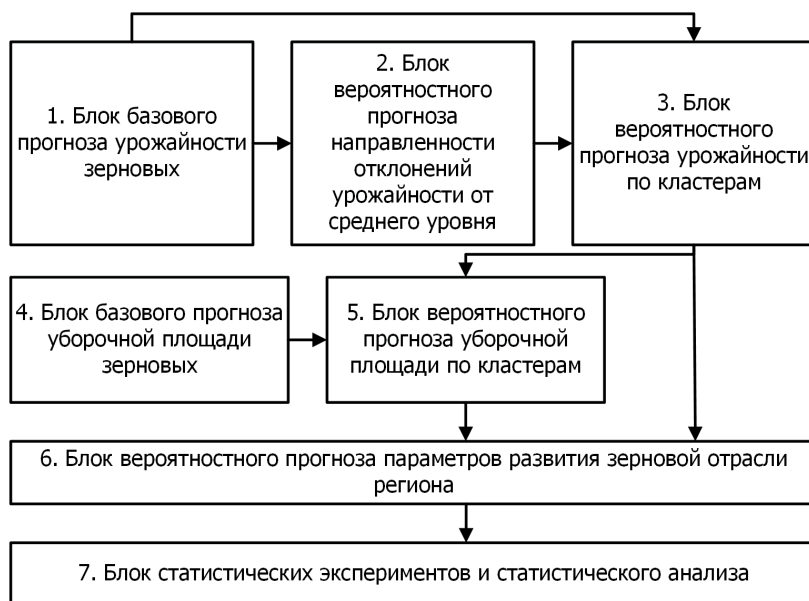


Рис. 2. Информационно-логическая схема имитационной вероятностной модели прогнозирования параметров развития зерновой отрасли АПК

В состав модели входят:

1. Блок базового прогноза урожайности зерновых культур. Рассчитывает базовый погодовой прогноз средней урожайности по области в разрезе озимых и яровых зерновых культур, кукурузы на зерно и зернобобовых культур на основе трендовых моделей:

для озимых и яровых зерновых культур:

$$Y_i = 0,0106x^2 - 0,2562x + 20,63, \quad (6)$$

для кукурузы:

$$Y_i = 10,97 \ln x + 2,4915, \quad (7)$$

для зернобобовых культур:

$$Y_i = 0,2441x + 11,21. \quad (8)$$

2. Блок вероятностного прогноза направленности отклонений урожайности от среднего уровня (рис. 3). Для каждого года прогноза i в разрезе культур прогнозируется направление отклонения ($\tau_i = 1 \vee -1$) средней по области урожайности от трендового значения на базе эмпирического рас-

пределения случайной величины p (урожай/неурожай). Далее для каждого кластера j вероятностным образом моделируется собственное направление отклонения ($\tau_{ij} = -1 \vee 1$), учитывающее возможные реализации паттернов погодно-климатических исходов.

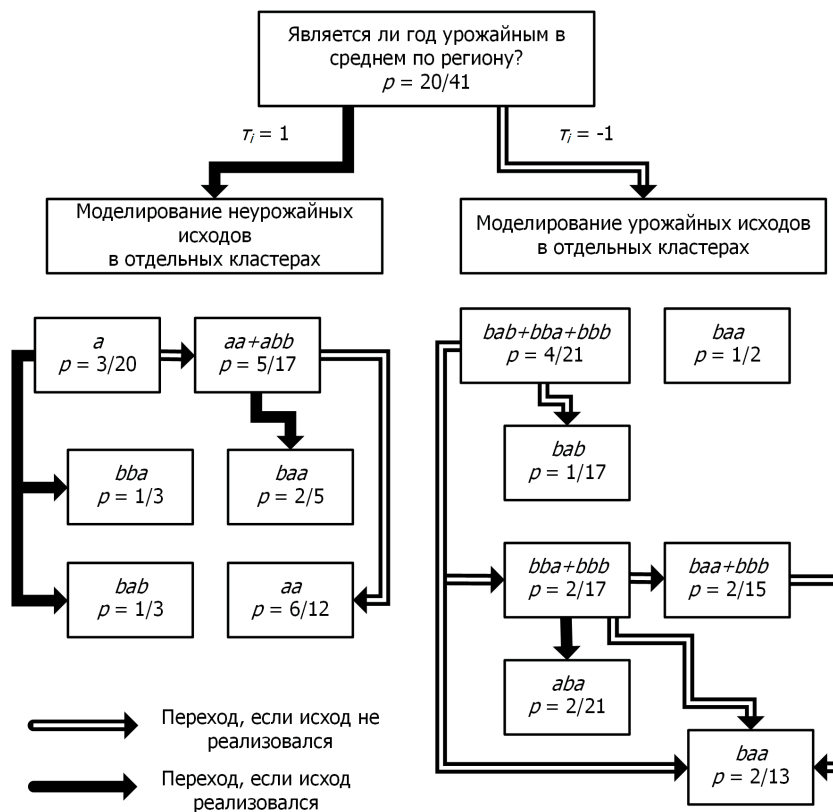


Рис. 3. Информационно-логическая схема блока вероятностного прогноза направленности отклонений урожайности озимых и яровых зерновых культур от среднего уровня (пример на данных Воронежской обл.).

3. Блок вероятностного прогноза урожайности по кластерам. С учетом базового прогноза урожайности и направления отклонения урожайности, а также случайной величины, смоделированной на базе эмпирического распределения размаха колебаний урожайности (μ_{ij} при урожае, ν_{ij} при неурожае), рассчитывается ежегодный прогноз урожайности (\hat{Y}_{ij}) в разрезе кластеров районов и зерновых культур:

$$\hat{Y}_{ij} = \begin{cases} Y_i(1 + \mu_{ij}) & \text{при } \tau_{ij} = 1 \\ Y_i(1 - \nu_{ij}) & \text{при } \tau_{ij} = -1. \end{cases} \quad (9)$$

4. Блок базового прогноза уборочной площади зерновых культур. В данном блоке рассчитывается базовый погодовой прогноз уборочной площади по кластерам (S_{ij}) в разрезе озимых и яровых зерновых культур, кукурузы на зерно и зернобобовых культур на основе изложенных ранее модели логарифмического тренда (для озимых и яровых) и моделей экспоненциального сглаживания (для кукурузы и зернобобовых).

5. Блок вероятностного прогноза уборочной площади по кластерам. С учетом базового прогноза площади и вероятностного прогноза урожайности, случайной величины, основанной на эмпирическом распределении комбинаций пар рост/снижение площади и рост/снижение урожайности, а также случайной величины, смоделированной на базе эмпирического распределения размаха колебаний уборочной площади (κ_{ij} при росте, λ_{ij} при сокращении), рассчитывается ежегодный прогноз посевной площади (\hat{S}_{ij}) в разрезе кластеров районов и зерновых культур:

$$\hat{S}_{ij} = \begin{cases} S_{ij} (1 + \kappa_{ij}) & \text{при } \uparrow S_j \uparrow Y_j \vee \uparrow S_j \downarrow Y_j \\ S_{ij} (1 - \lambda_{ij}) & \text{при } \downarrow S_j \downarrow Y_j \vee \downarrow S_j \uparrow Y_j \end{cases} \quad (10)$$

$$P(\uparrow S_j \uparrow Y_j) + P(\uparrow S_j \downarrow Y_j) + P(\downarrow S_j \downarrow Y_j) + P(\downarrow S_j \uparrow Y_j) = 1. \quad (11)$$

6. Блок вероятностного прогноза параметров развития зерновой отрасли региона. В данном блоке определяются прогнозы годовых валовых сборов в разрезе зерновых культур и кластеров (V_{ij}) и годовых валовых сборов по области в целом (V_i):

$$\begin{aligned} V_{ij} &= \hat{Y}_{ij} \hat{S}_{ij} \\ V_i &= \sum_j V_{ij} . \end{aligned} \quad (12)$$

После определения совокупности прогнозов валового сбора зерновых производится динамический расчет прогнозных зерновых балансов. В официальной статистике схема продовольственного баланса в общем виде выражается формулой [9]:

$$Z_n + П + И = ПП + ПНЦ + Пот + Э + ФП + Z_k \quad (13)$$

где Z_n и Z_k – запасы в сельском хозяйстве, перерабатывающей промышленности, оптовой и розничной торговле на начало и на конец периода; $П$ – производство за период; $И$ – ввоз (включая импорт); $ПП$ – производственное потребление в хозяйствах сельхозпроизводителей (на семена, корма и др. внутривладельческие нужды); $ПНЦ$ – переработка на непищевые цели; $Пот$ – потери; $Э$ – вывоз (включая экспорт); $ФП$ – фонд личного потребления;

Для формирования прогнозных балансов используются: годовые прогнозы производства зерновых; фактические запасы зерна в начальном интервале прогноза; ввоз, складывающийся из оценочной фоновой и расчетной дефицитной компоненты; оценки производственного потребления, рассчитанные с учетом прогнозируемой динамики посевных площадей и оценок поголовья сельскохозяйственных животных на горизонте планирования; оценки объемов переработки, учитывающие имеющиеся производственные мощности; прогнозы потерь, рассчитанные нормативным методом на основе величины производства; оценки конечных запасов; объемы вывоза, определяемые как разность между ресурсными и расходными статьями баланса.

7. Блок статистических экспериментов и статистического анализа. В

данном блоке на основе использования метода Монте-Карло производится многократное получение вероятностных прогнозов развития зерновой отрасли региона. Статистическая обработка полученной совокупности данных позволяет интерпретировать параметры прогноза в целом, выделяя различные сценарии развития.

3. Обсуждение результатов

Разработанная имитационная вероятностная модель прогнозирования параметров развития зерновой отрасли была апробирована на основе данных зернового подкомплекса Воронежской области за 1976-2016 гг. Была получена совокупность, состоящая из одной тысячи вероятностных прогнозов развития зерновой отрасли с 2017 г. по 2030 г. Для первичного анализа произведен расчет среднегодового валового сбора каждой реализации прогноза. Гистограмма частот среднегодового производства представлена на рис. 4.

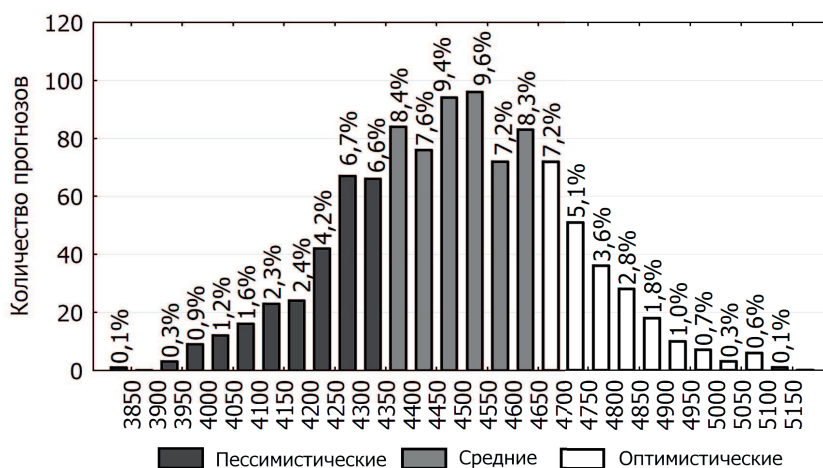


Рис. 4. Гистограмма среднегодового валового сбора зерна в Воронежской обл. в период с 2017 по 2030 г. (по всем исходам прогноза), тыс. т

Для формирования пессимистического и оптимистического сценария развития отрасли были отобраны варианты прогноза, приблизительно вошедшие в 25% худших и лучших исходов по среднегодовому валовому сбору. С учетом выбранной цены деления гистограммы (50 тыс. тонн) в пессимистический сценарий прогноза были включены 263 реализации со среднегодовым производством зерна до 4,35 млн т; в оптимистический сценарий – 232 реализации прогноза со среднегодовым производством зерна свыше 4,65 млн т. Оставшиеся 505 исходов сформировали средний сценарий со среднегодовым производством от 4,35 до 4,65 млн т (рис. 4).

Таким образом, вероятность реализации пессимистического сценария развития отрасли зернопроизводства в регионе в 2017-30 гг. составила 26,3%, вероятность среднего – 50,5%, вероятность оптимистического – 23,2%. При реализации пессимистического сценария вероятность того, что

зерновая отрасль Воронежской обл. произведет в любой отдельно взятый год составит: до 3 млн т – 7,1%, 3-4 млн т – 37,0%, 4-5 млн т – 35,2%, 5-6 млн т – 18%, свыше 6 млн т – 2,7%. Для среднего сценария вероятности составят: производство до 3 млн т – 4,2%, 3-4 млн т – 27,7%, 4-5 млн т – 37,3%, 5-6 млн т – 25,9%, свыше 6 млн т – 4,9%. Для оптимистического сценария вероятности составят: производство до 3 млн т – 2,3%, 3-4 млн т – 18,5%, 4-5 млн т – 38,3%, 5-6 млн т – 31,9%, свыше 6 млн т – 8,9%. Естественно, что для более ранних периодов горизонта планирования вероятности получить высокий валовой сбор будут ниже, а для более поздних – выше. Динамика прогнозных значений валового сбора по сценариям представлена на рис. 5.

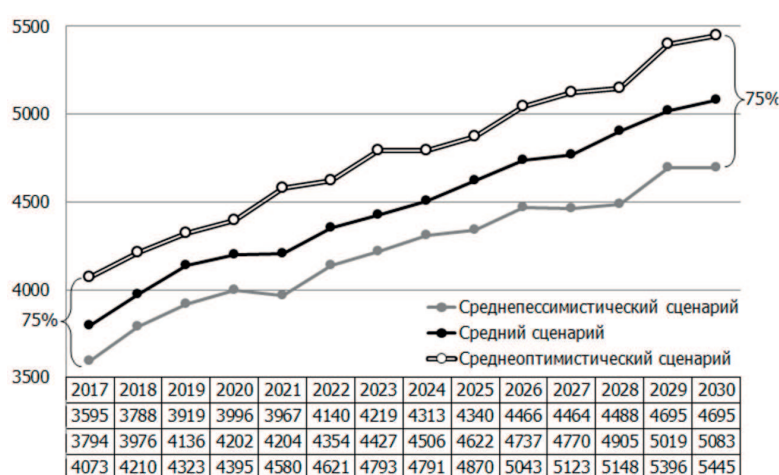


Рис. 5. Вероятностный прогноз ежегодного валового сбора зерна в Воронежской обл. в период с 2017 по 2030 г., тыс. т

Предполагается, что с вероятностью около 75% производство зерна в Воронежской области будет колебаться между линиями среднепессимистического и среднеоптимистического сценариев; но имеется существенная возможность, что фактический уровень валового сбора выйдет за эти рамки (например, как в 2017 г.). Среднегодовое производство зерновых в 2017-21 гг. прогнозируется в размере 3,9-4,3 млн т (составит 94-105% от уровня 2012-16 гг.), в 2022-26 г. – в размере 4,3-4,8 млн т (105-118%), в 2027-30 гг. – в размере 4,6-5,3 млн т (112-129%). Следует отметить, что по мере приближения к концу горизонта планирования «вилка» между пессимистическим и оптимистическим сценарием будет расширяться, следовательно, точность прогноза снизится.

Наибольший удельный вес в структуре производства зерновых на конец горизонта планирования будет иметь озимая пшеница – 47-49%. Несмотря на то, что авторы прогнозируют торможение тренда роста площадей под кукурузой, она укрепит свою позицию «второй» зерновой культуры, обеспечив 23-24% валового сбора. Устойчивое сокращение потребления и производства пива в стране обуславливает сокращение доли ячменя – с

20-22% до 14-15%; в группе яровых культур к 2030 г. он будет частично замещен яровой пшеницей (5-5,5%) и овсом (3,5-4%). Существенно сократится производство ржи и тритикале, производство которых продолжит смещаться в более северные регионы страны. Традиционно размещаемые на худших землях и в почвозащитных севооборотах крупяные и зернобобовые культуры не покажут существенного прироста или снижения производства, однако их удельный вес сократится.

Воронежская область традиционно является зерновывозящим регионом, поэтому динамика параметров зернового баланса по большей части определяется объемами производства (табл. 1). Каждый из сценариев развития продемонстрирует небольшой рост ввоза и производственного потребления зерна ввиду изменения видовой структуры производства.

Таблица 1

Прогнозные параметры зернового баланса в Воронежской области по среднему сценарию, 2018-2030 гг.

Год	Производство	Ввоз	Производственное потребление	Переработка на продовольственные цели	Потери	Вывоз	Торговый баланс
2018	3976	337	743	833	26	2325	1988
2019	4136	353	751	854	27	2450	2096
2020	4202	357	760	864	28	2523	2166
2021	4204	362	768	869	27	2560	2198
2022	4354	370	777	881	28	2618	2248
2023	4427	376	785	890	29	2704	2328
2024	4506	383	793	903	29	2763	2380
2025	4622	395	801	921	30	2843	2448
2026	4737	400	809	935	31	2923	2524
2027	4770	411	818	942	31	2993	2582
2028	4905	422	827	958	32	3072	2651
2029	5019	427	836	967	33	3179	2752
2030	5083	435	843	973	33	3216	2780
Среднее	4534	387	793	907	30	2782	2395

Естественно, что в лучших сценариях рост этого показателя будет обусловлен также расширением посевных площадей. Объемы роста переработки зерна (+10-15%) будут ниже темпов его производства ввиду высокой конкуренции на внутреннем рынке и ограниченности ресурсов зерноперерабатывающей промышленности региона. Вывоз зерна будет устойчиво расти вне зависимости от сценария развития отрасли. Согласно среднепессимистическому сценарию, к 2027-30 гг. его ежегодный объем возрастет до 2,4 млн т (+28% к уровню 2012-16 гг.), по среднему – до 2,7 млн т (+44%), по среднеоптимистическому – до 2,9 млн т (+56%).

4. Заключение

Обоснование прогнозов развития растениеводческих отраслей отечественного сельского хозяйства в существенной степени затруднено ввиду совокупного воздействия комплекса факторов: природно-климатических,

ценовых, технологических, институциональных. Описанный в статье подход, опирающийся на инструментарий стохастического прогнозирования, позволяет разрабатывать сценарные долгосрочные прогнозы развития зернопроизводства на региональном уровне. В основе подхода лежит разбиение региона на территории, обладающие схожими долгосрочными картинками временных рядов урожайности основных групп зерновых культур. Для каждой территории составляется частотная таблица колебаний урожайности относительно среднерегионального уровня, используемая для исходной генерации псевдослучайных исходов вероятностной модели. В модель также включен механизм паттернов, симулирующий одновременное и однонаправленное отклонение урожайности, наблюдаемое сразу в нескольких территориях региона. Предусмотрены механизмы имитации колебаний уборочной площади культур. Динамический расчет прогнозных зерновых балансов производится на основе совокупных результатов имитаций урожайностей и уборочных площадей на каждый период горизонта прогнозирования. Последующая статистическая обработка совокупности результатов многократного имитационного эксперимента необходима для выделения основных сценарных прогнозов развития отрасли. В то же время за рамками обсуждения остались вопросы моделирования непосредственного влияния на производство зерна ценовых факторов и экономической конъюнктуры. Также требуют дополнительного рассмотрения механизмы прогнозирования отдельных элементов расходной части зернового баланса, связанных с внутренним потреблением в животноводстве и вывозом продукции за пределы региона.

Список источников

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. *Прикладная статистика: классификация и снижение размерности*. Москва, Финансы и статистика, 1989.
2. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. *Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 1. Теория вероятностей и прикладная статистика*. Москва, Юнити-Дана, 2001.
3. Бабин Д.И., Улезько А.В., Тютюников А.А. Перспективные параметры развития ресурсной базы продовольственного рынка Воронежской области // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 2016, по. 2 (49), с 179-186.
4. Большаков А.А., Каримов Р.Н. *Методы обработки многомерных данных и временных рядов*. Москва, Горячая линия – Телеком, 2007.
5. Буховец А.Г., Семин Е.А., Бирючинская Т.Я. *Современные подходы и методы в прогнозировании урожайности отдельных видов зерновых культур*. Воронеж, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016.
6. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Доступно: <https://www.fedstat.ru/organizations/> (дата обращения: 15.04.2018).
7. Мандель И.Д. *Кластерный анализ*. Москва, Финансы и статистика, 1988.
8. Отчет об определении кадастровой стоимости земельных участков в составе земель сельскохозяйственного назначения Воронежской области на 01.01.2011 г. ООО НПО «ГеоГИС». Доступно: http://rosreestr.ru/wps/portal/cc_ib_fdgko?report_id=3181 (дата обращения: 15.04.2018).
9. Продовольственные балансы. Методологические положения по статистике. Вып.1. Федеральная служба го-

сударственной статистики. 1996. Портал Федеральной службы государственной статистики. Доступно: http://www.gks.ru/bgd/free/B99_10/IssWWW.exe/Stg/d000/i000420r.htm (дата обращения: 15.04.2018)

10. Райзин Дж.В. *Классификация и кластер*. Москва, Мир, 1980.

11. Центральная база статистических данных. Официальный сайт Федераль-

ной службы государственной статистики. Доступно: <http://cbsd.gks.ru/> (дата обращения: 15.04.2018).

12. Savchenko T.V., Ulez'ko A.V., Kiyashchenko L.V., Reymer V.V., Tyutyunikov A.A., Tkacheva N.V. Forecasting the development of agriculture in the region on the basis of ARIMA model // *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, v.8, no 2., pp. 14069-14078.

STOCHASTIC FORECASTING OF THE GRAIN INDUSTRY DEVELOPMENT PARAMETERS IN THE VORONEZH REGION

Tiutiunikov Aleksandr Aleksandrovich¹, Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Prof.
Kuksin Sergei Vladimirovich², Graduate student, Assist. Prof.

1 Federal State Budget Scientific Institution «Scientific Research Institute of Economics and Organization of the Agroindustrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation», Serafimovicha st., 26a, Voronezh, Russia, 394042; e-mail: tytnn@rambler.ru

2 Voronezh State Agrarian University, Michurina st., 1, Voronezh, Russia, 394087; kuksin.sergej@yandex.ru

Purpose: the article is devoted to the use of stochastic methodological tools for long-term forecasting of regional level grain production. *Discussion:* those tools is a probabilistic models set of grain production basic indicators. A multiple experiment on these models allows obtaining statistical characteristics of the grain industry development parameters, on the basis of which alternative scenarios are designed. Within the proposed methodology framework, the regional municipal districts, which have similar patterns of grain yield long dynamics, are grouped on the basis of cluster analysis. A yield deviations map was compiled for each of the selected groups. Deviation maps are used to simulate pseudo-random mechanisms for fluctuating crop yields in the future, including persistent recurring situations (patterns) of group and general trends. Forecasting the harvested areas dynamics of grain crops is proposed to be implemented on the basis of two components: trend models of time series and probabilistic models of oscillations, including the previously observed deviations characteristics. A lot of alternative forecasts of the grain industry development parameters are formed on the basis of yields and harvest areas forecasts using the Monte Carlo method. Statistical processing of the obtained data set allows to interpret the forecast parameters as a whole, noting different various development scenarios. *Results:* the proposed probabilistic simulation model of grain industry development parameters prediction was tested on the Voronezh Region data for 1976-2016.

Keywords: grain production, forecasting of grain yields, probabilistic simulation modeling, grain balance.

References

1. Ayvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Yenyukov I.S., Meshalkin L.D. *Applied statistics: classification and reduction of dimension*. Moscow, Finance and Statistics, 1989. (In Russ.)
2. Ayvazyan S.A., Mkhitarian V.S. *Application statistics. Basics of Econometrics. Vol. 1. Theory of probability and applied statistics*. Moscow, Yuniti-Dana, 2001. (In Russ.)

3. Babin D.I., Ulez'ko A.V., Tiutiunikov A.A. Perspective parameters of the food market resource base development in the Voronezh region. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 2016, no. 2 (49), pp. 179-186. (In Russ.)
4. Bol'shakov A.A., Karimov R.N. *Methods for processing multidimensional data and time series*. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom, 2007. (In Russ.)
5. Bukhovets A.G., Semin E.A., Biryuchinskaya T.Y. *Modern approaches and methods in forecasting the yield of certain crops types*. Voronezh, FGBOU VO Voronezhskiy GAU, 2016. (In Russ.)
6. Unified interdepartmental information and statistical system. Official site of the Federal State Statistics Service. Available at: <https://www.fedstat.ru/organizations/> (accessed: 15.04.2018).
7. Mandel I.D. *Cluster analysis*. Moscow, Finance and Statistics, 1988.
8. Report on the determination of the cadastral value of land plots in the composition of agricultural land in the Voronezh Region as of January 1, 2011, GeoGIS. Available at: http://rosreestr.ru/wps/portal/cc_ib_fdgko?report_id=3181 (accessed: 04/15/2018).
9. Food balances. Methodological provisions on statistics. Issue 1. Federal State Statistics Service. 1996. Portal of the Federal State Statistics Service. Available at: http://www.gks.ru/bgd/free/B99_10/IssWWW.exe/Stg/d000/i000420r.htm (accessed: 04/15/2018).
10. Raizin J.V. Classification and cluster. Moscow, World, 1980, 389 p.
11. The central database of statistical data. Official site of the Federal State Statistics Service. Available at: <http://cbsd.gks.ru/> (accessed: 04/15/2018).
12. Savchenko T.V., Ulez'ko A.V., Kiyashchenko L.V., Reymer V.V., Tyutyunikov A.A., Tkacheva N.V. Forecasting the development of agriculture in the region on the basis of ARIMA model. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, V.8, no 2. pp. 14069-14078.