



Полковская Марина Николаевна

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОСЕВОВ С УЧЕТОМ
ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И
БИОПРОДУКТИВНОСТИ КУЛЬТУР**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре информатики и математического моделирования
ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Иваньо Ярослав Михайлович

Официальные оппоненты: Деканова Нина Петровна,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Информатика»
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный
университет путей сообщения»

Куцый Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры автоматизированных
систем ФГБОУ ВПО «Иркутский
государственный технический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный
аграрный университет»

Защита состоится 03 июня 2014 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационно-
го совета Д 212.070.07 при ФГБОУ ВПО «Байкальский государственный универ-
ситет экономики и права» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, д. 24, зал
заседаний ученого совета БГУЭП.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО
«Байкальский государственный университет экономики и права» по адресу:
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУЭП, корпус 2, аудитория 101, www.isea.ru.

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина,
д. 11, БГУЭП, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан 22 апреля 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В условиях современного производства растениеводческой продукции производителю необходимо иметь системное представление о влиянии на процесс выращивания сельскохозяйственных культур различных природно-климатических и агротехнических факторов. Знания и учет взаимодействия этих факторов позволяют получать высокие урожаи при одновременном повышении плодородия почв и экономии затрат. Исследованию факторов, влияющих на урожайность, посвящены работы Г.И. Баскина, А.Г. Буховец, А.И. Вайнштейна, П.И. Колоскова, М.С. Кулика, А. Маннеля, М.И. Мель, В.М. Обухова, А.А. Павловского, С.А. Сапожниковой, В.А. Смирновой, В.Ф. Тебуевой, Н.В. Тюряковой и др.

Определение закономерностей многолетней изменчивости рядов биопродуктивности предполагает использование полученных знаний при решении оптимизационных задач, связанных с размещением, специализацией и концентрацией аграрного производства; определением оптимальных размеров предприятий по зонам; планированием материально-технического снабжения. Работы Л.В. Канторовича, В.А. Кардаша, А.Ф. Карпенко, А.П. Коваленко, С.М. Колобашкина, В.П. Корнеевко, В.Г. Кравченко, М.М. Тунеева, С.Н. Смирнова, П. Флеминга, Д.Б. Юдина, Л. Янга, В.П. Булатова и др. посвящены вопросам применения различных задач математического программирования для оптимизации аграрного производства.

Диссертационное исследование развивает идеи перечисленных авторов, расширяя области применения задач математического программирования, связанных с аграрным производством.

Анализ многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур показывает, что они не являются детерминированными и зачастую характеризуются высокой степенью неопределенности и неоднородности, что предполагает создание адекватных моделей, описывающих изменчивость параметра биопродуктивности. При этом необходимо учитывать переменность климатических параметров, которые оказывают существенное влияние на аграрное производство, особенно в зонах с резко континентальным климатом. Свойства изменчивости производственных и природно-климатических параметров необходимо учитывать в задачах оптимизации производства продовольственной продукции. Наличие неопределенности и неоднородности предполагает при решении задач математического программирования использование метода статистических испытаний. Другими словами, в реальных условиях необходимо решать задачи, связанные с определением множества вариантов оптимальных решений и выделением среди них наиболее целесообразных для управления.

Целью диссертационной работы является создание математического и алгоритмического обеспечения, позволяющего моделировать изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур с учетом колебаний климата, для оптимизации производства продовольственной продукции в условиях неполной информации.

В соответствии с поставленной целью решены следующие **задачи**:

– определение пространственно-временной изменчивости многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур: оценка однородности; выявление автокорреляционных связей; факторный анализ для различных природно-климатических зон региона;

- выбор адекватных моделей для оценки и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в условиях неполной информации;
- разработка моделей оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур с вероятностными и интервальными параметрами и алгоритмов их реализации;
- создание программного комплекса моделирования урожайности сельскохозяйственных культур для управления производством продовольственной продукции.

Объектом исследования является урожайность сельскохозяйственных культур как основной параметр планирования производства.

Предмет исследования – модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур в задачах оптимизации аграрного производства.

Основные научные положения, выносимые на защиту.

1. Стохастические, авторегрессионные, трендовые и многофакторные модели, описывающие пространственно-временную изменчивость урожайности разных групп и видов сельскохозяйственных культур для различных природно-климатических зон региона.

2. Модели оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур различной степени агрегирования с интервальными и вероятностными параметрами, учитывающие особенности изменчивости климата и урожайности сельскохозяйственных культур, и алгоритмы численного определения оптимальных планов с использованием имитационного моделирования.

3. Многоэтапные модели оптимизации структуры посевов с детерминированными и неопределенными параметрами и различные алгоритмы численного нахождения оптимальных решений на основе моделирования вероятностных и интервальных параметров методом Монте-Карло.

4. Проблемно-ориентированный программный комплекс со специальным математическим и алгоритмическим обеспечением, позволяющий моделировать многолетние ряды биопродуктивности групп и видов культур, для краткосрочного и долгосрочного планирования структуры посевов на основе одно- и многоэтапных моделей оптимизации.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы теории вероятностей и математической статистики, имитационного моделирования, математического программирования применительно к задачам с детерминированными и неопределенными параметрами.

Информационная основа. Методические, теоретические и практические разработки основаны на собранных и систематизированных данных многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур по муниципальным районам Иркутской области за 1996-2012 гг. и категориям хозяйств. Кроме того, использованы последовательности климатических параметров за 1962-2012 гг. и данные площадей посевов, валовых сборов, количества вносимых удобрений и химикатов.

Практическая значимость работы. Результаты комплексного анализа многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур, построенные задачи оптимизации размещения посевов с вероятностными и интервальными параметрами и алгоритмы их решения применимы для планирования производства предприятий агропромышленного комплекса в различных регионах Сибири.

Разработанные модели и программный комплекс рекомендованы научно-техническим советом министерства сельского хозяйства Иркутской области для планирования аграрного производства в условиях неопределенности. Созданные модели использованы в дисциплине «Моделирование устойчивого развития сельских территорий», для которой в соавторстве разработано учебное пособие для студентов направления «Прикладная информатика».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на региональной научно-практической конференции молодых ученых Сибирского Федерального округа с международным участием «Инновационные технологии в АПК» (ИрГСХА, Иркутск, 2010), XV-XVII Байкальской Всероссийской конференции с международным участием «Информационные и математические технологии» (ИСЭМ СО РАН, Иркутск, 2010-2012), IV всероссийской конференции с международным участием «Винеровские чтения» (ИрГТУ, Иркутск, 2011), региональной научно-практической конференции молодых ученых «Научные достижения производству» (ИрГСХА, Иркутск, 2011), международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК (ИрГСХА, Иркутск, 2012), семинаре «Стохастическое программирование и его приложения» (ИСЭМ СО РАН-ИрГСХА-ИК НАН Украины, Иркутск, 2012), международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство» (ИрГСХА, Иркутск, 2013), 13-й международной научной конференции «Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI-го века» (МГЭУ им. А.Д. Сахарова, Минск, 2013), международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию аспирантуры ИрГСХА «Экологическая безопасность и перспективы развития аграрного производства Евразии» (ИрГСХА, Иркутск, 2013).

Автор получила диплом I степени во II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ (Барнаул, 2011); диплом Ассоциации образовательных учреждений АПК и рыболовства (IV место) на III этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ (Ярославль, 2013).

Сведения о публикациях. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 19 печатных работах, в том числе 5 публикаций в изданиях из списка, рекомендованного ВАК.

Объем и структура работ. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, приложений, списка литературы из 131 наименования. Общий объем диссертации составляет 138 страниц, включая 25 рисунков, 26 таблиц и 7 страниц приложений.

Содержание работы. Во введении обосновывается актуальность темы, формулируется цель и задачи исследования, указываются научные результаты и практическая значимость работы. В первой главе описаны виды урожайности сельскохозяйственных культур. Проведен анализ математических методов, позволяющий оценить структуру ряда, неоднородность, определить основные факторы, влияющие на результативный признак. При этом рассмотрены задачи математического программирования, в которых основным управляющим параметром является урожайность. Для планирования аграрного производства предложено ис-

пользовать одно- и двухэтапные задачи оптимизации структуры посевов с использованием моделей изменчивости биопродуктивности в условиях неполной информации. **Во второй главе** проанализирована однородность рядов урожайности сельскохозяйственных культур для различных территорий Восточной Сибири. Выделены районы по степени внутрирядной связи последовательностей биопродуктивности. Для рядов урожайности, имеющих высокие значимые коэффициенты автокорреляции, построены авторегрессионные модели. Кроме того, в рассматриваемых последовательностях выявлены устойчивые тенденции, для которых получены линейные и нелинейные уравнения трендов. На основании данных о параметрах тепла и увлажнения построены одно- и многофакторные модели линейного и нелинейного типа. Приведен алгоритм моделирования урожайности на основе факторных зависимостей с использованием метода статистических испытаний для решения прямой и обратной задачи. Помимо этого, построены алгоритмы моделирования вероятностных и интервальных значений урожайности с использованием метода Монте-Карло, учитывающие особенности параметра. **В третьей главе** сформулированы задачи математического программирования с интервальными параметрами; со случайными и слабосвязными последовательностями; с учетом наличия в рядах трендов, корреляционных зависимостей между параметрами и влияния предшественников. Предложенные задачи оптимизации структуры посевов решены численно с различными вариантами использования метода Монте-Карло для моделирования интервальных оценок; квантилей определенных законов распределения; сочетания интервальных и вероятностных оценок. Сформулированы двухэтапные задачи математического программирования с детерминированными и неопределенными параметрами, учитывающие влияние предшественников на урожайность сельскохозяйственных культур, и алгоритмы их решения. Разработано математическое и алгоритмическое обеспечение, спроектирована база данных для создания проблемно-ориентированного программного комплекса «Моделирование биопродуктивности», решающего задачи моделирования урожайности и оптимизации структуры посевов с учетом выявленных особенностей информации. **В заключении** приведены основные выводы и определены направления дальнейших исследований. **Приложения** содержат рисунки и таблицы, дополняющие содержание работы.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Стохастические, авторегрессионные, трендовые и многофакторные модели, описывающие пространственно-временную изменчивость урожайности разных групп и видов сельскохозяйственных культур для различных природно-климатических зон региона.

Основным параметром, отражающим уровень интенсификации сельскохозяйственного производства, является биопродуктивность сельскохозяйственных культур. От правильного ее прогнозирования во многом зависят себестоимость, рентабельность, затраты и другие экономические показатели.

В работе изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур рассматривалась как характеристика различного территориального уровня, обладающая разными статистическими свойствами (рис. 1). При выявлении закономерностей колебаний этого параметра в рамках региона (Иркутская область) исполь-

зовались данные семнадцати различных групп и видов культур по двадцати семи муниципальным, восьми агроландшафтным районам и трем сельскохозяйственным зонам.



Рисунок 1 – Схема моделирования рядов урожайности сельскохозяйственных культур

Проверка рядов биопродуктивности на случайность и оценка наличия тренда показала, что 61% исследуемых рядов являются вероятностными, 33% – слабосвязными, 6% – с сильными значимыми автокорреляционными связями.

На основании критериев согласия для случайных и слабосвязных рядов построены законы распределения вероятностей. Наиболее распространенным законом оказалось распределение Гаусса. Ему подчиняются 45% всех рядов биопродуктивности, в основном – зерновые, овощные культуры, однолетние и многолетние травы на зеленый корм и сено. Что касается гамма-распределения, то оно справедливо для выборок кормовых культур, кукурузы, силосных культур и трав некоторых районов. Логарифмически нормальное распределение вероятностей характерно для рядов урожайности моркови, свеклы, капусты, однолетних и многолетних трав на зеленый корм и сено.

Значимые линейные, параболические и степенные авторегрессионные зависимости определены для зерновых культур (пшеница, ячмень, овес) и овощей (морковь, свекла) в районах, относящихся к юго-восточной лесостепи; многолетних трав на сено – в Тайшетском районе.

Общий вид моделей, полученных для различных урожайностей в разных районах, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Модели оценки биопродуктивности сельскохозяйственных культур

Авторегрессионные уравнения	Тренды	Законы распределения вероятностей	Факторные модели
$y_t = a + by_{t-\tau} + \varepsilon$ $y_t = ay_{t-\tau}^b + \varepsilon$	$y_t = a + bt + \varepsilon$ $y_t = a + bt + qt^2 + \varepsilon$ $y_t = a + bt + q\varepsilon'_{t-1} + \varepsilon$	$p(y, y_{cp}, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-y_{cp})^2}{2\sigma^2}}$ $p(y, \beta, \gamma) = \left(\frac{y}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\frac{y}{\beta}} \frac{1}{\beta\Gamma(\gamma)}$ $p(y, \sigma) = \frac{1}{z\sigma_{\ln y}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln y - \ln y)^2}{2\sigma_{\ln y}^2}}$	$y_t = a + bt_1 + \varepsilon$ $y_t = a + bt_1 + qt_2 + \varepsilon$ $y_t = a + bt_1^2 + \varepsilon$ $y_t = a + bt_1t_2 + \varepsilon$

Здесь y_t – прогнозное значение биопродуктивности; a – свободный член уравнения; b, q – коэффициенты при неизвестных; $y_{t-\tau}$ – предшествующее значение биопродуктивности со сдвигом τ ; t – параметр времени; ε – случайная составляющая; ε'_{t-1} – предшествующее значение остаточной компоненты; y_{cp} – среднее значение ряда случайных чисел y ; σ – среднее квадратическое отклонение; $\gamma = (y_{cp}/\sigma)^2$; $\beta = \sigma^2 / y_{cp}$; $\Gamma(\gamma)$ – гамма-функция; t_1 – сумма месячных температур за вегетационный период; t_2 – сумма месячных осадков за вегетационный период.

Немаловажное значение для решения практических задач имеют выводы о связях между рядами урожайности различных сельскохозяйственных культур. Исследования показали, что между урожайностями различных групп культур в

основном наблюдаются слабые корреляционные связи. В годы, когда имеет место высокая урожайность зерновых культур, как правило, наблюдается невысокая урожайность других групп.

На основании критерия Фишера выявлено, что большая часть рядов урожайности зерновых и овощей являются однородными. Вместе с тем неоднородностью на всей территории Иркутской области обладают ряды биопродуктивности кормовых корнеплодов, кукурузы и силосных культур, которые при оптимизации структуры посевов используются как интервальные параметры.

При исследовании влияния факторов на урожайность сельскохозяйственных культур использованы ряды средних месячных температур и осадков за вегетационный период, число дней бездождевого и безморозного периода. Для рядов биопродуктивности зерновых, картофеля, овощей и кормовых культур по агроландшафтными и муниципальными районами региона построены одно- и многофакторные модели. При этом обычно на юге территории большее влияние на результативный признак оказывают температуры за вегетационный период, а севернее к ним добавляется второй фактор – осадки.

Факторные модели могут использоваться для моделирования урожайности в зависимости от климатических условий в тот или иной год. Для этого предлагается алгоритм с применением метода статистических испытаний, позволяющий моделировать случайные значения факторов и на основе зависимости оценивать урожайность сельскохозяйственных культур для различных благоприятных и неблагоприятных условий. При этом предлагается решать прямые и обратные задачи.

Таким образом, в зависимости от особенностей изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур выделены стохастические, авторегрессионные, трендовые и факторные модели по муниципальным, агроландшафтными районами и сельскохозяйственным зонам региона. Разработанные модели применимы в задачах математического программирования, в частности, для оптимизации структуры посевов сельскохозяйственных культур, связанной с планированием.

2. Модели оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур различной степени агрегирования с интервальными и вероятностными параметрами, учитывающие особенности изменчивости климата и урожайности сельскохозяйственных культур, и алгоритмы численного определения оптимальных планов с использованием имитационного моделирования.

Группы и виды урожайности в различных сельскохозяйственных зонах, агроландшафтных и муниципальных районах имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур. В таблице 2 предлагаются различные постановки задачи оптимизации структуры посевов.

В первой задаче, со случайными параметрами, оптимальные решения предлагается определять в виде функции распределения, вероятность которой представляет собой сумму вероятностей случайных параметров модели. Эта задача математического программирования применима для предприятий агропромышленного комплекса, муниципального района или сельскохозяйственной зоны.

При наличии коротких и неоднородных рядов применима задача математического программирования с интервальными параметрами, в качестве оптималь-

ных решений которой использованы экстремальные значения целевой функции $f_{\max}^{\max}$, $f_{\max}^{\min}$ и медиана $f_{\max}^{me}$.

Таблица 2 – Модели оптимизации структуры посевов с вероятностными, интервальными параметрами и параметрами, описываемыми трендами, авторегрессионными и факторными зависимостями

Критерий оптимальности - максимум прибыли от реализации продукции:		
$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is} y_{is}^p x_{is} - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} c_{is} x_{is} \rightarrow \max \quad (1)$		
Блок ограничений модели с вероятностными параметрами Ограниченность производственных ресурсов $\sum_{s \in S} v_{lis}^p x_{is} \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I). \quad (2)$ Ограниченность размера растениеводческой отрасли $\underline{n} \leq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (1 + \eta_s) x_{is} \leq \bar{n}. \quad (3)$ Производство конечной продукции не менее заданного объема $\sum_{i \in I} y_{is}^p x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S). \quad (4)$ Ограниченность вносимых удобрений и средств защиты растений $\sum_{s \in S} w_{mis} x_{is} \leq W_{mi} \quad (m \in M, i \in I). \quad (5)$ Неотрицательность переменных $x_{is} \geq 0. \quad (6)$	Блок ограничений модели с интервальными параметрами в выражениях (2) и (4) Ограниченность производственных ресурсов $\sum_{s \in S} \tilde{v}_{lis} x_{is} \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I), \quad (7)$ $\underline{\tilde{v}}_{lis} \leq \tilde{v}_{lis} \leq \bar{\tilde{v}}_{lis}. \quad (8)$ Производство конечной продукции не менее заданного объема $\sum_{i \in I} \tilde{y}_{is} x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S), \quad (9)$ $\underline{\tilde{y}}_{is} \leq \tilde{y}_{is} \leq \bar{\tilde{y}}_{is}. \quad (10)$	Ограничение (4) модели с параметрами, описываемыми трендами, авторегрессионными и факторными зависимостями Производство конечной продукции не менее заданного объема $\sum_{i \in I} y_{is}(t_g) x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S, g \in G). \quad (11)$
Здесь d_{is} – цена реализации культуры s (руб./ц); y_{is}^p – выход продукции с единицы площади культуры поля i (ц/га), соответствующий некоторой вероятности; x_{is} – площадь возделывания культуры s на поле i (га); c_{is} – затраты на 1 га поля i культуры s (руб./га); v_{lis}^p – расход ресурса l на единицу площади культуры s поля i (тыс. чел.-ч/га, тыс. руб./га), соответствующий некоторой вероятности; V_{li} – наличие ресурса вида l поля i; Y_s – гарантированный (обязательный) объем производства продукции культуры s (ц); $\bar{n}$, $\underline{n}$ – максимально и минимально возможная площадь возделывания культур (га); η_s – коэффициент, учитывающий площадь посевов семян культуры s; w_{mis} – расход удобрения m (средства защиты растений) на единицу площади поля i культуры s (ц/га); W_{mi} – наличие удобрения вида m для поля i (ц), t_g – параметр, влияющий на биопродуктивность культур.		

Поскольку в стабильно работающих хозяйствах и на развитых сельскохозяйственных территориях имеет место устойчивое производство продовольственной продукции, в этих ситуациях предлагается использовать задачи параметрического программирования. При этом урожайность $y_{is}(t_g)$ описывается разработанными адекватными моделями линейного и нелинейного типа. Решение такой задачи связано с параметрами t_g .

Для решения задач оптимизации размещения посевов предложены алгоритмы с интервальными, вероятностными, взаимозависимыми параметрами и функциональными зависимостями. На рисунке 2 приведен один из алгоритмов решения оптимизационной задачи размещения сельскохозяйственных культур с учетом первого коэффициента автокорреляции и наличия трендов в рядах урожайности с использованием метода статистических испытаний.



Рисунок 2 – Алгоритм оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с учетом первого коэффициента автокорреляции рядов урожайности и трендов

Задача оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур решается в следующей последовательности. Вычисляются статистические параметры: среднее значение (y_{is}^{cp}), коэффициент вариации ($C_{V_{y_{is}}}$) и первый коэффициент автокорреляции ($R_{1_{y_{is}}}$). Осуществляется проверка рядов урожайности на наличие трендов. При устойчивых тенденциях оценивается качество уравнения трендов и на их основании строится прогноз. Затем исследуются внутрирядные связи рядов урожайности. В случае, если $R_{1_{y_{is}}} > 0,7$ строятся уравнения авторегрессии, проверяется их качество и рассчитываются прогнозные значения, в противном случае статистические параметры вычисляются с учетом смещенности. По критериям согласия выбирается закон распределения вероятностей. Моделируются случайные числа, характеризующие ординаты функции распределения p_{is} . Вычисляются суммарные вероятности. После этого определяются значения урожайности y_{is} , соответствующие моделируемым вероятностям p_{is} . По полученным прогнозным и вероятностным значениям y_{is} вычисляются значения критерия оптимальности в виде прибыли от реализации продукции f_{ξ^j} . На последнем этапе выделяют оптимальные решения для управления аграрным производством с заданной ξ^j .

Разработанные модели оптимизации структуры посевов характеризуют особенности биопродуктивности в различных сельскохозяйственных зонах, агроландшафтных и муниципальных районах. Помимо этого, можно использовать мо-

дели смешанного вида, в которые входят интервальные, вероятностные и функционально зависимые параметры.

Предложены алгоритмы, позволяющие оценивать изменчивость рядов биопродуктивности, влияющих на планирование, связанное с природными, рыночными и регуляторными рисками. Следует отметить, что алгоритмы могут дополнять друг друга в зависимости от особенностей рядов биопродуктивности.

3. Многоэтапные модели оптимизации структуры посевов с детерминированными и неопределенными параметрами и различные алгоритмы численного нахождения оптимальных решений на основе моделирования вероятностных и интервальных параметров методом Монте-Карло.

Задача оптимизации структуры посевов с использованием севооборотов является сложной, поскольку в ней необходимо учитывать влияние предшественника, качество почв, агротехнические особенности возделывания, поэтому в реальной ситуации определяется множество решений задачи, среди которых необходимо выбрать наиболее эффективные для управления. В этом случае предлагается моделировать ситуации с помощью многоэтапных задач математического программирования.

В работе предложены разные варианты многоэтапной задачи оптимизации структуры посевов с детерминированными и неопределенными параметрами, связанные с особенностями предшественников сельскохозяйственных культур.

При оптимизации размещения посевов с учетом влияния предшественников целевая функция и ограничения детерминированной задачи выглядят так

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is}^h y_{is}^h x_{is}^h - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} c_{is}^h x_{is}^h \rightarrow \max \quad (h \in H), \quad (12)$$

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} v_{lis}^h x_{is}^h \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I); \quad (13)$$

ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n} \leq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (1 + \eta_s^h) x_{is}^h \leq \bar{n}; \quad (14)$$

производства конечной продукции не менее заданного объема

$$\sum_{i \in I} y_{is}^h x_{is}^h \geq Y_s \quad (s \in S); \quad (15)$$

ограниченности вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} w_{mis}^h x_{is}^h \leq W_{mi} \quad (m \in M, i \in I); \quad (16)$$

неотрицательности переменных

$$x_{is}^h \geq 0, \quad (17)$$

где h – вариант сочетания предшественников.

На первом этапе рассчитываются значения критерия оптимальности в зависимости от заданных предшественников h . Затем из полученных вариантов для каждого предшественника выделяются некоторые группы оптимальных решений, используемые при управлении производственными процессами. Найденные структуры посевов являются исходными для решения аналогичной задачи на втором и последующих этапах.

В случае, когда параметры модели являются детерминированными, решение задачи (12)-(17) сводится к нахождению распределения площадей посевов в зави-

симости от предшественников. Из множества оптимальных решений выделяется наилучший $f_{\max}^{\max}$ и наихудший $f_{\max}^{\min}$ варианты, которым соответствуют планы размещения посевов сельскохозяйственных культур $f_{\max}^{\max}(x_{11}^*, x_{12}^*, \dots, x_{is}^*, \dots, x_{IS}^*)$ и $f_{\max}^{\min}(x_{11}^*, x_{12}^*, \dots, x_{is}^*, \dots, x_{IS}^*)$.

Поскольку некоторые параметры задачи (12)-(17) являются неопределенными, во второй ситуации производственные ресурсы, урожайность, удобрения и средства защиты растений оцениваются в виде верхних и нижних значений. Решение такой задачи подразумевает определение множества оптимальных решений для каждого варианта сочетания предшественников в зависимости от интервальных значений. В первом случае решениями такой задачи являются наилучший $\text{MAX}\{f_{\max}^h\}$ (где $\psi \in \Psi$ – число смоделированных значений интервальных параметров), наихудший $\text{MIN}\{f_{\max}^h\}$ варианты и медиана $\text{Me}\{f_{\max}^h\}$ из всех полученных значений критерия оптимальности. При другом подходе вначале определяются наилучшие, наихудшие варианты и медиана для каждого сочетания предшественников h . Затем из полученного множества максимальных значений целевой функции выбирается медианное значение $\text{Me}\{f_{\max}^{\max h}\}$. Аналогичным образом осуществляется выбор медианы минимальных значений $\text{Me}\{f_{\max}^{\min h}\}$ и медианы медиан $\text{Me}\{f_{\max}^{\text{me } h}\}$. Число смоделированных значений ψ задается пользователем и связано с генерированием интервальных оценок параметров модели методом Монте-Карло.

Наиболее сложной с точки зрения оценки полученных решений является задача оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур с учетом предшественников, в которой один или несколько параметров являются случайными величинами и описываются с помощью закона распределения вероятностей. В частности, такими параметрами являются производственные ресурсы и урожайность. Ограничения (13), (15) в этом случае примут следующий вид

$$\sum_{s \in S} v_{lis}^{(p)h} x_{is}^j \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I, h \in H), \quad (18)$$

$$\sum_{i \in I} y_{is}^{(p)h} x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S). \quad (19)$$

Во-первых, сложность оценки полученных решений такой задачи заключается в том, что каждое значение критерия оптимальности соответствует некоторой вероятности, представляющей собой сумму вероятностей случайных величин параметров, использованных в ограничениях (18)-(19). Во-вторых, решением каждого варианта задачи математического программирования с заданными предшественниками является некоторая функция распределения вероятностей, полученных для этого варианта значений критерия оптимальности. Таким образом, при реализации модели с вероятностными параметрами получаем множество функций распределения вероятностей H .

Другими словами, модель (12)-(17) с учетом ограничений (18)-(19) может быть разделена на H задач. Для каждой задачи определяются распределения значений целевой функции $f_{\max}^{(\xi)h}$, из которых выделяются необходимые для управления аграрным производством варианты решений. В качестве таковых можно использовать минимальное, максимальное и медиану распределения вероятностей: $\text{MAX}\{f_{\max}^{(\xi)h}\}$, $\text{MIN}\{f_{\max}^{(\xi)h}\}$, $\text{Me}\{f_{\max}^{(\xi)h}\}$.

Задача оптимизации структуры посевов с учетом предшественников может быть решена без непосредственного учета мнения экспертов. В этом случае каж-

дое поле с одной сельскохозяйственной культурой может быть разделено на множество полей с различными культурами согласно правилам использования предшественников.

Многоэтапная задача с вероятностными параметрами может быть упрощена путем уменьшения их числа. В частности, это касается трудовых и производственных ресурсов, которые при определенных условиях можно принять в качестве постоянных величин. В этом случае управляющим параметром модели является урожайность сельскохозяйственных культур.

Предложенные модели имеют практическое значение в условиях автоматизации получения первичной информации с сельскохозяйственных угодий и формирования базы данных, необходимой для реализации предложенных моделей.

4. Проблемно-ориентированный программный комплекс со специальным математическим и алгоритмическим обеспечением, позволяющий моделировать многолетние ряды биопродуктивности групп и видов культур, для краткосрочного и долгосрочного планирования структуры посевов на основе одно- и многоэтапных моделей оптимизации.

Анализ существующих информационных систем и программных комплексов в области растениеводства показал, что они полностью или частично автоматизируют производство продукции на основе точного земледелия, анализа севооборота, нормирования работ и др. Вместе с тем их основным недостатком является отсутствие возможности планирования структуры посевов на разные периоды на основе многоэтапных моделей оптимизации с неопределенными параметрами, характеризующими различные природно-климатические территории и особенности экономического состояния и технологических процессов.

На основе систематизации данных, технологии обработки информации предложена схема функционирования программного комплекса моделирования биопродуктивности культур для планирования аграрного производства (рис. 3).

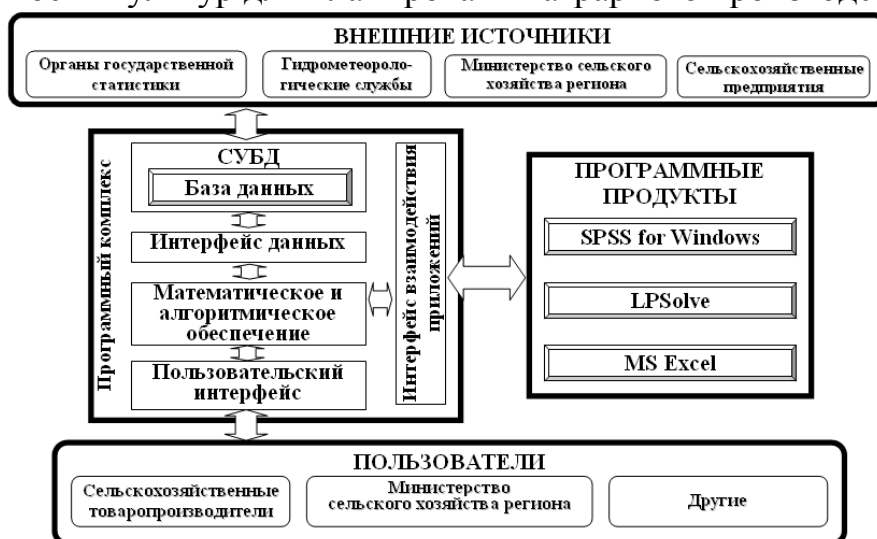


Рисунок 3—Схема функционирования программного комплекса моделирования биопродуктивности

Согласно построенной функциональной модели программного комплекса его основной функцией является моделирование биопродуктивности культур с учетом изменчивости климата. Основная функция детализируется на функции второго уровня: «Систематизация и статистическая обработка данных», «Выбор

модели для прогнозирования, оценка качества модели», «Оптимизация размещения посевов сельскохозяйственных культур».

В программном комплексе использованы пакеты прикладных программ различных фирм, выбор которых основан на распространенности, доступности и возможности эффективного решения поставленных задач.

Информационным обеспечением программного комплекса является база данных, которая состоит из 12 сущностей, содержащих данные территориальных органов статистики, гидрометеорологических служб, министерства сельского хозяйства и предприятий. Модель данных, созданная в ErWin, автоматически сгенерирована в СУБД Firebird. В качестве пользовательской оболочки использован IB Expert. Одной из отличительных черт базы данных является наличие экспертных оценок, характеризующих степень изменения урожайности культур в зависимости от предшественников, которые используются при построении модели оптимизации размещения посевов.

Математическое обеспечение программного комплекса включает статистические методы обработки рядов урожайности сельскохозяйственных культур; авторегрессионные, факторные, трендовые и оптимизационные модели; метод статистических испытаний для оценки и прогнозирования урожайности и планирования размещения посевов на кратко- и долгосрочный период.

В программном комплексе реализованы алгоритмы оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур с детерминированными, интервальными и вероятностными параметрами, параметрические задачи. Они позволяют обращаться к базе данных, вводить при необходимости дополнительные сведения, использовать методы решения задач математического программирования и статистической оценки рядов, получать разные значения целевой функции, учитывающие интервальные, вероятностные параметры и севообороты.

Полученные результаты могут быть использованы для решения различных задач математического программирования, четыре из которых реализованы. В частности, задача оптимизации структуры посевов со случайными параметрами, учитывающая мнение эксперта решена для сельскохозяйственного предприятия Иркутского района. При оптимальном размещении культур с вероятностью превышения $\xi=0,1$ медианное значение целевой функции составило около 20,9 млн. руб., а для $\xi=0,9$ – 24,5 млн. руб. При этом колебания значений критерия оптимальности относительно медианы составило 24,5 и 26,6% соответственно.

Поскольку разработанный программный комплекс является открытым, функции моделирования урожайности сельскохозяйственных культур могут быть расширены для решения разнообразных задач производства сельскохозяйственной продукции. Кроме того, комплекс может взаимодействовать с различными информационными системами управления сельскохозяйственным производством.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основании статистического анализа рядов урожайности групп и видов сельскохозяйственных культур по муниципальным, агроландшафтным районам и сельскохозяйственным зонам региона выделены территории в соответствии с полученными трендовыми, авторегрессионными, факторными и вероятностными моделями.

2. Построены одно- и многофакторные линейные и нелинейные модели зависимости урожайности зерновых, картофеля, овощей и кормовых культур по агроландшафтным и муниципальным районам от значимых факторов: сумм месячных температур и осадков за вегетационный период, числа дней бездождевого и безморозного периодов.

3. С учетом выявленных особенностей параметров, сформулированы и решены по разработанным алгоритмам численного нахождения оптимальных планов задачи оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур с интервальными и вероятностными значениями в ограничениях и задачи параметрического программирования, в качестве параметров которых использованы определенные факторы.

4. Построены многоэтапные модели оптимизации структуры посевов для разных сроков планирования с учетом различных сочетаний предшественников с детерминированными и неопределенными параметрами и разработаны алгоритмы численного определения оптимальных решений с применением метода статистических испытаний.

5. Создан программный комплекс со специальным математическим и алгоритмическим обеспечением для моделирования урожайности сельскохозяйственных культур и планирования структуры посевов на основе моделей оптимизации производства продовольственной продукции в условиях неопределенности.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК Минобрнауки РФ

1. Астафьева, М.Н. Модели оптимизации размещения сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур с вероятностными параметрами в условиях неопределенности / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Вестник ИРГСХА. – 2011. – Вып. 48. – С. 12-20 (0,5/0,25).

2. Астафьева, М.Н. Об информационной системе моделирования биопродуктивности различных культур для планирования производства продовольственной продукции / М.Н. Астафьева // Современные технологии, системный анализ, моделирование. – 2012. – № 2(34). – С.139-144 (0,38).

3. Астафьева, М.Н. Оценка изменчивости многолетних временных рядов биопродуктивности культур в задачах оптимизации размещения посевов / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (73). – С. 16-21 (0,38/0,19).

4. Полковская, М.Н. Оценка и прогноз агротехнологических параметров для моделирования производства продукции растениеводства в регионе / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько, М.Н. Полковская // Вестник ИРГСХА. – 2013. – Вып. 57. – Ч. III – С. 116-125 (0,6/0,2).

5. Полковская, М.Н. О многоэтапных моделях оптимизации структуры посевов / Я.М. Иванько, М.Н. Полковская // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2014. - № 1 (93) – С.121-125 (0,31/0,16).

Статьи в других изданиях

6. Астафьева, М.Н. Пространственно-временной анализ урожайности сельскохозяйственных культур региона / М.Н. Астафьева // Инновационные технологии в АПК: Материалы регион. науч.-практ. конф. молодых ученых Сиб. федер. округа с междунар. участием, посвящ. 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, 12-14 мая 2010 г / Иркут. гос. с.-х. акад. –Иркутск – 2010. – С. 134-139 (0,38).

7. Астафьева, М.Н. О моделировании тенденций изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XV Байкальской Всерос. конф. – Иркутск, 2010. – Ч. 1. – С. 239-246 (0,5/0,25).

8. Астафьева, М.Н. О моделировании аграрного производства в экстремальных природно-климатических условиях Восточной Сибири / М.Н. Астафьева // Винеровские чтения: / тр. IV Всерос. конф. – Иркутск, 2011. – Ч. I. – С. 224-231 (0,5).

9. Астафьева, М.Н. Информационная модель прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур для планирования аграрного производства / М.Н. Астафьева // Научные достижения производству: материалы науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием. – Иркутск, 2011. – С. 194-200 (0,38).

10. Астафьева, М.Н. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур с учетом редких природных событий / М.Н. Астафьева, С.А. Петрова // Инновации молодых ученых аграрных вузов - агропромышленному комплексу Сибирского региона: материалы IX науч.-практ. конф. молодых ученых вузов Сибирского федерального округа. – Омск, 2011. – С. 240-242 (0,19/0,09).

11. Астафьева, М.Н. Оптимизация размещения посевов сельскохозяйственных культур с использованием имитационного моделирования / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Научно-практический журнал «Актуальные проблемы аграрной науки». – 2011. – Вып. 1. – С. 59-67 (0,5/0,25).

12. Астафьева, М.Н. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур в условиях неполной информации / М.Н. Астафьева // Сборник научных трудов по материалам III этапа Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ (номинация «Экономические науки»). – Ярославль, 2011. – С. 148-156 (0,56).

13. Астафьева, М.Н. Оптимизация размещения сельскохозяйственных культур с учетом природно-климатических особенностей региона / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XVI Байкальской Всерос. конф. – Иркутск, 2011. – Т.1. – С. 224-231 (0,5/0,25).

14. Астафьева, М.Н. Факторный анализ урожайности сельскохозяйственных культур в агроландшафтных районах региона / Астафьева М.Н. // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых – Иркутск, 2012. – С.353-358 (0,38).

15. Астафьева, М.Н. Моделирование пространственно-временной изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур для оптимизации размещения посевов / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XVII Байкальской Всерос. конф. – Иркутск, 2012. – Т.1. – С. 239-246 (0,5/0,25).

16. Астафьева, М.Н. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Экологический Вестник. – 2013. - № 3(25). – С. 13-18 (0,38/0,13).

17. Полковская, М.Н. Программный комплекс моделирования биопродуктивности различных сельскохозяйственных культур / Иванько Я.М., Петров Ю.И., Полковская М.Н. // Экологическая безопасность и перспективы развития аграрного производства Евразии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию аспирантуры ИрГСХА – Иркутск, 2013. – Ч.2 – С.204-211 (0,5/0,17).

Монографии

18. Стохастическое программирование и его приложения / П. С. Кнопов [и др.]. – Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2012. – 493 с. (30,81/0,38).

19. Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации. Монография / П.Г. Асалханов [и др.]; под ред. Я.М. Иванько. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. – 200 с. (9,78/1,25).

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 31 марта 2014 г.

Объем 1,0 печ. л. Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия»

664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный