

На правах рукописи

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Я.М. Иваньо

Иркутск – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	10
1.1 Особенности многолетних рядов урожайности групп и видов сельскохозяйственных культур	10
1.2 Определение тенденций изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур за многолетний период	18
1.3 Методы оценки урожайности сельскохозяйственных культур.....	23
1.4 Урожайность как параметр управления в задачах оптимизации производства.....	33
2 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	40
2.1 Статистический анализ пространственно-временных колебаний урожайности	40
2.2 Моделирование изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур	49
2.3 Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур	54
2.4 Моделирование рядов урожайности с применением метода статистических испытаний.....	60
2.5 Факторные модели определения урожайности.....	63
3 ИНФОРМАЦИОННОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ.....	74
3.1 Модели оптимизации размещения сельскохозяйственных культур в условиях неполной информации	74
3.2 Многоэтапные модели оптимизации структуры посевов.....	79
3.3 Алгоритмическое обеспечение программного комплекса моделирования биопродуктивности.....	85
3.4 Программный комплекс моделирования биопродуктивности культур	94
3.4.1 Проектирование программного комплекса моделирования биопродуктивности культур	94
3.4.2 Реализация программного комплекса	100
3.4.3 Результаты моделирования структуры посевов	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
ЛИТЕРАТУРА	119
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

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.

Урожайность сельскохозяйственных культур является основным параметром при решении задач планирования производства продукции в различных отраслях и их сочетании. От ее величины зависит эффективность производства не только растениеводческой, но и животноводческой продукции.

Между тем биопродуктивность является сложным параметром, который зависит от множества природных и агротехнологических факторов. Многочисленные группы сельскохозяйственных культур имеют свои особенности, причем влияние факторов на них различно. Поэтому особую актуальность приобретает комплексное исследование закономерностей многолетней изменчивости урожайности как групп, так и видов сельскохозяйственных культур.

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. Тебуровой, Н.В. Тюрковой 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. Корнеенко, 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.

Цель 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.

Объект исследования – 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., по категориям хозяйств и климатических параметров за 1962-2012 гг. Помимо этого, собраны данные о площадях посевов, валовых сборах, количестве 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. Полученные 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 использовать 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.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

1.1 Особенности многолетних рядов урожайности групп и видов сельскохозяйственных культур

Важнейшим параметром, отражающим уровень интенсификации сельскохозяйственного производства, является урожайность сельскохозяйственных культур. От правильного ее планирования и прогнозирования во многом зависят такие показатели, как себестоимость, производительность труда и рентабельность [1, 10].

Под *урожаем* понимают общий размер продукции данного вида (данной культуры), получаемой со всей площади посева культуры в хозяйстве, районе, области, стране.

Под *урожайностью* подразумевается средний размер той или иной продукции растениеводства с единицы посевной площади данной культуры (обычно в центнерах с гектара) [114].

Урожай характеризует общий объем производства продукции данной культуры, а урожайность – продуктивность этой культуры в конкретных условиях ее возделывания.

В планировании, учете и экономическом анализе согласно [26, 57, 87] используют несколько показателей урожайности (рис. 1.1).

Потенциальная урожайность – максимальное количество продукции, которое можно получить с 1 га при полной реализации продуктивных возможностей сельскохозяйственной культуры или сорта. Потенциальная урожайность исчисляется применительно к идеальным и обычным условиям сельскохозяйственными научно-исследовательскими и опытными учреждениями. Показатель потенциальной урожайности используют для определения рациональной структуры земледельческих отраслей, набора сортов и сельскохозяйственных культур в хозяйстве, области или зоне.

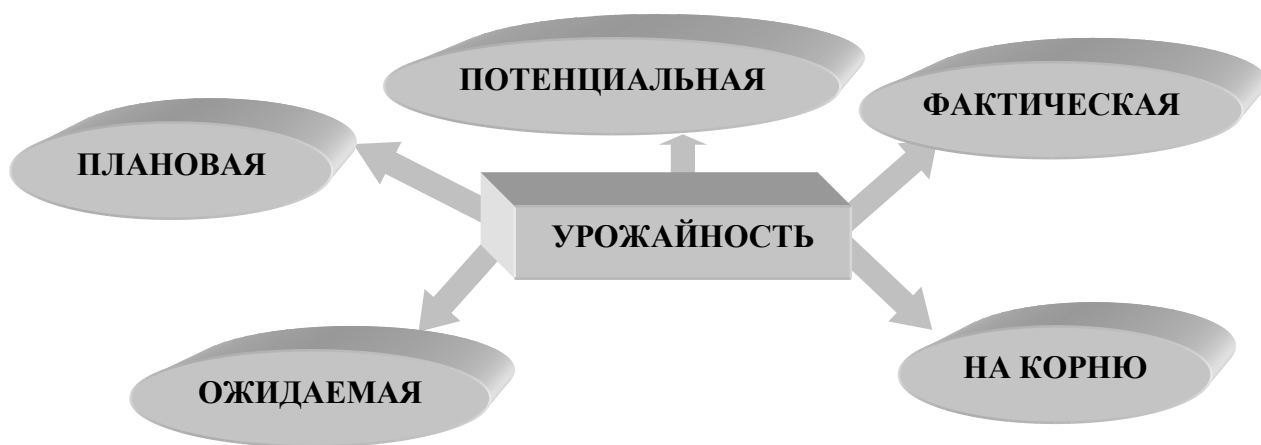


Рисунок 1.1 – Виды урожайности сельскохозяйственных культур

Плановая урожайность – количество продукции, которое можно получить с 1 га в конкретных хозяйственных условиях. Плановая урожайность определяется до посева с учетом потенциальных возможностей сорта, достигнутого уровня урожайности, плодородия почвы, обеспеченности хозяйства техникой, минеральными удобрениями и т.п.

Ожидаемая урожайность (виды на урожай) – предполагаемый сбор продукции, определяемый в отдельные периоды роста и развития сельскохозяйственных культур по густоте стеблестоя и общему состоянию растений. Она измеряется в центнерах с 1 га или оценочно: высокая, средняя, низкая, на уровне прошлого года и т.д. Показатель ожидаемой урожайности используют для планирования агротехнических мероприятий.

Урожайность на корню (биологическая урожайность) – количество выращенной продукции, установленное выборочно – либо глазомерно-оценочным методом, либо методом взятия проб (до уборки урожая, либо расчетно-балансовым методом (после уборки урожая) по данным о фактическом намолоте и потерях в процессе уборки. Показатель биологической урожайности используют в экономическом анализе для изыскания резервов снижения потерь урожая на уборке.

Фактический сбор – урожайность, определяемая по оприходованному или чистому (после обработки) весу выращенной продукции в расчете на 1 га посевной, весенней продуктивной или фактически убранной площади.

На урожайность оказывают влияние две группы факторов: естественные (природные) и производственно-технические. Земельные участки, расположенные в разных районах, значительно различаются своей продуктивностью. Среди природных особенностей почв можно выделить: состав почв, рельеф, климат. Из-за неблагоприятного климата уровень развития сельскохозяйственного производства по отношению к мировому в России относительно невысокий. Так, например, урожайность зерновых культур в России в 4 раза меньше, чем в Великобритании; в 3,6 раза меньше, чем в Германии и США, почти в 3 раза меньше, чем в Японии, Австрии, Италии, Китае и Швеции.

Так как Иркутская область расположена в зоне рискованного земледелия, биопродуктивность изменяется неравномерно в зависимости от погодных условий года. По зерновым и картофелю она, как правило, выше среднего уровня, сложившегося в Сибирском федеральном округе (СФО), или равна ему. Урожайность овощей с 2002 г. ниже, чем в целом по СФО.

Несмотря на изменчивость показателей, просматривается общая тенденция роста урожайности. Максимальный уровень достигнут в 2008 г. (за исключением овощей у населения), что связано с благоприятными метеоусловиями, преобладанием жаркой погоды с частыми грозовыми ливневыми дождями. Однако причины колебания урожайности кроются не только в климате, немаловажное значение имеет и культура производства. Известно, что урожайность сельскохозяйственных культур существенно зависит от применяемых севооборотов [70]. Помимо этого, важным фактором повышения урожайности является качество семян. По данным научно-исследовательских институтов, урожайность зерновых культур за счет высева качественных семян повышается на 30-32%.

Не последнее место среди факторов, влияющих на параметр биопродуктивности, занимает состояние машинно-тракторного парка, сокращение и неудовлетворительное состояние которого приводит к нарушению оптимальных сроков проведения агротехнических работ и, как

следствие, к потерям при уборке. Урожай и качество сельскохозяйственной продукции во многом определяется агрохимическими факторами: комплексным внесением органических и минеральных удобрений.

Следует отметить, что одним из негативных последствий преобразований в области аграрного производства является сокращение сельскохозяйственных угодий. Вновь образованные формы хозяйствования (сельскохозяйственные организации, личные подсобные и крестьянские (фермерские) хозяйства) не стремились использовать большие земельные массивы по причине нехватки материально-технических средств и трудовых ресурсов. Всего за годы реформ сельскохозяйственные угодья землепользователей Приангарья сократились более чем на 10%, в основном за счет сельскохозяйственных организаций.

В Иркутской области наибольший ущерб аграрному производству наносят экстремальные природные явления: паводки, половодья, ураганы и бури; крупный град; ливни; заморозки, засухи, суховеи и др. В связи с этим колебания урожайности в регионе и в России значительно отличаются. Так, средняя урожайность зерновых в России за период 1990-2012 г. составила 18,7 ц/га, в Иркутской области этот показатель равен 15,0 ц/га. Для картофеля урожайность в стране равна 122, а в регионе – 144 ц/га. Данные об урожайности овощей и однолетних и многолетних трав на сено по России и Иркутской области приведены в таблице 1.1.

В общем случае ряды урожайности являются неоднородными. Основные причины возникновения неоднородности рядов урожайности сельскохозяйственных культур следующие:

- изменчивость климата;
- изменение технологий возделывания;
- изменение социально-экономических условий;
- смена сортов;
- смена категорий хозяйств, возделывающих сельскохозяйственные культуры.

Таблица 1.1 – Средняя урожайность сельскохозяйственных культур Иркутской области и России за 1990-2012 гг.

Культура	Средняя урожайность, ц/га	
	Иркутская область	Россия
Зерновые культуры	15,0	18,7
Картофель	144	122
Овощи	163	166
Однолетние травы на сено	19,4	15,9
Многолетние травы на сено	12,0	16,5

При оценке неоднородности используют различные критерии:

- критерий Стьюдента для проверки равенства средних значений двух выборок;
- критерий Фишера для проверки близости двух дисперсий;
- критерий Уилкоксона-Манна-Уитни;
- ранговый критерий рассеяния Зигеля-Тьюки и др.

Часто неоднородность рядов параметра связывают с природно-климатическими изменениями. При оценке изменчивости климата на Земле пользуются графиком динамики средней годовой температуры по данным пунктов северного полушария, начиная с 50-х годов XIX в., согласно которому наблюдается тенденция потепления.

На рисунке 1.2 показаны изменения суммы средней месячной температуры за вегетационный период по данным Иркутска за 1962-2010 гг.

Согласно графику имеет место тенденция повышения средней месячной температуры за вегетационный период. Помимо температуры воздуха для сельского хозяйства имеет значение изменчивость дат первых и последних заморозков. Разность между первым и последним заморозком представляет собой безморозный период.

На основе уравнение тренда, полученного для сумм годовых температур за 1962-2010 гг., можно предположить, что каждые 10 лет температура на юге Приангарья увеличивается примерно на $0,21^{\circ}$.

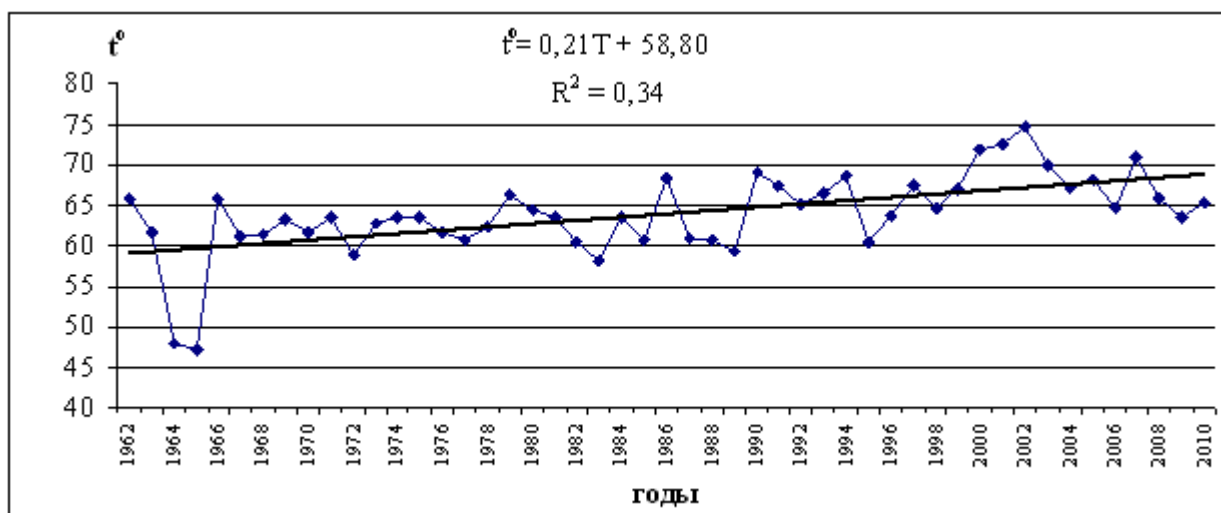


Рисунок 1.2 – Динамика суммы средней месячной температуры воздуха за вегетационный период по данным Иркутска за 1962-2010 гг.

Вместе с тем анализ характеристики тепла с использованием метода последовательного включения в хронологический ряд данных показывает, что тенденция потепления в Иркутске начиналась только с середины 40-х годов прошлого века. До этого тренд в динамике средних годовых температур t° не обнаружен [58].

Линейное уравнение, характеризующее многолетнюю изменчивость характеристики t° по данным 1947–2010 гг., имеет вид $t^{\circ} = 0,0383T - 1,0006$. В этом выражении T – время, характеризуемое годами. Каждые 10 лет повышение температуры в Иркутске соответствует $0,38^{\circ}\text{C}$.

Следует отметить, по мере продвижения на север от 52° до 58° широты параметры трендов изменяются. В таблице 1.2 приведены линейные уравнения зависимостей средних годовых температур по данным Иркутска, Зимы, Качуга, Тулуна, Нижнеудинска, Шиткино и Киренска за период 1947–2010 гг. Согласно полученным результатам тенденция потепления наблюдается на юге. В средней части территории тренды повышения температуры менее устойчивы. На севере же (Шиткино, Киренск) устойчивые тенденции в многолетних рядах средней годовой температуры фактически отсутствуют.

Таблица 1.2 – Уравнения трендов, характеризующие изменчивость средней годовой температуры на территории Иркутской области за 1947-2010 гг.

Пункт	Уравнение	R^2	F-критерий
Иркутск	$t^{\circ} = 0,0383T - 1,0006$	0,46	значимо
Зима	$t^{\circ} = 0,0335 T - 2,0405$	0,34	значимо
Качуг	$t^{\circ} = -0,0142 T - 3,1759$	0,04	не значимо
Тулун	$t^{\circ} = 0,0261 T - 1,6794$	0,23	значимо
Нижнеудинск	$t^{\circ} = 0,0151 T - 1,0431$	0,09	не значимо
Шиткино	$t^{\circ} = 0,0157 T - 1,7862$	0,06	не значимо
Киренск	$t^{\circ} = 0,0231 T - 4,8238$	0,10	не значимо

По данным средней годовой температуры и безморозного периода можно заключить, что на юге Иркутской области (Иркутский, Ангарский, Усольский и Черемховский районы), особенно последние 20–30 лет, наблюдается тенденция более раннего прихода тепла и более позднего проявления первых заморозков.

В многолетних рядах сумм температур за вегетационный период (1962-2010 гг.) наблюдаются неустойчивые тенденции. Так, по Иркутску коэффициент детерминации (R^2) уравнения тренда этого параметра составляет 0,40, по Тайшету – 0,37, по Нижнеудинску – 0,35. Вместе с тем в некоторых районах области (Балаганск, Братск, Бохан, Качуг) уравнения менее устойчивы ($R^2=0,22-0,30$). В рядах параметра тепла за последние 20 лет тренды отсутствуют, однако в некоторых пунктах наблюдений имеют место слабые значимые автокорреляционные зависимости.

Изменение сортов сельскохозяйственных культур также оказывает влияние на однородность рядов. Размещение сортов пшеницы, ячменя, овса и картофеля по площади Иркутской области в 2004 и 2010 гг. [72] приведено в таблице 1.3.

Неоднородность временных рядов сельскохозяйственных культур связана с социально-экономическими преобразованиями в начале 90-х годов XX в., когда осуществлялось перераспределение производства сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств:

сельскохозяйственные организации, личные подсобные хозяйства, крестьянские (фермерские) хозяйства.

Таблица 1.3 – Распределение сортов по площади посева (%) в Иркутской области

Сорт	2004 г.	2010 г.	Сорт	2004 г.	2010 г.
Пшеница			Овес		
Ангара 86	5,4	-	Тулунский 22	10,7	6,7
Тулун 15	2,1	0,8	Ровесник	25,2	51,85
Ирень	13,6	37,4	Крупнозерный	21,1	-
Новосибирская 15	-	6,83	Анчар	6	2,7
Скала	2	-	Овен	6,5	4
Тулунская 12	53,2	19,8	Тюменский голозерный	2	0,43
Бурятская 79	4,1	1,08	Тулунский 19	5,5	19,09
Селенга	13,3	8,65	Картофель		
Иргина	1,5	-	Гранат	10,2	6,6
Бурятская остистая	-	6	Лина	7	9,2
Омская 32	0,1	0,7	Бородинский розовый	9,1	6,6
Новосибирская 29	-	3,04	Невский	15,2	6,8
Ячмень			Сарма	0,5	40,5
Неван	19,9	5,8	Полет	5,3	2,1
Ача	23,8	67,3	Пушкинец	12	3,5
Одесский 115	11,5	0,06	Тулунский	13	-
Андрей	1,2	-	Снегирь	-	9,4
Соболек	17,6	6,52	Маламур	-	2,6
Биом	-	1,42			

По данным органов государственной статистики более 60% производства пшеницы приходится на сельскохозяйственные организации. Вместе с тем картофель производится преимущественно личными подсобными и крестьянскими (фермерскими) хозяйствами. Очевидно, что это сказывается на устойчивости производства и в конечном итоге на статистических особенностях исследуемых временных рядов.

Помимо этого, причинами неоднородности являются климатические изменения и смена сортов культур. Следует отметить, что Иркутская область представляет собой неоднородную природно-климатическую территорию, в разных частях которой влияние факторов на урожайность различно. Ввиду неоднородности временных рядов данного параметра и влияния на него множества природных и антропогенных факторов, процесс моделирования и прогнозирования является сложным и трудоемким. В работе [60] отмечено, что в условиях изменчивости параметров экстремальных природных явлений наблюдаются существенные колебания урожайности различных

сельскохозяйственных культур, что сказывается на эффективности работы предприятия. При этом особое влияние на производственные процессы оказывают редкие события. Их оценка позволяет решать задачи в крайне неблагоприятных природно-климатических условиях.

В заключении отметим, что временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур являются сложными по структуре, их изменчивость зависит от множества факторов. Существуют разнообразные группы и виды урожайности и подходы к ее оценке. Кроме того, моделирование биопродуктивности осложняется неоднородностью временных рядов, так как требуется ее оценка. Биопродуктивность используется при планировании аграрного производства, поэтому данный показатель имеет большое значение в управлении различными отраслями сельского хозяйства.

1.2 Определение тенденций изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур за многолетний период

Территория мира характеризуется большим разнообразием природных и климатических условий. Экологические различия по странам и регионам связаны с почвенными особенностями, температурным режимом, количеством и распределением осадков и т.д. Помимо этого, наблюдается временная изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур, связанная с использованием различных сортов культур, удобрений, гербицидов, методов обработки семян и др. Структура основных производителей сельскохозяйственной продукции и смена форм хозяйствования существенно влияют на показатель биопродуктивности.

В настоящее время основными производителями картофеля, овощей и различной животноводческой продукции в стране и регионе являются хозяйства населения (рис. 1.3) [96, 97]. В свою очередь по объемам производства зерна ведущее место занимают сельскохозяйственные организации.

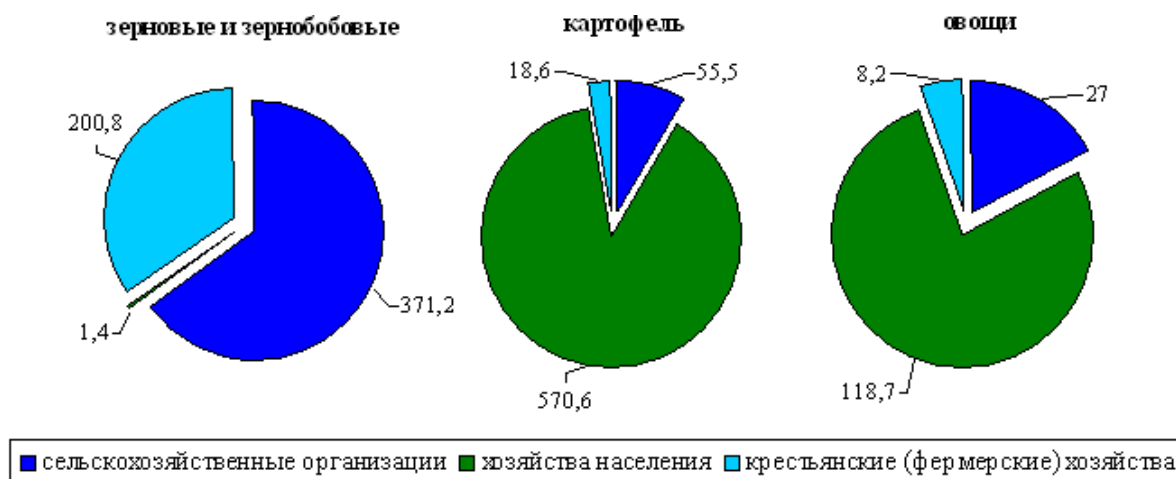


Рисунок 1.3 – Валовой сбор сельскохозяйственных культур в Иркутской области по категориям хозяйств за 2011 г., тыс. т

В большинстве развитых стран имеется положительная тенденция урожайности сельскохозяйственных культур, хотя в нашей стране по сравнению с ними данный параметр остается низким (рис. 1.4).

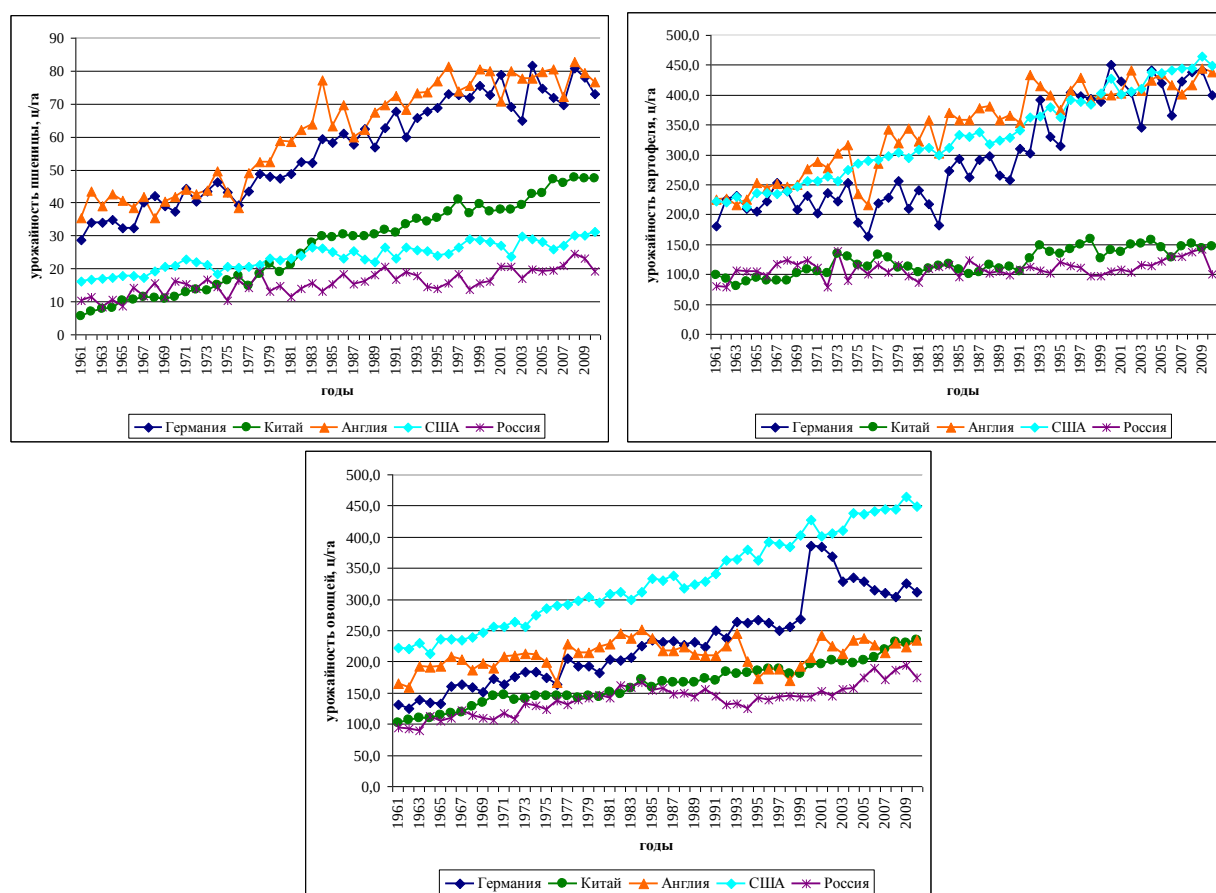


Рисунок 1.4 – Урожайность пшеницы, картофеля и овощей в различных странах за 1961-2010 гг.

Так, наиболее значимым трендом, судя по коэффициенту детерминации (R^2), обладает ряд урожайности пшеницы в Китае ($R^2=0,98$) и Германии ($R^2=0,93$). В России тенденция роста незначительна, тренд менее устойчив ($R^2=0,59$). Противоположная ситуация наблюдается в рядах картофеля, значимые тренды присутствуют в последовательностях США ($R^2=0,98$) и Англии ($R^2=0,88$), а в России ($R^2=0,13$) – тенденция неустойчивая. Стабильный рост урожайности овощей наблюдается практически во всех странах. Исключение составляет ряд овощей в Англии ($R^2=0,18$).

При оценке изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур следует учитывать, что статистический анализ не всегда отражает реальную ситуацию. Обратим внимание на стабильный рост урожайности овощей в России с 1994 г. Причем в отличие от урожайности в других странах в нашей стране она практически не зависела от погоды. Объем вносимых удобрений при этом многократно уменьшился по сравнению с советским периодом [62].

В Иркутской области наиболее распространенными сельскохозяйственными культурами являются:

- зерновые (пшеница, ячмень, овес);
- овощи (картофель, капуста, свекла, морковь);
- кормовые (кукуруза, кормовые корнеплоды, силосные культуры, однолетние и многолетние травы на сено и зеленый корм).

В свою очередь культуры делятся на сорта. В настоящее время выращивают 10 сортов пшеницы, 6 – овса, 5 – ячменя и 9 – картофеля. Сорта сельскохозяйственных культур в Иркутской области меняются примерно раз в 5-10 лет. В 2010 г. в Иркутской области выращивалось 9 сортов пшеницы, 6 сортов овса, 5 сортов ячменя и 9 сортов картофеля. Потенциальная урожайность сортов пшеницы колеблется в пределах 45-60 ц/га, овса – 50-64 ц/га, ячменя – 45-57 ц/га, картофеля – 350-500 ц/га. [20].

Одним из параметров, влияющих на урожайность, является климат [100]. Оценка влияния климата на сельскохозяйственное производство складывается из оценки: термических и частично световых ресурсов

вегетационного периода и его отдельных частей; ресурсов увлажнения вегетационного периода и его составляющих; условий перезимовки растений; микроклимата; неблагоприятных (опасных) для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлений [80].

Условно факторы, влияющие на урожайность, можно разделить на: экономические, природно-климатические и управленческие (рис. 1.5).

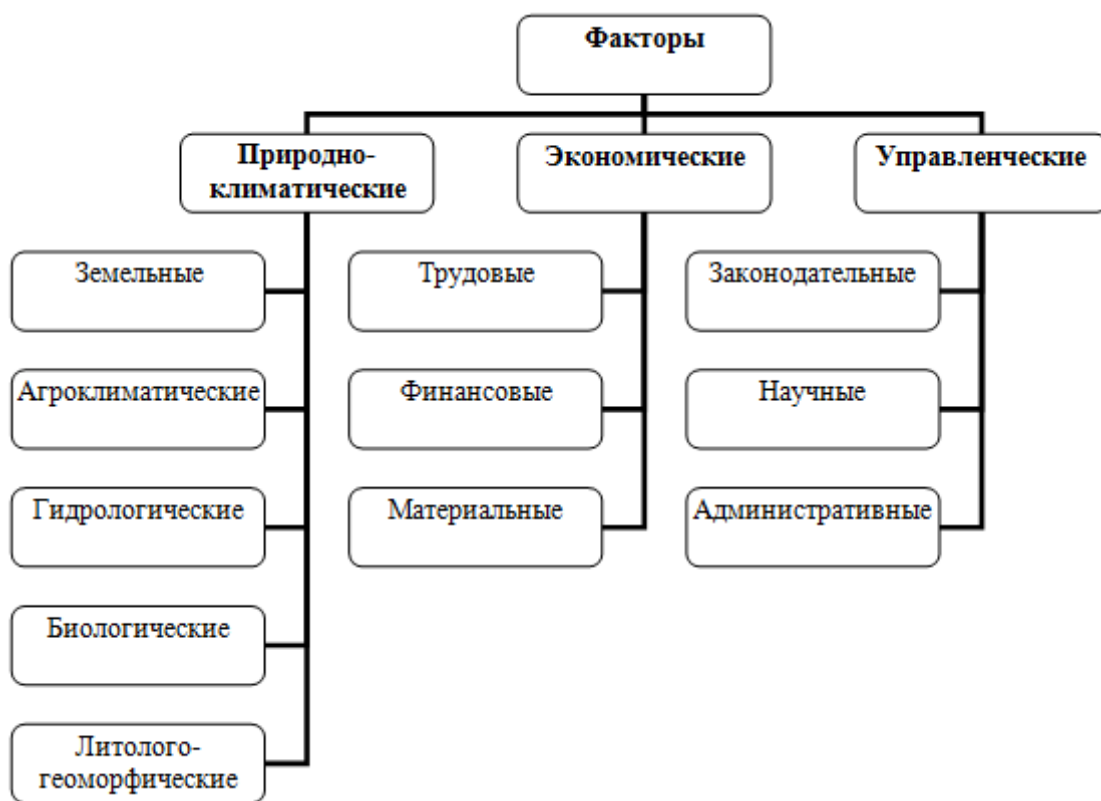


Рисунок 1.5 – Факторы, влияющие на развитие аграрного производства

Следует учитывать, что в разных частях региона влияние климата на урожайность различно. Существует ряд параметров, использующихся при выделении сельскохозяйственных зон, к которым относят: природные особенности конкретной территории (рельеф, климат, почвы); ее заселенность (размещение трудовых ресурсов и потребителей продукции); экономическую освоенность (наличие необходимой инфраструктуры).

По действующему в настоящее время природно-сельскохозяйственному районированию территория Иркутской области

поделена на три зоны: остепненную, лесостепную и подтаежно-таежную [41].

Серышевым В.А. и Солодуном В.И. [99] выделены восемь агроландшафтных районов: северный приленский таежно-подтаежный, среднеангарский таежно-подтаежный, северо-западный подтаежно-таежный, центральный лесостепной, юго-восточный лесостепной, Боханско-Осинский лесостепной, Балаганско-Нукутский остепненный, Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной.

Таким образом, анализ параметров аграрного производства можно проводить на различных уровнях агрегирования: регион, сельскохозяйственные зоны, агроландшафтные районы, муниципальные районы, предприятия (сельскохозяйственные организации, крестьянские (фермерские) хозяйства, личные подсобные хозяйства).

Средние значения урожайности различных сельскохозяйственных культур по 8 агроландшафтным районам Иркутской области, рассчитанные на основании данных за период 1996-2012 гг., приведены в таблице 1.4.

Согласно высоким средним значениям и незначительным коэффициентам вариации рядов (табл. 1.4) наиболее благоприятными для выращивания сельскохозяйственных культур являются центральный лесостепной и юго-восточный лесостепной агроландшафтные районы, что обосновано хорошими почвенно-климатическими условиями данных территорий [101].

Сумма месячных температур за вегетационный период в этих районах имеет незначительную вариацию, а средний показатель увлажнения выше, чем в других районах.

Анализ рядов групп сельскохозяйственных культур в мире показывает, что тенденции их роста являются более устойчивыми, чем в России. В основном это связано с благоприятным климатом, использованием новых технологий обработки почв и др.

Таблица 1.4 – Средняя урожайность сельскохозяйственных культур по агроландшафтным районам за 1996-2012 гг. (ц/га)

Культуры	Северный приленский таежно-подтаежный		Среднеангарский таежно-подтаежный		Северо-западный подтаежно-таежный		Центральный лесостепной		Юго-восточный лесостепной		Боханско-Осинский лесостепной		Балаганско-Нукутский остепненный		Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной	
	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v	y_{cp}	C_v
Зерновые культуры	9,0	0,17	11,7	0,22	11,5	0,25	15,7	0,13	19,0	0,16	13,2	0,14	11,0	0,28	12,0	0,32
Овощи	190,2	0,21	172,7	0,26	177,5	0,24	195,2	0,27	211,9	0,26	204,4	0,18	201,4	0,08	193,7	0,19
Картофель	124,7	0,066	123,2	0,10	134,7	0,14	136,8	0,060	167,6	0,079	111,8	0,32	126,1	0,09	129,3	0,11
Кормовые корнеплоды	84,0	0,93	120,4	0,53	46,6	0,96	126,4	0,50	112,6	0,51	-	-	-	-	98,0	0,57
Сумма месячных температур за вегетационный период	66,5	0,105	65,5	0,052	70,1	0,043	71,0	0,053	70,4	0,053	70,4	0,056	68,4	0,052	64,4	0,064
Сумма месячных осадков за вегетационный период	256,4	0,25	260,6	0,17	310,2	0,20	298,6	0,29	352,7	0,23	295,4	0,20	274,0	0,27	293,6	0,21

Иркутская область относится к зоне рискованного земледелия, в различных частях которой влияние климатических факторов на урожайность значительно отличается. Но, несмотря на это, в регионе имеются агроландшафтные районы с благоприятными для выращивания сельскохозяйственных культур условиями.

1.3 Методы оценки урожайности сельскохозяйственных культур

Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур, как правило, начинается со статистического анализа, позволяющего изучить соотношения между закономерностью и случайностью формирования значений уровня ряда и оценить количественные меры их влияния [49, 52].

Большинство рядов урожайности сельскохозяйственных культур являются случайными, поэтому для оценки статистических параметров могут быть применены различные методы. Один из наиболее известных и простых

в употреблении методов – метод моментов. В статистике на основе выборочных моментов проводится точечная и интервальная оценка характеристик распределения, таких как математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации [123].

Для оценки статистических параметров некоторое распространение получил *метод квантилей*, предложенный Г.А. Алексеевым [4, 5 и др.]. Суть этого метода заключается в использовании ранговых характеристик. Сначала определяется эмпирическая кривая распределения вероятностей y , которая графически усредняется. Затем с усредненной кривой снимаются ординаты y_p^* с вероятностью превышения $p=5, 50$ и 95% . По полученным значениям вычисляются искомые стандартные параметры, и по ним строится выборочное распределение y .

Наиболее важным методом нахождения с теоретической и практической точки зрения является *метод наибольшего правдоподобия*. Этот метод был предложен Р. Фишером, в последующем математики различных стран принимали участие во всесторонней разработке этого метода. При использовании данного метода определяется функция правдоподобия [32], которая представляет собой произведение плотностей вероятностей распределения, зависящих от искомых статистических параметров:

$$L(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n; a_1, a_2, a_3, \dots, a_k) = \prod_{i=1}^n p_i(y_i; a_1, a_2, \dots, a_k), \quad (1.1)$$

где y_i – ряд случайных величин количеством n , a_j ($j = \overline{1, k}$) – множество k статистических параметров.

Отличием метода моментов является возможность с помощью простых формул получать оценки статистических параметров. Вычисление основных параметров ряда проводится с помощью известных формул (табл. 1.5), в которых y_i – значения исследуемой последовательности ($i=1, 2, \dots, n$).

Таблица 1.5 – Основные статистические параметры рядов, полученные методом моментов

Показатель	Расчетная формула
1. Среднее значение	$y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$
2. Среднеквадратическое отклонение (СКО)	$\sigma = \sqrt{D_x}$
3. Дисперсия	$D_x = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^2}{n}$
4. Несмещенная оценка дисперсии	$\sigma_n^2 = \frac{n\sigma^2}{n-1}$
5. Среднеквадратическое отклонение для несмещенной оценки дисперсии	$\sigma_n = \sqrt{\sigma_n^2}$
6. Среднее линейное отклонение	$l = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - y_{cp} }{n}$
7. Моменты центральные: третий четвертый	$\mu_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^3}{n}$ $\mu_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^4}{n}$
7. Коэффициент асимметрии несмещенная оценка стандартная ошибка коэффициента асимметрии	$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$ $C'_s = \frac{\sqrt{(n-1)n}}{n-2} C_s$ $\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}}$
8. Эксцесс несмещенная оценка стандартная ошибка эксцесса	$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$ $E_s = \frac{n-1}{(n-2)(n-3)} [(n+1)E + 6]$ $\sigma_E = \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}}$
9. Коэффициент автокорреляции	$R_\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (y_i - y_{cp}) \cdot (y_{i+\tau} - y_{cp})}{\sigma_i \sigma_{i+\tau} (n-\tau-1)}$
10. Коэффициенты вариации по размаху по среднему линейному отклонению по СКО с учетом автокорреляции	R / y_{cp} l / y_{cp} σ / y_{cp} $\tilde{C}_v$ $\sqrt{1 - \frac{2R_1}{n(n-1)(1-R_1)} \left(n - \frac{1-R_1^n}{1-R_1} \right)}$

В таблице 1.5: n – объем выборки; τ – порядок сдвига, изменяющийся от 0 до m ($\tau = 0, 1, 2, \dots, m$); y_i – значения ряда от y_1 до $y_{n-\tau}$; y_i^{cp} и σ_i – среднее значение и стандарт для части выборки от 1 до $n - \tau$; $y_{i+\tau}$ – значения ряда от $y_{1+\tau}$ до y_n ; $y_{i+\tau}^{cp}$ и $\sigma_{i+\tau}$ – среднее значение и стандарт для выборки размером от $1 + \tau$ до n , $R = y_{\max} - y_{\min}$ – размах; $y_{\min}$ – минимальное значение ряда; $y_{\max}$ – максимальное значение ряда; $\tilde{C}_v$ – коэффициент вариации по СКО.

При использовании метода моментов такие параметры, как эксцесс и коэффициент вариации могут иметь неявную функциональную зависимость [48]. Для обхода данной проблемы при меньших затратах труда и времени А.В. Гриневич предложил использовать отрицательные моменты.

В частности, существенный интерес в данном случае представляет момент степени (-1)

$$\mu_{-1} = \int_0^{\infty} \frac{1}{y} u dy, \quad (1.2)$$

$$\text{или } \mu_{-1} \cong q_{cp} \sum_0^{\infty} \frac{\delta}{q}, \quad (1.3)$$

где $y = q/q_{cp}$, $u = \delta q_{cp} / \Delta q$ при δ и q , равных табличным значениям относительной частоты переменных.

Для непосредственного определения параметров закона распределения и коэффициента асимметрии Гриневичем использованы, так называемые, номограммы, отражающие зависимость коэффициента асимметрии от коэффициента вариации и момента μ_{-1} (прил. 1). Автор считает, что полученный коэффициент асимметрии предпочтительнее коэффициента, найденного обычным методом моментов.

Относительно ряда статистических параметров отметим следующее. Коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса позволяют сделать предварительные заключения о применимости того или иного закона распределения вероятности. В случае, когда $C_s = 0$, $C_s \leq 3\sigma_{C_s}$ или $E \leq 5\sigma_E$, принимается гипотеза о нормальности распределения. Если $C_s = C_v^3 + 3C_v$

закон распределения вероятности ряда принимается логарифмически нормальный, а если $C_s = 2C_v$ - гамма-распределение.

Временные ряды представляют собой последовательности измерений, упорядоченные в неслучайные моменты времени. В отличие от оценки случайных выборок при анализе временных рядов последовательные значения рассматриваются через равные промежутки времени.

Всесторонний анализ методов оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур на территории Иркутской области показал необходимость комплексного математического обеспечения анализа и выявления закономерностей этого параметра.

Для моделирования многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур используют:

- формализованные методы: экстраполяция трендов, регрессионные модели, факторный анализ, имитационное моделирование, оптимизацию;
- экспертные методы: коэффициенты оправдываемости и эффективности применяемых методик, коэффициенты расхождения, экспертные оценки.

Поскольку во многих рядах урожайности сельскохозяйственных культур между значениями временного ряда имеются зависимости, т.е. значения последующего периода могут быть зависимыми от значений предыдущего [2, 6], для выявления или опровержения этой гипотезы используется автокорреляционный анализ.

Наличие автокорреляционных зависимостей оказывает влияние на величину коэффициентов вариации и асимметрии. При этом необходимо в традиционные выражения средних квадратических погрешностей ввести поправки, отражающие степень влияния внутрирядных связей:

$$C_v = \frac{\tilde{C}_v}{\sqrt{1 - \frac{2R_1}{n(n-1)(1-R_1)} \left(n - \frac{1-R_1^n}{1-R_1} \right)}}, \quad (1.4)$$

$$C'_s = \frac{\sqrt{(n-1)n}}{n-2} C_s. \quad (1.5)$$

Значение коэффициентов автокорреляции изменяются от -1 до 1 . Принято считать, если $R_\tau \geq 0,3$, то связь является значимой. В случае, когда $R_\tau \geq 0,7$, строится уравнение авторегрессии для прогнозирования временного ряда.

Чем коэффициент автокорреляции ближе к 1 и длиннее выборка, тем его точность выше. Отметим, что значение погрешности с увеличением сдвига τ возрастает. Таким образом, при небольших значениях τ ординаты R_τ определяются более точно, соответственно наибольшей достоверностью обладает первый коэффициент автокорреляции [127].

Значимое уравнение авторегрессии позволяет получать точечный и интервальный прогноз. В отличие от выделения трендов, авторегрессионный анализ основан на конкретном состоянии объекта (конкретного показателя) при изучении тенденции его изменения, то есть без учета влияния каких-либо других факторов.

Авторегрессионное уравнение имеет вид

$$y_t = f(y_1, y_2, \dots, y_{t-k}), \quad (1.6)$$

где y_t – прогнозируемое значение конкретного показателя в t -ом году; $1, 2, t-k$ – база прогноза; k – период упреждения, в зависимости от которого прогноз может осуществляться на k лет. Авторегрессионное уравнение может иметь как линейный, так и нелинейный вид. Неопределенность факторов в методике авторегрессионного прогнозирования является ее недостатком [81].

Кроме обработки на основании методов автокорреляции, авторегрессии и оценки статистических параметров, ряды исследуют на наличие трендов.

Трендом называют устойчивое и плавное изменение уровня ряда во времени, являющееся свободным от случайных колебаний [81].

Функцию вида $y_t = f(t)$, где $t=0, 1, 2, \dots, n$ – переменная времени; y_t – теоретические уровни ряда, называют уравнением тренда. Отметим, что

выбор вида трендового уравнения зависит от характера ряда. Так, линейная функция чаще всего используется в рядах со стабильным абсолютным приростом (табл. 1.6).

Линейный тип тренда часто используется на практике для описания тенденций при равномерных изменениях уровня ряда. К таковым можно отнести урожайность культур, поголовье скота, продуктивность животных, численность населения, сумму доходов населения и т.д. В других случаях используются функции, приведенные в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Виды трендовых уравнений

Название функции (тренда)	Аналитическое уравнение
Степенная	$y_t = at^b$
Показательная	$y_t = ab^t$
Парабола 2-го порядка	$y_t = a + bt + ct^2$
Полулогарифмическая	$y_t = a + b \log t$
Гипербола	$y_t = a + b \frac{1}{t}$
Линейная	$y_t = a + bt$

Анализ рядов урожайности зерновых культур и картофеля [27] показал, что в некоторых сельскохозяйственных предприятиях существуют значимые тренды, с высокими коэффициентами детерминации. Однако в муниципальных образованиях, к которым относятся выделенные сельскохозяйственные предприятия, значимых трендов не выявлено. Выполненная оценка основана на непродолжительной выборке.

В работе [36] построены трендовые модели по данным об урожайности сельскохозяйственных культур за период 1990-2009 гг. На основании рассчитанных коэффициентов детерминации можно сделать вывод, что за последнее пятилетие урожайность всех сельскохозяйственных культур имеет положительную тенденцию. Если же рассматривать данный показатель за двадцатилетний период, урожайность однолетних и многолетних трав на сено имеет отрицательную тенденцию. В целом же значения данной

характеристики не имеют устойчивых тенденций, что обуславливается влиянием большого количества факторов.

Некоторые урожайности сельскохозяйственных культур за последние 20 лет могут быть описаны с помощью тренда в виде параболы. Подобные тенденции наблюдаются для урожайности зерновых культур в Куйтунском, Усольском и Черемховском районах [27].

Особое место среди эконометрических моделей занимают факторные модели, которые характеризуют связи между результативным признаком и факторами, влияющими на него. На основе корреляционно-регрессионного и автокорреляционного анализов можно строить одно- и многофакторные модели. Факторная модель имеет общий вид

$$y_t = f(t_{1t-k}, t_{2t-k}, \dots, t_{nt-k}), \quad (1.7)$$

где $t_1; t_2; \dots; t_n$ – факторные признаки, влияющие на результативный признак, k – период упреждения, n – номер прогнозируемого года.

Согласно [36] двухфакторная модель для прогнозирования урожайности зерновых культур для остепненной зоны Иркутской области выглядит следующим образом

$$y_t = -8,60 + 0,031t_2 + 0,22 t_3, \quad (1.8)$$

а для лесостепной зоны:

$$y_t = 12,7 - 0,12t_1 + 0,13 t_3, \quad (1.9)$$

где y – урожайность зерновых культур, ц/га, t_1 – сумма средней месячной температуры (май – сентябрь), t_2 – сумма месячных осадков за вегетационный период, t_3 – сумма числа дней бездождевого периода (май – сентябрь).

В работе [8] с помощью регрессионного анализа построены модели зависимости даты посева от среднесуточных температур за предшествующий период 30, 20 и 10 суток до даты посева для Иркутского района:

$$y_t = -0,08t_{30} + 18,75, \quad (1.10)$$

$$y_t = -0,12t_{20} + 22,61, \quad (1.11)$$

$$y_t = -0,13t_{10} + 18,58, \quad (1.12)$$

где t_{10} , t_{20} и t_{30} – показатели сумм среднесуточных температур и осадков за последние 30, 20 и 10 суток до даты посева.

В случае, когда ряды урожайности сельскохозяйственных культур являются случайными, используются вероятностные распределения. При описании рядов биопродуктивности наиболее распространены: гамма, нормальный, экспоненциальный законы распределения и др. [17, 116]. В качестве критериев согласия эмпирических и аналитических функций распределения применимы критерии χ^2 , Колмогорова и Крамера-Мизиса-Смирнова.

При моделировании случайных величин возможно использование метода статистических испытаний. Сущностью этого метода является то, что результат испытания зависит от значения некоторого случайного числа, имеющего заданный закон распределения. При этом случайный характер носит результат любого полученного испытания [33].

В работах [27, 36, 61, 87 и др.] на основе метода статистических испытаний сформулированы и решены различные задачи факторного анализа и оптимизации отраслей растениеводства и животноводства.

Для оценки случайных и неслучайных систем, постоянства трендов и продолжительности циклов, если таковые имеются, Х.Е. Херстом предложен метод нормированного размаха, или ***R/S(σ)-анализа***, который используется для различения случайного временного ряда и фрактального временного ряда [109].

Для калибровки временных изменений Херст ввел следующее соотношение

$$R/\sigma = (A \cdot N)^H, \quad (1.13)$$

где R/σ – нормированный размах, N – число наблюдений, A – константа, H – показатель Херста.

Для оценки величины H по значению R/σ Херст сформулировал свой эмпирический закон:

$$H = \log(R/\sigma) / \log(n/2), \quad (1.14)$$

где n – количество наблюдений [109].

В стандартной эконометрике ряды принимаются инвариантными по отношению ко времени. Но во фрактальном анализе время – итеративный процесс, и влияние на будущее настоящего описывается следующим выражением:

$$C = 2^{2H-1} - 1, \quad (1.15)$$

где C – мера корреляции, H – показатель Херста.

В работе [59] согласно критерию Херста ряды минимальной зимней температуры и в меньшей степени урожайности сельскохозяйственных культур обладают антиперсистентным поведением, т.е. значения последовательностей являются зависимыми. Другими словами, ряды этих характеристик подвержены колебаниям – подъемы сменяют спады и наоборот. Гидрологические события, судя по анализу многолетних наблюдений, являются случайными.

Комплекс предложенных моделей необходим для оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур, значения которой используются в задачах математического программирования.

В заключение отметим, что из множества математических методов, которые использовали различные авторы, применительно к Иркутской области выделены методы экстраполяции трендов; авторегрессионного анализа и статистических испытаний. Данные методы позволяют оценивать изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур для прогнозирования и планирования производства растениеводческой продукции.

1.4 Урожайность как параметр управления в задачах оптимизации производства

Особый интерес при планировании сельскохозяйственного производства вызывают задачи математического программирования. Применение оптимизационных моделей позволяет получить ощутимый результат, так как при планировании аграрного производства часто приходится сталкиваться с проблемой выбора оптимальных вариантов использования земли, трудовых и материально-денежных ресурсов, техники, удобрений и т.д. [84, 90, 91, 93, 108].

В настоящее время успешно решаются задачи размещения, специализации и концентрации сельскохозяйственного производства, определения оптимальных размеров предприятий по зонам, эффективности капиталовложений, планирования материально-технического снабжения, отраслевой структуры предприятий, оптимального распределения минеральных удобрений, определения оптимального состава машинно-тракторного парка и его использования и т.д. [44, 64-67, 69-71 и др.]. Следует отметить, что одним из параметров ограничений оптимизационных задач является урожайность сельскохозяйственных культур.

Существует значительное число экономических систем, в частности из области управленческой деятельности, при моделировании которых получают различные формы задач оптимизации. Практически любая задача математического программирования состоит в оптимизации заданной целевой функции при некоторых ограничениях, в которой либо максимизируется прибыль, либо минимизируются затраты. При этом в различных задачах имеются ограничения по объему имеющихся денежных средств, ресурсов и др. Подобные ограничения обычно записываются в виде равенств и неравенств [47, 50, 51, 63].

В общем виде постановка задачи математического программирования состоит в определении наибольшего или наименьшего значения целевой функции

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min \quad (1.16)$$

при условиях

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1.17)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = \overline{1, n}), \quad (1.18)$$

где f и g_i – заданные функции, b_i – некоторые действительные числа [4].

В математическом программировании принято выделять различные виды задач математического программирования [3, 44, 67, 78, 79, 111, 121, 126, 128-130 и др.] (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Классификация задач математического программирования

По первому признаку выделяют микро- и макроэкономические модели. Микроэкономическая модель – отражает функционирование и структуру отдельного элемента экономической системы, взаимодействие его с другими элементами системы в процессе ее функционирования.

Макроэкономическая модель – отражает функционирование народного хозяйства как единого целого.

Согласно второму признаку, при наличии нескольких целевых функций задача (1.16)-(1.18) превращается в многокритериальную. Главная сложность при решении этого вида задач заключается в неоднозначности оптимального решения: в точке, где один из критериев достигает своего максимума, другой может быть очень далек не только от максимума, но и даже от какой-либо приемлемой величины.

Задачу с несколькими целевыми функциями можно свести к задаче с единственным показателем f_1 и стремиться обратить его в максимум, а на остальные, вспомогательные показатели $f_2, f_3 \dots$ наложить некоторые ограничения вида

$$f_2 \geq f_2^0, f_3 \geq f_3^0, f_n \geq f_n^0. \quad (1.19)$$

Эти ограничения войдут в комплекс заданных условий $a_1, a_2, \dots$.

Третий признак классификации задач математического программирования – по типу параметров модели, в качестве которых используются детерминированные и неопределенные параметры. Статистическая обработка временных рядов параметров, описывающих структуру посевов, показывает, что некоторые из них характеризуются значимыми трендами и внутрирядными связями [92], что позволяет моделировать размещение посевов сельскохозяйственных культур с помощью задачи параметрического программирования:

$$f(x) = \sum_{j \in J} c_j(t) x_j \rightarrow \min (\max), \quad (1.20)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij}(t) x_j = b_i \quad (i \in I), \quad (1.21)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in J), \quad (1.22)$$

где f – целевая функция, x_j – переменная, $c_j(t)$ – коэффициенты целевой функции, изменяющиеся в интервале $[\alpha, \beta]$, $a_{ij}(t)$, $b_i(t)$ – коэффициенты ограничений модели, t – параметр. В качестве параметра t можно использовать время, предшествующие значения, факторы, связанные с коэффициентами модели [28].

Большинство реальных задач, связанных с моделированием структуры посевов, описывается множеством параметров, некоторые из которых являются неопределенными. Другими словами, выделяются оптимизационные задачи, решение которых связано с определением вариантов деятельности предприятий в условиях неопределенности.

По отношению к случайности различают стохастическую и нестохастическую неопределенности [88, 113].

Неопределенность является стохастической (вероятностной), если неизвестные факторы статистически устойчивы и представляют собой случайные величины, для которых известны или определены законы распределения и их параметры [7, 29, 35, 36, 54, 55].

Такая ситуация описывается задачей стохастического программирования, которая имеет вид:

$$f(x) = \sum_{j \in J} c_j^p x_j \rightarrow \min(\max), \quad (1.23)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij}^p x_j \leq (\geq) b_i^p \quad (i \in I), \quad (1.24)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in J), \quad (1.25)$$

где p – вероятность выполнения каждого заданного ограничения [113].

Так как представленная задача является сложной, возможным методом ее решения является переход к детерминированному эквиваленту. В основе этого перехода лежит использование закона распределения случайной величины. В практике наиболее часто используется семейство нормальных и гамма-распределений [92].

Следует отметить, что в задаче (1.16)-(1.18) коэффициенты ограничений a_{ij} могут представлять собой вероятностные величины, зависящие от вероятности превышения (p):

$$f(x) = \sum_{j \in J} c_j x_j \rightarrow \min(\max), \quad (1.26)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij}^p x_j \leq (\geq) b_i \quad (i \in I), \quad (1.27)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in J). \quad (1.28)$$

При нестохастической неопределенности, когда нельзя сопоставить вероятности результатов при выборе того или иного решения, хотя возможный набор результатов известен, можно использовать модели с интервальными параметрами в целевой функции и в ограничениях. Подобные задачи рассмотрены в работах [27, 38, 61 и др.]. Целевая функция и ограничения в этом случае имеют вид:

$$f(x) = \sum_{j \in J} \tilde{c}_j x_j \rightarrow \min(\max), \quad (1.29)$$

$$\underline{\tilde{c}}_{ij} \leq \tilde{c}_{ij} \leq \bar{\tilde{c}}_{ij}, \quad (1.30)$$

$$\sum_{s \in S} \tilde{a}_{ij} x_j \leq (\geq) b_i \quad (i \in I), \quad (1.31)$$

$$\underline{\tilde{a}}_{ij} \leq \tilde{a}_{ij} \leq \bar{\tilde{a}}_{ij}, \quad (1.32)$$

где $\underline{\tilde{c}}_{ij}$, $\underline{\tilde{a}}_{ij}$ – нижние оценки параметров, $\bar{\tilde{c}}_{ij}$, $\bar{\tilde{a}}_{ij}$ – верхние оценки параметров.

В случаях, когда закон распределения неопределенных величин неизвестен, используются различные методы оценки значений функции распределения случайной величины, например, средние значения, величина CVaR, мера риска (PCRM) [104]. Методический учет таких факторов базируется на формировании специальных критериев, на основе которых принимаются решения [113]. К ним относятся критерии Вальда, Сэвиджа, Гурвица и Лапласа.

При решении задач с неопределенными и вероятностными значениями можно использовать метод статистических испытаний, основанный на

моделировании случайных величин и построении статистических оценок для искомых величин. Так, в работе [61] предложены алгоритмы определения площади земельных ресурсов с использованием метода Монте-Карло. При этом в первом случае урожайности сельскохозяйственных культур взаимосвязанные, а во втором – одни ряды описываются трендами, а другие – являются неопределенными.

Помимо этого, при решении задач стохастического программирования можно выделить несколько направлений. Первое из них состоит в замене случайных параметров средними значениями, что позволяет получить решения задач на уровне математических ожиданий. Другой путь – изучение двухэтапных задач линейного программирования с вероятностными параметрами. При решении таких задач, на первом этапе определяется некоторое число значений критерия оптимальности, а на втором этапе осуществляется выбор оптимальных решений в зависимости от потребностей пользователя [56].

По временному фактору выделяют статические и динамические модели оптимизации структуры посевов. К статическим моделям относятся задача линейного программирования и многокритериальная задача, а к динамическим – задачи параметрического программирования, включающие в себя параметр времени. Реализация подобных моделей позволяет решать различные задачи, связанные с прогнозированием при наличии устойчивых тенденций изменчивости рассматриваемых процессов [78, 79].

Если функции f и g_i задачи (1.17)-(1.19) линейные, то и задача является задачей линейного программирования. В случае если хотя бы одна из указанных функций нелинейная – задачей нелинейного программирования.

Для поиска оптимального решения различных задач математического программирования используют детерминированные, случайные (стохастические) и комбинированные методы [69].

В зависимости от природы множества X задачи математического программирования классифицируются на:

- задачи дискретного программирования (или комбинаторной оптимизации), если X конечно или счётно;
- задачи целочисленного программирования, если X является подмножеством множества целых чисел;
- задачи нелинейного программирования, если ограничения или целевая функция содержат нелинейные функции и X является подмножеством конечномерного векторного пространства;
- задачи линейного программирования, если все ограничения и целевая функция содержат лишь линейные функции [66, 105, 106].

Описанные модели отличаются по своей содержательной постановке и решают разнообразные оптимизационные задачи, позволяющие моделировать структуру посевов. В зависимости от особенностей изменчивости рядов урожайности определяют вид оптимизационной модели, которая в общем случае включает в себя динамические, стохастические и неопределенные параметры.

Предложенные задачи могут быть применены для оптимизации размещения посевов на уровне сельскохозяйственных зон, муниципальных образований, где формируется множество различных по происхождению неблагоприятных природных явлений, влияние которых на урожайность в разных частях области различно.

Следует отметить, что предложенный комплекс моделей является основой при программировании урожайности, которое основывается на рациональном использовании эколого-генетических возможностей культур, почвенно-климатического потенциала территории, а также имеющихся в хозяйстве материальных, сырьевых и трудовых ресурсов [110].

Помимо приведенных моделей (1.26)-(1.28), (1.29)-(1.32) можно рассматривать задачу оптимизации структуры посевов, в которой одни параметры являются случайными, а другие интервальными.

2 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

2.1 Статистический анализ пространственно-временных колебаний урожайности

Территория России в целом и Иркутской области в частности характеризуется разнообразными климатическими условиями, которые определяются рядом географических факторов, в том числе географическими положениями, размерами и протяженностью с запада на восток и с севера на юг, большим разнообразием рельефа [83].

По климатическим условиям территория Иркутской области выделяется среди других регионов страны, лежащих в тех же широтах, но находящихся в Европейской части России или на Дальнем Востоке. Здесь более длинная зима, более высокая амплитуда температур воздуха, значительное количество часов солнечного сияния [45].

На климат Иркутской области оказывают влияние оз. Байкал и ангарские водохранилища. В прилегающих к ним районах зима заметно мягче, а лето прохладнее. Громадная масса воды и площадь этих водоемов сглаживают резкие среднегодовые и среднесуточные перепады. Вблизи байкальского побережья среднегодовая температура имеет положительное значение (до $+0,5^{\circ}\text{C}$) [45].

В работе [125] отмечается, что основные тенденции изменения сезонных и годовых значений метеорологических параметров на Байкале за последние 40 лет зависят от активности зональной циркуляции. Усиление увлажненности привело к увеличению влажности воздуха, количества атмосферных осадков и суммарного годового притока речных вод из водосборного притока.

Согласно пространственно-временному анализу средних годовых температур более чем за 100 лет по мере продвижения на север от 52° до 58° широты значимость и параметры выявленных трендов изменяются [58].

По полученным результатам тенденция потепления наблюдается на юге. В средней части территории тренды повышения температуры менее устойчивы, а на севере устойчивые тенденции в многолетних рядах средней годовой температуры фактически отсутствуют. Примерно такая же ситуация имеет место для продолжительности безморозного периода и температуры за вегетационный период.

Кроме того, наблюдается тенденция повышения минимальных зимних температур. По показателю Херста и автокорреляционному анализу ряды этого параметра являются антиперсистентными.

В отличие от температур годовые и наибольшие суточные осадки представляют собой случайные величины [24].

Согласно [23] за последние 50 лет на территории Иркутской области коэффициенты вариации рядов сумм температур и осадков за вегетационный период составляют 0,080 и 0,15 соответственно. Кроме того, в рядах сумм температур за вегетационный период (1962-2012 гг.) наблюдаются положительные тенденции. В частности, для Иркутска, Тайшета и Нижнеудинска коэффициент детерминации (R^2) уравнения тренда этого параметра составляет 0,35-0,40. Вместе с тем для пунктов, находящихся на севере и северо-востоке (Балаганск, Братск, Бохан, Качуг), параметр R^2 ниже – 0,22-0,30.

Обращает на себя внимание тот факт, что, в отличие от рядов продолжительностью 50 лет, параметры тепла и влаги за 1996-2012 гг. изменяются непредсказуемо. Так, в рядах температуры за вегетационный период тренды отсутствуют. В некоторых пунктах наблюдений имеют место слабые значимые автокорреляционные зависимости. В рядах осадков за аналогичный период наблюдается положительная динамика. В пунктах Балаганск и Зима коэффициент детерминации составляет 0,22 и 0,26. Слабая

значимая обратная внутрирядная связь присутствует только в ряде сумм месячных осадков за вегетационный период в Братске (коэффициент автокорреляции $R_1=-0,32$).

По данным 1996-2012 гг. в большинстве рядов, описывающих число дней бездождевого периода (Балаганск, Баяндай, Зима, Иркутск, Тайшет), наблюдаются слабые значимые прямые и обратные автокорреляционные зависимости. Вместе с тем слабые тренды выявлены лишь в пунктах Зима ($R^2=0,39$) и Тайшет ($R^2=0,24$). В последовательностях числа дней безморозного периода устойчивых тенденций не выявлено, а значимая внутрирядная связь присутствует лишь в пункте наблюдения Зима ($R_1=0,58$).

Учитывая особенности пространственной изменчивости климатических параметров, существует необходимость зонирования региона. При выделении сельскохозяйственных зон учитывают три основные группы факторов: природные особенности конкретной территории (рельеф, климат, почвы); ее заселенность (размещение трудовых ресурсов и потребителей продукции); экономическую освоенность (наличие необходимой инфраструктуры) [18].

Средняя урожайность зерновых культур, рассчитанная на основании данных за 1989-2008 гг. [37] по сельскохозяйственным зонам региона, в остепненной зоне составила 11,3, в лесостепной зоне – 13,3, в подтаежно-таежной – 9,9 ц/га. Наиболее благоприятной зоной для выращивания сельскохозяйственных культур является лесостепная. Из-за хороших почвенно-климатических условий на данной территории получают наибольший урожай не только зерновых, но картофеля и овощей.

Помимо этого, в работе [118, 119] предложено районирование территории области по уровню использования земель. В хозяйствах всех категорий согласно результатам индексной оценки выделены 5 групп районов по уровню использования сельскохозяйственных угодий (прил. 2).

Согласно тенденциям изменчивости температуры к зонам, в которых наблюдается потепление, относятся районы с наиболее высоким уровнем

использования земельных ресурсов (Усольский, Ангарский) и районы второй группы (Иркутский, Черемховский и Зиминский). Первые две группы характеризуются благоприятными природно-климатическими условиями для ведения аграрного производства: значительная сельскохозяйственная освоенность южнотаежных лесов и предгорий Восточных Саян; относительно высокая продуктивность почв. Все это обуславливает относительно высокие показатели производства зерна (488-676 ц), картофеля (815-1400 ц), овощей (540-870 ц), молока (290-390 ц), мяса (300-650 ц) на 100 га сельскохозяйственных угодий.

Кроме природных условий, эта территория обладает экономическим преимуществом для ведения сельскохозяйственного производства, что связано с наличием крупных рынков сбыта сельскохозяйственной продукции и значимой транспортной доступностью.

В среднюю группу по эффективности вошли муниципальные районы, расположенные на западе и северо-западе области, характеризующиеся удаленностью от областного центра, относительно небольшими объемами производства продовольственной продукции и невысокой производительностью труда.

Районы четвертой и пятой групп, расположенные на северо-востоке области, отличаются низким уровнем использования сельскохозяйственных угодий, что обусловлено менее благоприятным климатом для агропроизводства по сравнению с другими районами. Низкие температуры воздуха в сочетании с малопродуктивными почвами существенно ограничивают возможности земледелия и животноводства. Таким образом, сельскохозяйственные предприятия располагаются в основном в долинах рек.

В целом на территории Иркутской области отмечается относительно низкий уровень использования сельскохозяйственных угодий, что отражает проведенная типология, где больше половины муниципальных районов относится к группам с низким уровнем землепользования.

В работе при оценке статистических параметров временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур использовано районирование по агроландшафтным районам. При этом рассматриваемые последовательности могут быть неоднородными.

Для оценки однородности рядов использованы два критерия: проверка равенства средних значений, выделенных из общей выборки рядов; оценка близости дисперсий согласно критерию Фишера [25].

В результате проверки последовательностей урожайности сельскохозяйственных культур на неоднородность выявлено, что в шести агроландшафтных районах [17, 22] (среднеангарский таежно-подтаежный, северо-западный подтаежно-таежный, юго-восточный лесостепной, Боханско-Осинский лесостепной, Балаганско-Нукутский остепненный, Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной) однородными являются ряды урожайности капусты.

Ряд урожайности пшеницы однороден в половине выделенных агроландшафтных территорий, таких как северный приленский таежно-подтаежный, среднеангарский таежно-подтаежный, северо-западный подтаежно-таежный и Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной. Ряд урожайности ячменя однороден в северном приленском таежно-подтаежном, северо-западном подтаежно-таежном, юго-восточном лесостепном и Усть-Ордынско-Баяндаевском остепненно-лесостепном районах.

В трех агроландшафтных районах однородны ряды урожайности однолетних трав на зеленый корм (северный приленский таежно-подтаежный, среднеангарский таежно-подтаежный, юго-восточный лесостепной), многолетних трав на зеленый корм (северный приленский таежно-подтаежный, среднеангарский таежно-подтаежный, северо-западный подтаежно-таежный) и многолетних трав на сено (северо-западный подтаежно-таежный, центральный лесостепной, юго-восточный лесостепной).

Лишь в одном агроландшафтном районе выявлена однородность рядов овса (Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной), картофеля (Боханско-Осинский лесостепной), моркови (юго-восточный лесостепной), свеклы (юго-восточный лесостепной) и однолетних трав на сено (северный приленский таежно-подтаежный).

Неоднородными на всей территории Иркутской области являются ряды урожайности кормовых корнеплодов, кукурузы и силосных культур.

Таким образом, большинство временных рядов, согласно критерию равенства средних значений, выделенных из общей выборки рядов, и условию Фишера являются неоднородными. Вместе с тем последовательности урожайности зерновых культур (пшеница, ячмень, овес) близки к однородным выборкам.

Обращает на себя внимание тот факт, что в рядах урожайности имеют место слабые и сильные внутрирядные связи. В таблице 2.1 приведены первые коэффициенты автокорреляции по агроландшафтным районам Иркутской области.

На основании автокорреляционного анализа проведено районирование территории по степени внутрирядных связей для урожайности групп и видов сельскохозяйственных культур. Пример районирования территории региона по величине первого коэффициента автокорреляции для рядов урожайности пшеницы приведен в приложении 3.

Значимые высокие коэффициенты автокорреляции выявлены в юго-восточном лесостепном районе. Слабая внутрирядная связь определена в среднеангарском таежно-подтаежном, северо-западном подтаежно-таежном, центральном лесостепном и Балаганско-Нукутском остепненном районах. В северном приленском таежно-подтаежном и Боханско-Осинском лесостепном районах коэффициенты автокорреляции рядов близки к нулю.

Таблица 2.1 – Первые коэффициенты автокорреляции рядов урожайности сельскохозяйственных культур в агроландшафтных районах Иркутской области

Район Культура	Северный приленский таежно-подтаежный	Среднеангарский таежно-подтаежный	Северо-западный подтаежно-таежный	Центральный лесостепной	Юго-восточный лесостепной	Боханско-Осинский лесостепной	Балаганско-Нукутский остепненный	Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной
Пшеница	0,19	0,37	0,66	0,30	0,87	0,016	0,45	0,64
Ячмень	0,08	-0,32	0,41	-0,026	0,68	0,36	0,21	0,56
Овес	-0,16	-0,28	0,17	0,34	0,31	0,33	0,42	0,44
Капуста	0,27	0,74	0,14	0,58	0,81	0,54	0,25	0,47
Картофель	-0,17	0,37	0,56	0,42	-0,39	0,57	-0,30	0,012
Морковь	- 0,064	0,016	0,13	0,18	0,58	0,18	0,39	-0,36
Свекла	-0,17	0,47	-0,13	0,44	0,75	-0,082	-0,24	0,19
Кормовые корнеплоды	0,046	-0,031	-0,052	-0,042	0,14	-	-	0,25
Кукуруза	-	0,28	-0,41	0,35	-0,43	-0,04	-	0,63
Силосные культуры	0,086	-0,44	0,37	0,49	0,29	-0,50	-0,15	0,010
Однолетние травы на зеленый корм	0,017	-0,23	0,18	0,25	0,072	0,39	0,22	-0,45
Однолетние травы на сено	0,63	-0,16	0,37	0,63	-0,011	0,35	0,04	0,36
Многолетние травы на зеленый корм	0,23	0,54	-0,058	0,20	-0,021	0,27	-0,30	0,43
Многолетние травы на сено	0,42	0,45	0,70	0,27	0,53	0,26	-0,25	0,60

Следует отметить, что в районах со значимыми внутрирядными связями имеет место увеличение средней годовой температуры. В отличие от рядов урожайности пшеницы и ячменя в последовательностях урожайности овса не выявлено высоких значимых автокорреляционных зависимостей. Для этого показателя определены слабые внутрирядные связи или их отсутствие.

Исходя из автокорреляционного анализа, можно заключить, что временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур обладают

различной степенью внутрирядных связей, которые необходимо учитывать при прогнозировании и планировании производства.

Кроме того, наличие значимых внутрирядных связей увеличивает значения коэффициента вариации и коэффициента асимметрии, полученное методом моментов. Поэтому при статистической оценке выборок учитывалась смещенность коэффициента вариации, на которую оказывает влияние коэффициент автокорреляции. В результате уточнения коэффициента вариации согласно формуле (1.5) получены несмещенные оценки, которые увеличились в среднем на 10,2%.

Наличие внутрирядных связей влияет не только на значение статистических параметров, но и, в конечном итоге, на законы распределения вероятностей, с помощью которых описываются временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур. Для определения согласия аналитических функций распределения эмпирическим применительно к исследуемым характеристикам использованы нормальный, логарифмически нормальный законы распределения вероятностей и гамма-распределение.

Следует отметить, что полученные законы распределения вероятности справедливы только для случайных и слабозависимых выборок. При моделировании временных рядов с высокими значениями коэффициентов автокорреляции применимы авторегрессионные модели [17].

Немаловажное значение для решения практических задач имеют выводы о связях между урожайностями различных сельскохозяйственных культур. По данным 1996-2012 гг. построена матрица коэффициентов корреляции между рядами исследуемых показателей. В различных районах связи между урожайностями проявляют себя по-разному. В большинстве случаев значимых связей между разными сельскохозяйственными культурами не наблюдалось. Вместе с тем обращают на себя внимание зависимости между урожайностью зерновых культур (пшеницы, ячменя, овса) в большинстве агроландшафтных районов, за исключением северного

приленского таежно-подтаежного и Боханско-Осинского лесостепного, значения коэффициентов при этом колеблются в пределах 0,45-0,87.

Согласно критерию Херста ряды урожайности сельскохозяйственных культур являются персистентными. Если ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то вероятно, что он будет сохранять эту тенденцию какое-то время в будущем. Учитывая, что значение этого показателя колеблется в районе 0,50-0,70, ряды урожайности являются зашумленными, т.е. тренд менее выражен.

Необходимо отметить, что коэффициенты корреляции, характеризующие зависимости урожайности пшеницы и однолетних трав на сено, картофеля и кормовых культур, имеют отрицательные значения, что подразумевает наличие обратных связей между этими характеристиками.

Наличие в ряде случаев связей между урожайностями разных культур позволяет точнее оценивать параметры планирования структуры производства и избегать дублирования информации.

На основе критерия Колмогорова определено, что большинство случайных и слабосвязных выборок урожайности зерновых, овощных культур, однолетних и многолетних трав на зеленый корм и сено подчиняются нормальному закону распределения. Гамма-распределение встречается в некоторых районах в рядах кормовых культур, кукурузы, силосных культур и трав, а логарифмически нормальное распределение – в рядах урожайностей моркови, свеклы, капусты и трав. Следовательно, существует возможность моделирования рядов исследуемого параметра с использованием имитационного моделирования.

В отдельных агроландшафтных районах обнаружены значимые коэффициенты корреляции между урожайностями пшеницы и ячменя, ячменя и овса, свеклы и капусты, свеклы и моркови и другими.

В заключении отметим, что большинство рядов биопродуктивности являются неоднородными. Это связано с различными изменениями политического, организационного и технологического характера. Кроме того,

выявлено, что ряды урожайности во многих случаях являются случайными, хотя в некоторых из них встречаются высокие коэффициенты автокорреляции. Помимо этого, большое значение имеют выводы о слабых внутрирядных связях, позволяя преобразовать ряды в случайные последовательности.

2.2 Моделирование изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур

В работе проанализирована информация об урожайности 14 сельскохозяйственных культур за 1996-2012 гг. по различным муниципальным районам и агроландшафтным зонам Иркутской области по всем категориям хозяйств. Результатом анализа является выделение однородных и неоднородных рядов и их кластеризация с учетом принадлежности к значимым трендам, авторегрессионным зависимостям, вероятностным моделям.

Согласно статистическому анализу многолетних рядов урожайности различных групп и видов культур последовательности могут быть описаны с помощью различных моделей: функций распределения; авторегрессионных и трендовых уравнений; факторных зависимостей (рис. 2.1). Кроме того, урожайность является одним из параметров, который входит в разработанные модели оптимизации аграрного производства.

Отметим, что в ряде случаев ряды урожайности сельскохозяйственных культур подчиняются в основном распределению Гаусса, реже – гамма-распределению и логарифмически нормальному. Вместе с тем в некоторых рядах биопродуктивности выявлены значимые трендовые и авторегрессионные зависимости. Урожайность зерновых культур и картофеля по области является случайной величиной, а ряд овощей, напротив, имеет значимый тренд (рис. 2.2).

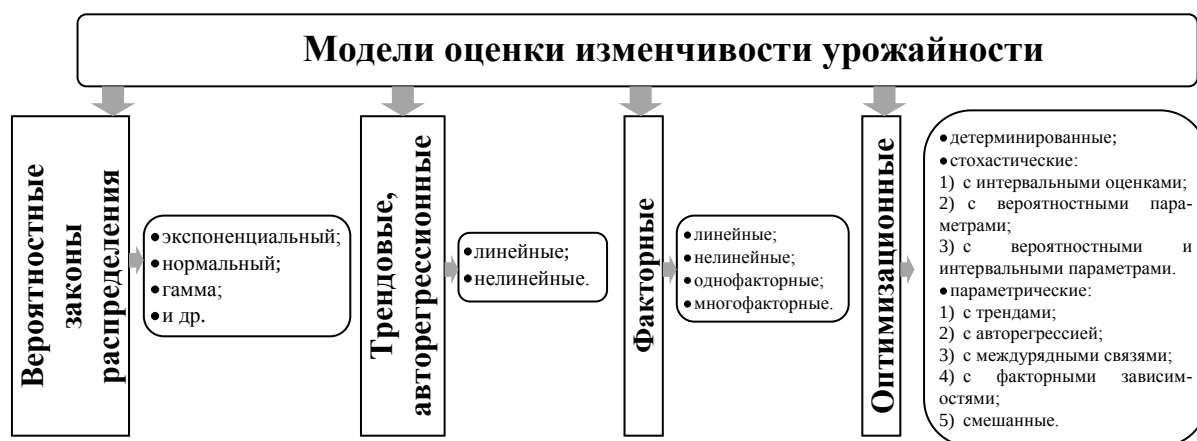


Рисунок 2.1 – Модели оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур

В результате статистического анализа многолетних рядов урожайности по муниципальным районам Иркутской области получены различные модели. Проверка на качество показала, что некоторые из них были признаны непригодными для прогнозирования.

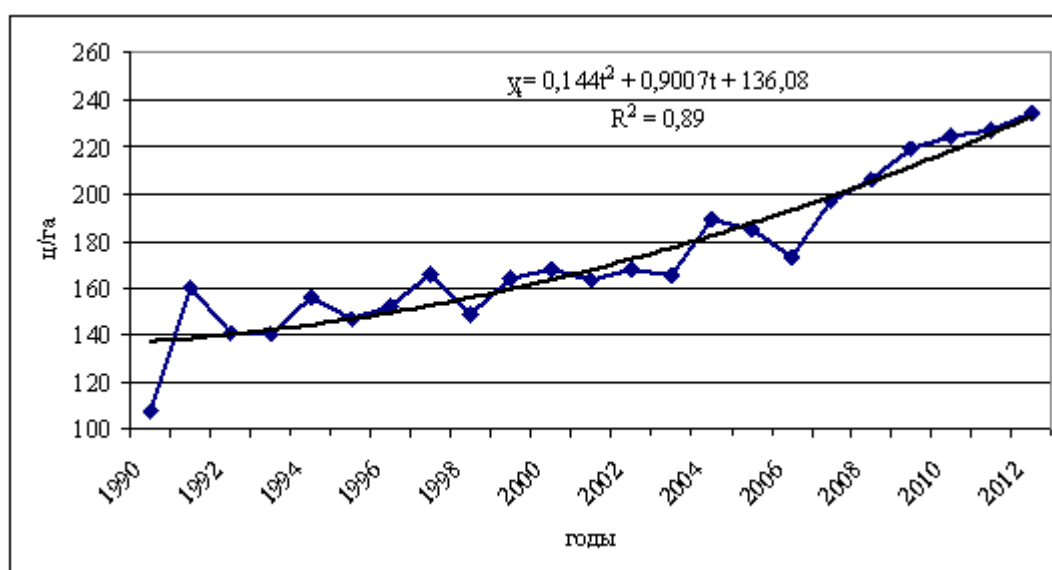


Рисунок 2.2 – Тенденция биопродуктивности овощей Иркутской области за 1990-2012 гг.

Согласно таблице 2.2 для урожайности пшеницы выявлены трендовые и авторегрессионные модели в четырех муниципальных районах. Вместе с тем тренды и авторегрессионные зависимости рядов биопродуктивности пшеницы, полученные для Чунского района и последовательностей ячменя в Усть-Удинском, Черемховском и Чунском районах, имеют большую ошибку

аппроксимации. Кроме того, в некоторых случаях остаток ряда не является случайной величиной, что предполагает неадекватность моделей.

Таблица 2.2 – Трендовые и авторегрессионные зависимости рядов биопродуктивности зерновых культур

Район	Уравнение	Коэффициент детерминации	Стандартное отклонение	Средняя относительная ошибка аппроксимации, %
пшеница				
Куйтунский	$y_t=0,48t+12,29$	0,52	3,36	11,0
Усольский	$y_t=0,55t+15,92$	0,62	3,51	8,9
Усольский	$y_t=0,78y_{t-1}+4,86$	0,63	3,51	7,5
Черемховский	$y_t=0,64t+14,14$	0,53	4,44	13,5
Черемховский	$y_t=0,85y_{t-1}+3,51$	0,73	4,44	9,9
Чунский	$y_t=0,71t+4,86$	0,59	4,67	24,0
Чунский	$y_t=0,042 y_{t-1}^2-0,22 y_{t-1}+7,98$	0,65	4,67	21,9
ячмень				
Усть-Удинский	$y_t=0,64t+3,84$	0,66	3,99	19,9
Черемховский	$y_t=0,82t+13,17$	0,53	5,69	16,1
Черемховский	$y_t=-0,12t^2+2,95t+6,41$	0,74	5,69	12,0
Черемховский	$y_t = 2,85y_{t-1}^{0,67}$	0,63	5,69	7,43
Чунский	$y_t=0,75 y_{t-1}+3,70$	0,57	6,27	24,0
овес				
Баяндаевский	$y_t=0,47t+4,29$	0,61	3,02	21,5
Баяндаевский	$y_t=0,043t^2-0,30t+6,73$	0,71	3,02	19,1
Усть-Удинский	$y_t=0,51t+3,39$	0,51	3,58	24,9

Отметим, что для рядов овса аналитические зависимости выявлены в районах остепненной лесостепи. Между тем они имеют высокую ошибку аппроксимации.

Помимо оценки точности и значимости уравнений, приведенных в таблице 2.2, осуществлялась проверка на адекватность с помощью оценки случайности остатков ряда [127]. Согласно анализу оценки случайности остатка; соответствия ряда остатка нормальному закону распределения; равенства среднего значения последовательности ε_i нулю и случайности его колебаний не все модели являются качественными.

Отметим, что в ряде случаев существует возможность замены полиномиального тренда линейным. Для этого необходимо разделить

исходный ряд в точке перелома и построить две зависимости. В частности, такая зависимость получена для ряда овса в Баяндаевском районе (рис. 2.3).

Кроме того, в некоторых случаях не была подтверждена гипотеза о случайности ряда остатков. Поэтому учитывалась его детерминированная составляющая. В частности, модель с учетом автокорреляционной связи остатка, полученная для ряда пшеницы в Черемховском районе, примет вид

$$y_t = 0,64t + 0,71 \varepsilon'_{t-1} + 14,01, \quad (2.1)$$

где ε'_{t-1} – предыдущее значение ряда остатков ε_t .

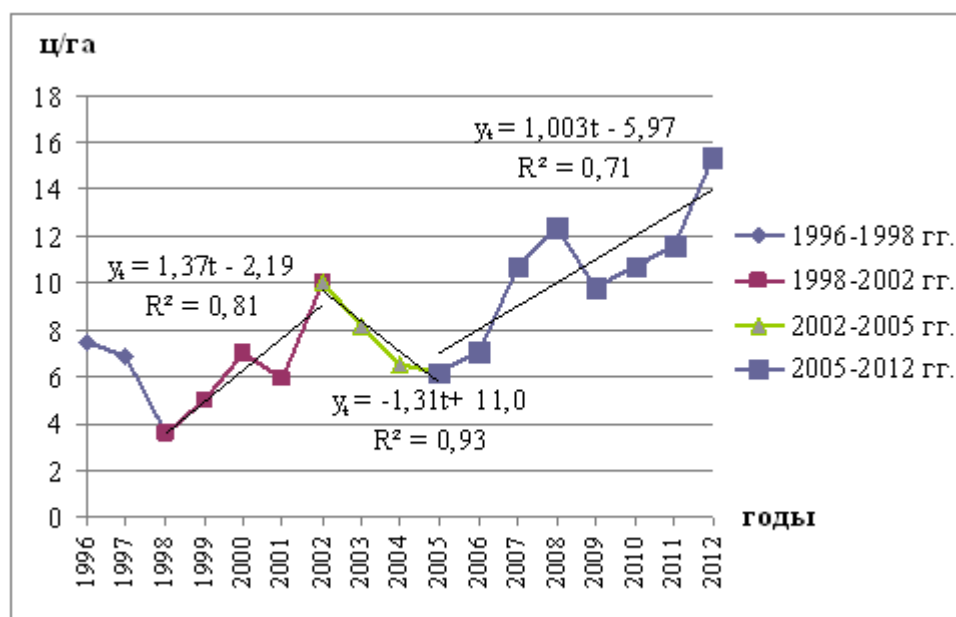


Рисунок 2.3 – Линейные тренды биопродуктивности овса за 1998-2002, 2002-2005, 2005-2012 гг.

Полученная модель является качественной, ошибка аппроксимации по сравнению с моделью, не учитывающей зависимость остатков ряда, уменьшилась и составила 9,6% (в первом случае – 13,5%).

Помимо анализа на наличие трендов и авторегрессионных зависимостей зерновых культур, аналогичной статистической обработке подвержены ряды урожайности овощей. В результате выявлены тренды и авторегрессионные зависимости для Киренского, Заларинского, Иркутского и других районов (табл. 2.3). В основном использованы линейные и параболические зависимости.

Таблица 2.3 – Трендовые и авторегрессионные зависимости рядов биопродуктивности овощей

Район	Уравнение	Коэффициент детерминации	Стандартное отклонение	Средняя относительная ошибка аппроксимации, %
картофель				
Киренский	$y_t=3,73t+98,93$	0,53	25,79	9,9
Киренский	$y_t=-0,33t^2+9,69t+80,047$	0,61	25,79	9,2
капуста				
Братский	$y_t=9,021t+109,22$	0,68	55,28	14,1
Заларинский	$y_t=9,41t+108,10$	0,54	64,77	14,6
Иркутский	$y_t=-0,89t^2+22,24t+123,35$	0,62	46,86	8,7
Усть-Илимский	$y_t=12,32t+80,72$	0,74	72,46	16,4
Черемховский	$y_t=15,56t+116,38$	0,62	99,51	17,9
морковь				
Заларинский	$y_t=10,87t+94,15$	0,52	75,84	19,4
Зиминский	$y_t=10,79t+68,60$	0,73	49,43	12,0
Иркутский	$y_t=8,64t+102,55$	0,81	48,46	10,5
Иркутский	$y_t=-0,087t^2+10,21t+97,60$	0,81	48,46	10,4
Иркутский	$y_t=0,63y_{t-1}+76,95$	0,51	48,46	7,9
Нижнеудинский	$y_t=8,86t+125,21$	0,52	61,90	12,0
Усть-Илимский	$y_t=10,34t+84,22$	0,77	59,54	10,2
Усть-Илимский	$y_t=0,33t^2+4,37t+103,12$	0,78	59,54	9,0
Черемховский	$y_t=12,19t+100,94$	0,68	74,60	14,1
Чунский	$y_t=0,70y_{t-1}+45,44$	0,50	48,46	17,8
свекла				
Зиминский	$y_t=13,39t+62,77$	0,85	73,53	14,8
Зиминский	$y_t=0,78y_{t-1}+53,11$	0,67	73,53	13,7
Нижнеудинский	$y_t=10,025t+111,43$	0,55	68,59	14,9
Усольский	$y_t=10,49t+96,14$	0,56	70,62	21,6
Усть-Илимский	$y_t=12,81t+66,20$	0,80	72,46	19,7
Усть-Илимский	$y_t=0,79y_{t-1}+52,065$	0,69	72,46	20,3
Черемховский	$y_t=12,084t+124,40$	0,72	71,70	16,5
Черемховский	$y_t=-0,53t^2+21,58t+94,072$	0,75	71,70	15,5

Что касается третьей группы, кормовых культур, то для рядов кормовых культур, кукурузы и однолетних трав значимых зависимостей не выявлено. Для последовательностей многолетних трав на зеленый корм и сено выявлены трендовые и авторегрессионные зависимости для трех районов (табл. 2.4). Хотя они и значимы, точность их невысока.

**Таблица 2.4 – Трендовые и авторегрессионные зависимости рядов
биопродуктивности многолетних трав**

Район	Уравнение	Коэффициент детерминации	Стандартное отклонение	Средняя относительная ошибка аппроксимации, %
многолетние травы на зеленый корм				
Братский	$y_t = -0,12t^2 - 1,76t + 79,42$	0,58	23,37	26,0
Эхирит- Булагатский	$y_t = -0,17t^2 + 1,00t + 59,41$	0,66	11,80	11,9
многолетние травы на сено				
Тайшетский	$y_t = 0,38t + 8,95$	0,65	2,25	7,8
Тайшетский	$y_t = 0,74y_{t-1} + 3,33$	0,59	2,25	22,4

Построение автокорреляционных функций показало, что они являются убывающими. Другими словами, с увеличением значения сдвига τ уменьшается значение автокорреляционной функции. Поэтому в таблицах 2.3-2.4 использованы авторегрессионные уравнения со сдвигом $\tau = 1$. Между тем для некоторых рядов имеют место значимые вторые коэффициенты автокорреляции R_2 , соответствующие сдвигу $\tau = 2$.

Следует отметить, что, несмотря на большое количество выявленных закономерностей, не все модели можно использовать для прогнозирования ввиду невыполнения критериев адекватности модели. В случаях, когда для одного и того же параметра имеются несколько моделей, выбирается модель, наиболее точно описывающая исследуемый ряд.

2.3 Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур

В результате моделирования рядов биопродуктивности сельскохозяйственных культур получены различные авторегрессионные и трендовые модели, которые имеют линейный и нелинейный вид. Согласно полученным уравнениям ряды исследуемого параметра имеют положительную и отрицательную динамику и отличаются различными темпами роста. При этом на территориях с интенсивными технологиями

производства преобладают линейные зависимости, а с экстенсивными – нелинейные (табл. 2.5).

Таблица 2.5 – Ретроспективный прогноз биопродуктивности зерновых культур на основании трендовых и авторегрессионных моделей с заблаговременностью 1 и 2 года

Муниципальный район	Уравнение	Прогнозное значение, ц/га	Фактическое значение, ц/га	Отклонение факт/план, %
пшеница				
заблаговременность 1 год				
Куйтунский	$y_t = -2,0t + 25,55$	15,6	17,8	14,5
Усольский	$y_t = 0,59t + 15,69$	25,7	23,7	8,4
Усольский	$y_t = 0,77y_{t-1} + 5,04$	22,6	23,7	5,0
Черемховский	$y_t = 0,68t + 0,78 \varepsilon_{t-1} + 13,55$	21,35	23,2	8,7
Черемховский	$y_t = 0,84y_{t-1} + 3,37$	20,2	23,2	15,1
Чунский	$y_t = 0,76y_{t-1} + 3,12$	13,2	12,7	3,7
заблаговременность 2 года				
Усольский	$y_t = 0,66t + 15,30$	26,5	23,7	11,7
Чунский	$y_t = 0,71y_{t-2} + 4,05$	14,3	12,7	11,1
ячмень				
заблаговременность 1 год				
Усть-Удинский	$y_t = 0,64t + 3,86$	14,7	14,9	1,2
Черемховский	$y_t = -0,16t^2 + 3,5t + 5,10$	19,2	26,6	38,5
Черемховский	$y_t = 2,75y_{t-1}^{0,67}$	19,8	26,6	34,3
заблаговременность 2 года				
Усть-Удинский	$y_t = 0,50t + 4,67$	13,1	14,9	13,8
Черемховский	$y_t = 1,04 + 11,88$	19,6	26,6	11,4
Черемховский	$y_t = -0,13t^2 + 3,19t + 5,79$	21,3	26,6	25,0
овес				
заблаговременность 1 год				
Баяндаевский	$y_t = 0,030t^2 - 0,12t + 6,29$	12,9	15,4	19,5
заблаговременность 2 года				
Баяндаевский	$y_t = 0,035t^2 - 0,18t + 6,43$	13,3	15,4	15,5

На основании критериев оценки качества модели и ретроспективного прогноза выделены модели, позволяющие осуществлять прогноз урожайности с заблаговременностью 1-2 года (табл. 2.5).

Согласно полученным значениям ретроспективного прогноза с заблаговременностью 1 год возможно прогнозировать урожайность пшеницы в Усольском и Чунском районе по авторегрессионной модели, в Черемховском – по трендовой модели с учетом остатков. Для

прогнозирования ячменя в Усть-Удинском районе подходит трендовая модель. Для последовательностей овса значимых моделей не выявлено.

При прогнозировании урожайности капусты выделена линейная трендовая модель в Черемховском районе; моркови – линейный тренд в Иркутском, полиномиальный – в Усть-Илимском районе. Кроме того, для прогнозирования урожайности свеклы получены трендовые модели в Зиминском и Усть-Илимском районах, полиномиальный тренд – в Черемховском (табл. 2.6).

Таблица 2.6 – Ретроспективный прогноз биопродуктивности овощей на основании трендовых и авторегрессионных моделей с заблаговременностью 1 и 2 года

Муниципальный район	Уравнение	Прогнозное значение, ц/га	Фактическое значение, ц/га	Отклонение факт/план, %
1	2	3	4	5
картофель				
заблаговременность 1 год				
Киренский	$y_t = 4,37t + 95,04$	169,4	136,3	19,5
Киренский	$y_t = -0,22t^2 + 8,08t + 83,93$	158,3	136,3	22,6
заблаговременность 2 года				
Киренский	$y_t = 4,96t + 91,70$	176,1	136,3	22,6
Киренский	$y_t = -0,08t^2 + 6,16t + 88,30$	171,4	136,3	20,5
капуста				
заблаговременность 1 год				
Братский	$y_t = 9,10t + 108,76$	263,4	259,5	14,9
Иркутский	$y_t = -0,74t^2 + 20,13t + 128,42$	255,6	226,9	11,2
Усть-Илимский	$y_t = 13,76t + 72,07$	304,6	232,4	23,7
Черемховский	$y_t = 15,55t + 116,44$	380,8	381,3	0,1
заблаговременность 2 года				
Братский	$y_t = 8,32t + 103,16$	254,6	259,5	1,9
Иркутский	$y_t = -0,63t^2 + 18,63t + 131,84$	265,9	226,9	14,7
Усть-Илимский	$y_t = 13,60t + 72,94$	304,2	232,4	23,6
Черемховский	$y_t = 15,96t + 114,13$	385,4	381,3	10,7
морковь				
заблаговременность 1 год				
Зиминский	$y_t = 10,18t + 72,31$	245,3	276,8	12,9
Иркутский	$y_t = 8,69t + 102,29$	250,0	247,7	0,9
Иркутский	$y_t = -0,10t^2 + 10,42t + 97,08$	244,8	247,7	1,2
Иркутский	$y_t = 0,57y_{t-1} + 82,22$	219,0	247,7	13,1
Усть-Илимский	$y_t = 9,80t + 87,45$	254,0	281,4	10,8
Усть-Илимский	$y_t = 0,26t^2 + 5,41t + 100,61$	267,2	281,4	5,3

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5
заблаговременность 2 года				
Зиминский	$y_t = 10,18t + 72,26$	245,4	276,8	12,8
Иркутский	$y_t = 8,87t + 101,24$	252,1	247,7	17,3
Иркутский	$y_t = -0,07t^2 + 10,0t + 98,05$	247,7	247,7	≈ 0
Усть-Илимский	$y_t = 9,51t + 89,06$	250,8	281,4	12,2
Усть-Илимский	$y_t = 0,25t^2 + 5,55t + 100,3$	266,2	281,4	5,7
свекла				
заблаговременность 1 год				
Зиминский	$y_t = 13,61t + 61,47$	292,8	281,8	3,4
Зиминский	$y_t = 0,82y_{t-1} + 47,79$	303,0	281,8	7,0
Усть-Илимский	$y_t = 12,88t + 65,80$	284,8	281,4	1,2
Усть-Илимский	$y_t = 0,76y_{t-1} + 54,87$	265,6	281,4	6,0
Черемховский	$y_t = 13,10t + 118,05$	340,7	289,0	15,2
Черемховский	$y_t = -0,35t^2 + 19,11t + 100,02$	322,7	289,0	10,4
заблаговременность 2 года				
Зиминский	$y_t = 12,67t + 66,78$	282,2	281,8	0,1
Зиминский	$y_t = 1,05y_{t-2} + 25,52$	354,9	281,8	20,6
Усть-Илимский	$y_t = 12,77t + 66,42$	283,5	281,4	0,8
Черемховский	$y_t = 13,94t + 113,3$	350,2	289,0	17,5
Черемховский	$y_t = -0,17t^2 + 16,62t + 105,72$	339,8	289,0	14,9

Полиномиальный тренд получен для прогнозирования урожайности многолетних трав на зеленый корм в Эхирит-Булагатском районе (табл. 2.7).

Таблица 2.7 – Ретроспективный прогноз биопродуктивности кормовых культур на основании трендовых и авторегрессионных моделей с заблаговременностью 1 и 2 года

Муниципальный район	Уравнение	Прогнозное значение, ц/га	Фактическое значение, ц/га	Отклонение факт/план, %
многолетние травы на зеленый корм				
заблаговременность 1 год				
Эхирит-Булагатский	$y_t = -0,16t^2 + 0,79t + 59,89$	33,0	30,5	7,7
многолетние травы на сено				
заблаговременность 1 год				
Тайшетский	$y_t = 0,47t + 8,46$	16,0	12,1	24,1
заблаговременность 2 года				
Тайшетский	$y_t = 0,48t + 8,40$	16,1	12,1	24,8

Для прогнозирования урожайности с заблаговременностью 2 года получены следующие модели: линейный тренд – для урожайности капусты в Братском районе; полиномиальные тренды – для урожайности моркови в

Иркутском и Усть-Илимском районах; линейные тренды – для свеклы в Зиминском и Усть-Илимском районах. Обращает на себя внимание тот факт, что для прогнозирования урожайности зерновых культур, картофеля и трав с заблаговременностью 2 года моделей не получено.

Согласно полученным моделям рассчитан интервальный и точечный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на 1 и 2 года (табл. 2.8, табл. 2.9).

Таблица 2.8 – Интервальный и точечный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на 2013 г.

Муниципальный район	Уравнение	Прогнозное значение 2013 г., ц/га	Интервал, ц/га
пшеница			
Усольский	$y_t = 0,78y_{t-1} + 4,86$	23,4	$\pm 4,8$
Чунский	$y_t = 0,76y_{t-1} + 3,12$	12,8	$\pm 4,7$
Черемховский	$y_t = 0,64t + 0,71 \varepsilon_{t-1} + 14,01$	24,2	$\pm 4,9$
ячмень			
Усть-Удинский	$y_t = 0,64t + 3,84$	15,4	$\pm 5,1$
капуста			
Черемховский	$y_t = 15,56t + 116,38$	396,5	$\pm 69,1$
морковь			
Иркутский	$y_t = 8,69t + 102,29$	258,7	$\pm 46,3$
Усть-Илимский	$y_t = 0,33t^2 + 4,37t + 103,12$	302,4	$\pm 61,1$
свекла			
Зиминский	$y_t = 13,39t + 62,77$	303,8	$\pm 63,6$
Усть-Илимский	$y_t = 12,81t + 66,20$	296,9	$\pm 71,9$
Черемховский	$y_t = -0,53t^2 + 21,58t + 94,07$	311,6	$\pm 79,0$
многолетние травы на зеленый корм			
Эхирит-Булагатский	$y_t = -0,17t^2 + 0,99t + 59,55$	27,3	$\pm 14,7$

Следует отметить, что интервалы прогнозов, полученные для овощных культур, имеют значительную величину, что говорит о нецелесообразности их использования при прогнозировании биопродуктивности.

Согласно критерию Колмогорова и свойствам законов распределения вероятностей выявлено, что из более чем 400 рядов исследуемого параметра 45% подчиняются нормальному закону распределения, в основном это

зерновые, овощные культуры, однолетние и многолетние травы на зеленый корм и сено.

Таблица 2.9 – Интервальный и точечный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на 2014 г.

Муниципальный район	Уравнение	Прогнозное значение 2014 г., ц/га	Интервал, ц/га
капуста			
Братский	$y_t = 8,32t + 103,16$	261,2	$\pm 62,7$
морковь			
Иркутский	$y_t = -0,07t^2 + 10,0t + 98,05$	262,8	$\pm 51,3$
Усть-Илимский	$y_t = 0,25t^2 + 5,55t + 100,3$	296,0	$\pm 61,1$
Свекла			
Зиминский	$y_t = 1,05y_{t-2} + 25,52$	353,1	$\pm 64,5$
Усть-Илимский	$y_t = 12,77t + 66,42$	309,1	$\pm 69,4$

Что касается гамма-распределения, то оно справедливо в некоторых районах для выборок кормовых культур, кукурузы, силосных культур и трав. Логарифмически нормальное распределение вероятностей характерно для рядов урожайности моркови, свеклы, капусты, однолетних и многолетних трав на зеленый корм и сено. При этом закономерности применения того или иного закона для конкретной зоны или муниципального района региона не выявлено.

Эмпирические функции и аналитические законы в виде нормальных распределений рядов биопродуктивности сельскохозяйственных культур, характеризующих временные изменения экстремумов Иркутской области, приведены в приложении 4.

Отметим, что урожайность сельскохозяйственных культур является одним из параметров моделей оптимизации аграрного производства. Согласно проведенному анализу во многих случаях последовательности являются случайными, слабосвязными и интервальными. В этом случае решения задач изменяются в значительных пределах. Вместе с тем при наличии в рядах биопродуктивности устойчивых закономерностей, задача

математического программирования переходит в разряд параметрических и требует дополнительных вычислений.

Таким образом, в зависимости от свойств рядов урожайности сельскохозяйственных культур предлагаются различные модели оценки и прогнозирования их значений. Большинство рядов биопродуктивности являются случайными и оцениваются с помощью законов распределения. Вместе с тем некоторые ряды урожайности могут быть описаны с помощью трендовых и авторегрессионных зависимостей с различной заглаговременностью. При этом прогноз значений может быть как точечным, так и интервальным в зависимости от получаемого результата. Следует отметить, что согласно проведенному анализу более точно описывают ряды биопродуктивности трендовые модели. Помимо этого, урожайность является одним из параметров, входящих в ограничение моделей математического программирования, поэтому ее адекватная оценка и прогнозирование имеет немаловажное значение.

2.4 Моделирование рядов урожайности с применением метода статистических испытаний

Анализ многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур по сельскохозяйственным зонам, муниципальным районам, предприятиям агропромышленного комплекса показывает, что ряды являются случайными и слабосвязными. В некоторых случаях при неоднородности данных урожайность сельскохозяйственных культур можно рассматривать как параметр, оцениваемый верхним и нижним значением.

На рисунке 2.4 приведен алгоритм моделирования урожайности сельскохозяйственных культур как интервального параметра.

При использовании этого алгоритма в начале согласно пространственно-временной статистической обработке урожайности различных сельскохозяйственных культур определяются предельные

значения $y_i^{\max}$ и $y_i^{\min}$. На втором этапе моделируются ряды урожайности y_{ijl} в виде случайных чисел, где $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, N}$, $l = \overline{1, m}$, n – число видов сельскохозяйственных культур, N – длина ряда, m – количество моделируемых выборок.

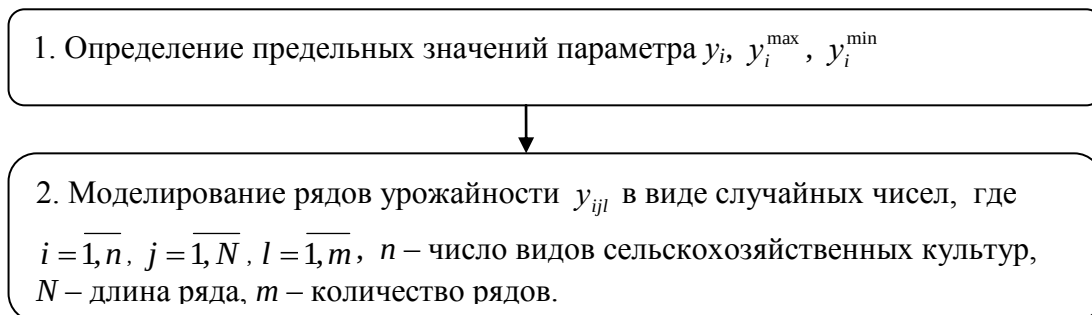


Рисунок 2.4 - Алгоритм имитационного моделирования для интервальных величин урожайности сельскохозяйственных культур

Если урожайность сельскохозяйственных культур является случайной величиной и описывается с помощью закона распределения вероятности, то ее моделирование осуществляется с помощью алгоритма, показанного на рисунке 2.5.

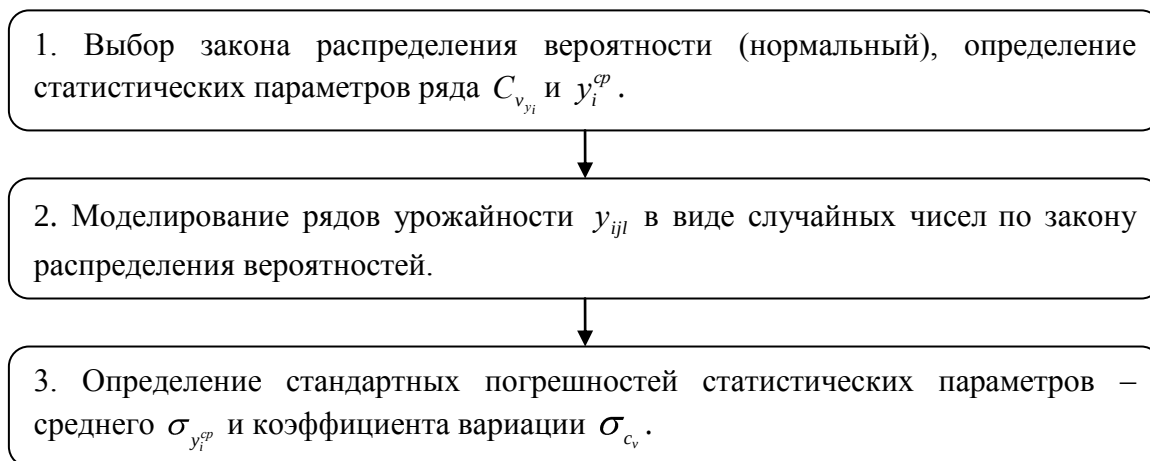


Рисунок 2.5- Алгоритм имитационного моделирования при вероятностных значениях урожайности сельскохозяйственных культур

Подобная задача решается в три этапа. Во-первых, вычисляются статистические параметры: коэффициент вариации $C_{v_{y_i}}$ и среднее y_i^{cp} . Согласно критерию согласия Колмогорова или χ^2 выбирается закон распределения вероятностей. Для урожайностей сельскохозяйственных культур наиболее распространенным является нормальный закон [77]. Во-

вторых, моделируются случайные числа, по которым определяются урожайности y_{ijl} с помощью заданных законов распределения вероятностей. Далее определяются стандартные погрешности статистических параметров – среднего $\sigma_{y_i^{cp}}$ и коэффициента вариации σ_{c_v} .

Помимо того, что ряды урожайности сельскохозяйственных культур являются случайными, они могут обладать автокорреляционными связями. В этом случае алгоритм, описывающий слабосвязную выборку, выглядит следующим образом (рис. 2.6).

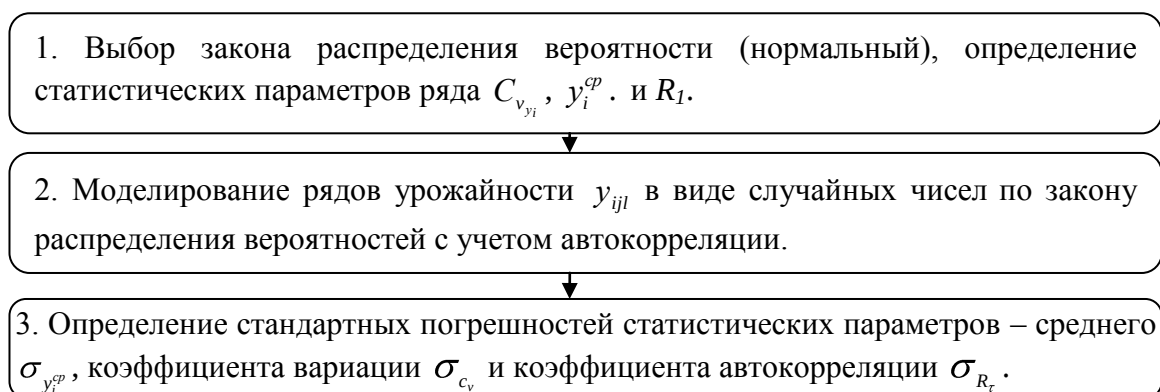


Рисунок 2.6 - Алгоритм имитационного моделирования урожайности сельскохозяйственных культур для слабосвязной выборки

На первом этапе осуществляется выбор закона распределения и вычисляются статистические параметры: коэффициент вариации $C_{v_{y_i}}$, среднее y_i^{cp} и первый коэффициент автокорреляции R_1 . На основании последнего, уточняются значения коэффициента вариации по формуле (1.5).

Затем моделируются случайные числа, по которым определяются урожайности y_{ijl} с помощью заданных законов распределения вероятностей с учетом автокорреляции. На следующем этапе определяются стандартные погрешности статистических параметров – среднего $\sigma_{y_i^{cp}}$, коэффициента вариации σ_{c_v} и коэффициента автокорреляции σ_{R_r} .

При моделировании вариации для незначительного объема выборок их значения оказались отрицательно смещенными.

Приведенные алгоритмы позволяют получать значения при различных параметрах m и N , что очень важно для определения достоверных результатов в условиях недостаточности информации.

Помимо этих алгоритмов метод статистических испытаний можно использовать при моделировании многофакторных зависимостей.

Для оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур предложено три алгоритма, которые реализованы с использованием метода статистических испытаний. С помощью этих алгоритмов можно моделировать выборки по законам распределения и оценивать погрешности статистических параметров. Алгоритмы справедливы для моделирования однородных выборок.

2.5 Факторные модели определения урожайности

Значительное влияние на уровень урожайности оказывают природно-климатические условия. Поэтому при изучении динамики урожайности необходимо учитывать агрометеорологические особенности каждого года в период вегетации и уборки урожая. При сравнении урожайности культур в разных хозяйствах или производственных подразделениях необходимо также учитывать качество земли, рельеф местности и другие природные условия. Кроме того, влияние на урожайность оказывают: культура земледелия, агротехника и технология выращивания культур, удобрение почвы, качественное выполнение всех полевых работ в сжатые сроки и другие экономические факторы.

С помощью факторного анализа возможно выявление факторов, отвечающих за наличие статистических связей между наблюдаемыми переменными.

На основе корреляционно-регрессионного и автокорреляционного анализов можно строить одно- и многофакторные модели [112].

Модель факторной системы – это математическая формула, выражающая реальные связи между анализируемыми явлениями. В общем виде она может быть представлена так

$$y_i = f(t_1, t_2, \dots, t_n), \quad (2.2)$$

где y_i – результирующий признак; t_i – факторные признаки, $i = \overline{1, n}$.

В основе факторного анализа лежат выявление, оценка и прогнозирование влияния факторов на изменение результирующего признака.

Использование регрессионного анализа для оценки влияния на биопродуктивность агроклиматических показателей встречается во многих работах [30, 31, 68, 89]. Оригинальный подход, в частности, использовал в своих исследованиях А. Вайнштейн, который ввел в уравнение гидротермический коэффициент (отношение суммы осадков за май-июль к соответствующим суммам температур). Влиянию факторов на урожайность в Сибири посвящены работы Деревянко А.Н., Пономарева Б.П., Старостиной Т.В., Вашукевич Е.В. и др. Следует отметить, что все перечисленные авторы исследовали только урожайность зерновых культур.

В работе [9, 10] проведен факторный анализ зависимости рекомендуемых дат посева зерновых от показателей тепла и увлажнения. Выявлено, что наибольшее влияние на даты посева для Иркутска и Усолья-Сибирского оказывают суммы среднесуточных температур воздуха за предшествующие дате посева периоды, а для Тулуна дополнительно - суммы суточных осадков.

В результате регрессионного анализа по данным Иркутска получена параболическая функция:

$$y = -0,0002t_1'^2 + 0,21t_1' - 29,7. \quad (2.3)$$

Для Усолья-Сибирского предлагается использовать линейную связь:

$$y = -0,071t_1' + 66,4. \quad (2.4)$$

По данным Тулуна получено регрессионное уравнение вида:

$$y = -1,05t_1'^2 - 0,096t_2'^2 + 0,00072t_1' + 0,0029t_2' + 386, \quad (2.5)$$

где y – рекомендуемая дата посева (в относительном выражении), t_1' – сумма среднесуточных температура воздуха за предшествующий период, t_2' – сумма суточных осадков.

Как правило, в южной части региона на сроки проведения агротехнологических операций влияет один фактор – температура, а на севере его дополняют еще и осадки.

На фоне тренда потепления в южной части региона рассмотрено влияние климатических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур. Согласно факторному анализу на основе данных за 1977-2008 гг. в лесостепной зоне (данные Иркутска) на результативный признак наибольшее воздействие оказывает сумма месячных температур за вегетационный период [8]. В районах остепненной зоны (данные Черемхово), наоборот, на урожайность существенное влияние оказывают суммы месячных осадков за вегетационный период ($R_{y_{t_2}} = 0,77$) и число дней бездождевого периода ($R_{y_{t_3}} = 0,62$), а влияние суммы средних месячных температур за вегетационный период отсутствует ($R_{y_{t_1}} = -0,01$). В этой зоне осадки в значительно большей степени влияют на урожайность зерновых по сравнению с лесостепной зоной.

Двухфакторная зависимость для моделирования урожайности зерновых культур для остепненной зоны (данные Черемхово) выглядит следующим образом

$$y_t = -11,7t_3 + 0,228t_2 + 0,084t_3^2 - 0,0027t_2^2 + 375. \quad (2.6)$$

Для лесостепной зоны (данные Братска) зависимость между урожайностью и климатическими факторами имеет вид

$$y_t = 6,43t_3 + 1,04t_2 - 0,018t_3^2 - 0,013t_3t_2 - 39, \quad (2.7)$$

где y – урожайность зерновых культур, ц/га, t_1 – сумма средней месячной температуры за вегетационный период (май-сентябрь), t_2 – сумма месячных осадков за вегетационный период, t_3 – сумма числа дней бездождевого периода (май-сентябрь).

Таким образом, из множества построенных линейных и нелинейных уравнений регрессий зависимости урожайности зерновых культур от климатических факторов полиномы второй степени обладают наибольшей точностью. При этом аналитические выражения усложняются.

Помимо оценки влияния различных факторов на урожайность зерновых, в работе [23] проведен факторный анализ для рядов картофеля, овощей и кормовых культур по зонам и муниципальным районам Иркутской области за 1996-2012 гг.

Приведенные результативные признаки зависят от суммы средних месячных температур (t_1) и месячных осадков за вегетационный период (t_2), числа дней бездождевого (t_3) и безморозного периода (t_4), которые прямо или косвенно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур.

На основании полученных зависимостей построены одно- и многофакторные модели. Для оценки значимости уравнения использовался F -критерий Фишера. Выявлено, что наибольшая зависимость от климатических параметров присутствует в рядах урожайности картофеля (в пяти районах). Кроме того, в рядах урожайности овощей в Балаганском районе определена двухфакторная модель, а в Зиминском – однофакторная нелинейная.

Полученные уравнения значимы, поэтому их можно использовать для моделирования значений урожайности сельскохозяйственных культур.

Следует отметить, что предварительно ряды значений каждого природного фактора подвержены статистической обработке. Полученные результаты позволили выделить особенности статистической структуры многолетних рядов характеристик тепла и увлажнения (прил. 5).

Ряды числа дней бездождевого периода характеризуются незначительной вариацией (C_v) в пределах 0,08 – 0,11.

Аналогично изменяется параметр рассеяния для суммы средних месячных температур за вегетационный период ($C_v=0,04-0,10$). Для этого

параметра тепла определены значимые первые коэффициенты автокорреляции (R_1), соответствующие 0,30-0,50.

Что касается сумм месячных осадков за вегетационный период, то они отличаются от предыдущих характеристик более высокой мерой рассеяния (0,17-0,29). При этом первые коэффициенты автокорреляции в большинстве случаев близки к нулю.

Наконец, число дней безморозного периода, как и большинство исследуемых характеристик, обладает низкими коэффициентами вариации (0,07-0,15). Значимый первый коэффициент автокорреляции выявлен только для Зимы ($R_1=0,57$), в остальных случаях внутрирядные связи практически отсутствуют.

Для оценки влияния факторов построена матрица коэффициентов корреляции между климатическими параметрами и биопродуктивностью для различных агроландшафтных районов Иркутской области (табл. 2.10).

Согласно таблице 2.10 в большинстве случаев сумма средних месячных температур за вегетационный период не имеет значимых связей с результативными признаками, за исключением урожайности кормовых в центральном лесостепном районе.

В свою очередь сумма месячных осадков коррелирует с урожайностями зерновых в юго-восточном лесостепном районе, овощей и кормовых – в Балаганско-Нукутском районе.

Тесная связь урожайности овощей с числом дней бездождевого периода наблюдается в северо-западном подтаежно-таежном районе, с урожайностью зерновых – в центральном лесостепном, а с урожайностью кормовых – в Усть-Ордынско-Баяндаевском остепненно-леостепном.

Число дней безморозного периода оказывает значительное влияние на урожайность кормовых культур в Боханско-Осинском лесостепном районе и овощей – в Усть-Ордынско-Баяндаевском остепненно-лесостепном.

Построенные для агроландшафтных районов Иркутской области одно- и многофакторные зависимости приведены в таблице 2.11. Обращает на себя

внимание тот факт, что в пяти агроландшафтных районах значимых уравнений не выявлено.

Таблица 2.10 – Коэффициенты корреляции (R) между агрометеорологическими факторами и урожайностью сельскохозяйственных культур

Район Культура	Северный приленский таежно-подтаежный				Юго-восточный лесостепной			
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_1	t_2	t_3	t_4
y_1 - зерновые	-0,02	0,10	-0,41	-0,35	-0,01	0,52	-0,41	0,23
y_2 - картофель	-0,04	0,29	0,07	0,38	0,08	0,14	0,19	0,15
y_3 - овощи	0,30	0,16	-0,40	0,11	0,24	0,41	-0,23	0,28
y_4 - кормовые	0,24	0,22	-0,12	0,14	-0,04	0,70	-0,17	0,25
Район Культура	Среднеангарский таежно-подтаежный				Боханско-Осинский лесостепной			
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_1	t_2	t_3	t_4
y_1 - зерновые	0,18	-0,12	-0,26	0,19	0,44	-0,07	0,45	0,32
y_2 - картофель	-0,12	0,37	-0,01	0,11	0,23	-0,30	0,21	-0,08
y_3 - овощи	0,23	-0,18	-0,05	0,24	0,19	0,49	-0,49	0,47
y_4 - кормовые	0,13	0,13	-0,06	0,18	0,32	0,11	-0,28	0,56
Район Культура	Северо-западный подтаежно-таежный				Балаганско-Нукутский остепненный			
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_1	t_2	t_3	t_4
y_1 - зерновые	0,01	0,08	-0,38	-0,30	0,04	0,45	-0,08	-0,16
y_2 - картофель	-0,13	-0,19	-0,19	-0,37	0,09	-0,11	0,25	-0,11
y_3 - овощи	0,02	0,18	-0,53	0,12	0,22	0,53	-0,37	0,38
y_4 - кормовые	0,19	-0,15	0,20	-0,11	-0,09	0,53	-0,61	0,03
Район Культура	Центральный лесостепной				Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной			
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_1	t_2	t_3	t_4
y_1 - зерновые	0,34	0,30	-0,60	0,17	-0,30	0,06	0,06	-0,39
y_2 - картофель	0,25	0,15	0,10	0,47	0,34	0,13	-0,13	0,75
y_3 - овощи	0,32	0,48	-0,49	0,13	0,35	-0,04	0,19	0,33
y_4 - кормовые	0,66	0,08	-0,19	0,43	-0,19	0,41	-0,60	-0,32

Следует отметить, что полученные зависимости адекватно описывают ряды урожайности только в том случае, когда значения факторов изменяются в пределах, указанных в таблице 2.11. Согласно полученным выражениям урожайность зерновых в центральном лесостепном районе подвержена влиянию температуры и продолжительности бездождевого периода. Причем влияние второго фактора является обратным, то есть чем больше продолжительность бездождевого периода, тем меньше значение урожайности.

В свою очередь в юго-восточном районе на урожайность кормовых влияет значение осадков, ввиду значительной вариации фактора по сравнению с температурами.

Ряды урожайности картофеля в Усть-Ордынско-Баяндаевском остепненно-лесостепном районе в наибольшей степени подвержены влиянию продолжительности безморозного периода.

Таблица 2.11 – Факторные модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур по агроландшафтным районам Иркутской области

Культура	Уравнение	Значение факторов	Значение F -критерия	R^2
Центральный лесостепной район				
Зерновые	$y_1=9,06+0,34t_1-0,21t_3$	$t_1=66 \div 78,6$ ($^{\circ}\text{C}$) $t_3=67 \div 98$ (дней)	13,56	0,69
Юго-восточный лесостепной район				
Кормовые	$y_4=63,39+0,19t_2$	$t_2=216 \div 451$ (мм)	12,72	0,50
Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной район				
Картофель	$y_2= -21,26+1,38t_4$	$t_4=98 \div 123$ (дней)	16,4	0,75

Таким образом, на урожайность приведенных культур в большей степени влияют факторы тепла.

Помимо этого, значимые факторные зависимости получены для рядов зерновых, картофеля и овощей по муниципальным районам региона (табл. 2.12).

Согласно результатам, приведенным в таблице 2.12, большинство моделей, описывающих зависимость урожайности от климатических параметров, являются однофакторными. Причем на ряды биопродуктивности зерновых и картофеля в южной и центральной части региона основное воздействие оказывают факторы тепла, а в северной – осадки. Вместе с тем овощные культуры, судя по полученным уравнениям, влаголюбивы независимо от пространственных колебаний.

Полученные выражения позволяют моделировать величину y_i . Поскольку факторы являются случайными величинами и подчиняются законам распределения вероятностей, можно решать прямые и обратные задачи. В частности, полученные уравнения позволяют определять значения факторов для оценки высокой и низкой урожайности. В этом случае

используется метод Монте-Карло. Для моделирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе факторных зависимостей предложен алгоритм (рис. 2.7а), согласно которому на первом этапе определяются статистические параметры климатических факторов.

Таблица 2.12 – Факторные модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур по данным муниципальных районов Иркутской области

Муниципальный район	Уравнение	Значение F -критерия	Значение факторов	R^2
зерновые культуры				
Братский	$y_1 = 23,20 - 0,0019t_3^2$	7,42	$t_3 = 59 \div 80$ (дней)	0,60
Иркутский	$y_1 = 28,17 - 0,17t_1$	6,49	$t_1 = 63,3 \div 77,8$ (°C)	0,58
картофель				
Балаганский	$y_2 = -38,67 + 2,56t_1$	4,78	$t_1 = 63,2 \div 74,8$ (°C)	0,52
Зиминский	$y_2 = 91,088 + 0,0015t_2t_3$	7,35	$t_2 = 176 \div 431$ (мм) $t_3 = 67 \div 98$ (дней)	0,60
Иркутский	$y_2 = 62,62 + 0,77t_4$	19,07	$t_4 = 102 \div 156$ (дней)	0,77
Качугский	$y_2 = 93,77 + 0,024t_2$	8,46	$t_2 = 177 \div 362$ (мм)	0,63
Тайшетский	$y_2 = 492,87 - 4,96t_1$	7,81	$t_3 = 63 \div 85$ (дней)	0,61
овощи				
Балаганский	$y_3 = 54,32 + 0,29t_2$	5,81	$t_2 = 137 \div 413$ (мм)	0,56
Зиминский	$y_3 = 238,19 - 0,017t_3^2$	6,08	$t_3 = 67 \div 98$ (дней)	0,57

Затем осуществляется выбор закона распределения, на основании которого случайным образом моделируются значения факторов. Полученные значения подставляются в регрессионные уравнения, по которым рассчитывается урожайность. Полученную урожайность можно оценить с некоторой вероятностью. Данный алгоритм применим в случаях, когда урожайность является случайной или слабосвязой величиной. Следует отметить, что по уравнениям регрессии можно решать обратные задачи – получать значения факторов на основе значений урожайности сельскохозяйственных культур (рис 2.7б).



Рисунок 2.7 – Алгоритмы моделирования урожайности сельскохозяйственных культур и климатических факторов на основе одно- и многофакторных уравнений

При решении этих задач используются как линейные, так и нелинейные модели. Очевидно, что решение усложняется для многофакторных зависимостей, особенно при решении обратных задач.

Результаты моделирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе факторных моделей при крайне благоприятных и неблагоприятных условиях и вероятности значений факторов приведены в таблице 2.13.

При решении обратной задачи для однофакторной модели значения урожайности моделируются случайным образом. Если модель является двухфакторной, существует два подхода к решению задачи такого рода. В первом случае значение урожайности является эмпирическим, значение первого фактора моделируется случайным образом, а значение второго фактора рассчитывается на основании факторной зависимости. Во втором случае случайным образом моделируется второй фактор, а значение первого – рассчитывается.

Таблица 2.13 – Результаты моделирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе факторных моделей с использованием метода статистических испытаний

Культура	Уравнение	Значение и вероятность			
		высокой урожайности		низкой урожайности	
		$y, ц/га$	p	$y, ц/га$	p
Центральный лесостепной район					
Зерновые	$y_1=9,06+0,34t_1-0,21t_3$	21,7	0,016	10,9	0,91
Юго-восточный лесостепной район					
Кормовые	$y_4=63,39+0,19t_2$	149,1	0,002	104,4	0,96
Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной район					
Картофель	$y_2=-0,56-0,69 t_1+1,59t_4$	144,6	0,064	114,5	0,99

Следует отметить, что подобного рода задача имеет особую практическую значимость, когда одним из факторов в модели являются осадки, поскольку количество осадков можно регулировать с помощью искусственного орошения.

В таблице 2.14 приведены результаты реализации алгоритма, приведенного на рисунке 2.7б, для факторных зависимостей, полученных по агроландшафтным районам. В качестве значений урожайности взяты интервалы минимальных и максимальных значений урожайности. Значения фактора x_1 в двухфакторных моделях получено с использованием метода Монте-Карло.

Таким образом, по данным за 1996-2012 гг. установлена связь урожайности сельскохозяйственных культур с климатическими параметрами по муниципальным и агроландшафтным районам Иркутской области.

Однако в пяти агроландшафтных районах, несмотря на выявленные корреляционные зависимости результативных и факторных признаков, значимых уравнений регрессии выявить не удалось. В этом случае возможно исследование рядов с использованием нелинейных факторных моделей.

Таблица 2.14 – Результаты моделирования климатических параметров на основе факторных моделей с использованием метода статистических испытаний

Культура	Уравнение	Значение урожайности, ц/га	Значение факторов	
Центральный лесостепной район				
Зерновые	$t_3=2,94 y_1+0,62t_3-26,65$	19,6-17,8	$t_1=66,1-76,9$ (°C)	$t_3=63,2-82,9$ (дней)
		11,9-10,7	$t_1=66,1-78,0$ (°C)	$t_3=96,4-114,3$ (дней)
Юго-восточный лесостепной район				
Кормовые	$t_2=5,26y_4-333,63$	148,5-164,1	$t_2=448,0-530,1$ (мм)	-
		104,8-115,9	$t_2=218,0-276,4$ (мм)	-
Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной район				
Картофель	$t_1=-1,45y_2+2,30t_4-0,39$	139,1-153,8	$t_1=59,5-73,0$ (°C)	$t_4=114,4-128,5$ (дней)
		98,9-109,3	$t_1=59,2-72,6$ (°C)	$t_4=89,4-100,1$ (дней)

Полученные уравнения применены для моделирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием метода статистических испытаний. Отметим, что на урожайность сельскохозяйственных культур и даты посева в различных природно-климатических зонах юга Восточной Сибири факторы тепла и увлажнения оказывают разное влияние. Обычно на юге в большей степени на результативный признак влияет температура, а в средней части региона дополнительное воздействие оказывают осадки.

3 ИНФОРМАЦИОННОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ

3.1 Модели оптимизации размещения сельскохозяйственных культур в условиях неполной информации

Иркутская область является территорией, в которой сельскохозяйственное производство в значительной степени зависит от комплекса природных факторов. Предприятия различных категорий региона в условиях резко континентального климата почти ежегодно подвергаются влиянию различных экстремальных природных явлений, среди которых выделяются засухи, интенсивные ливневые осадки, ураганы, наводнения [37].

Большое значение для планирования аграрного производства имеют задачи математического программирования, что связано с тем, что многие предприятия сталкиваются с проблемой выбора оптимальных вариантов использования земли, трудовых и материально-денежных ресурсов, техники, удобрений и т.д. Подобные задачи можно решать с различными критериями: на максимум прибыли, минимум затрат и др. Кроме того, целевая функция и ограничения могут иметь линейный и нелинейный вид [90, 91, 94, 95].

В диссертационной работе объектом моделирования является растениеводческая отрасль Иркутской области. В качестве переменных величин взяты искомые размеры площадей сельскохозяйственных культур и объем получаемого валового сбора.

Зачастую используются детерминированные модели, в которых параметры представляют собой усредненные величины [85, 91, 124, 126]. В реальных условиях они являются неопределенными и могут быть описаны в одних случаях законом распределения, в других, при недостаточной

информации, - верхними и нижними оценками. Если параметры являются вероятностными, то модель может быть записана в следующей редакции [13, 14]:

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is} y_{is}^p x_{is} - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} c_{is} x_{is} \rightarrow \max, \quad (3.1)$$

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} v_{lis}^p x_{is} \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I); \quad (3.2)$$

ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n} \leq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (1 + \eta_s) \bar{x}_{is} \leq \bar{n}; \quad (3.3)$$

производства конечной продукции не менее заданного объема

$$\sum_{i \in I} y_{is}^p x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S); \quad (3.4)$$

ограниченности вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} w_{mis} x_{is} \leq W_{mi} \quad (m \in M, i \in I); \quad (3.5)$$

неотрицательности переменных

$$x_{is} \geq 0. \quad (3.6)$$

Здесь d_{is} – цена реализации s -культуры i -го поля (руб./ц); y_{is}^p – выход продукции с единицы площади s -культуры i -го поля (ц/га), соответствующий некоторой вероятности p ; x_{is} – площадь возделывания s -культуры на i -м поле (га); c_{is} – затраты на 1 га i -го поля s -культуры (руб./га); v_{lis}^p – расход l -ресурса на единицу площади s -культуры i -го поля (тыс. чел.-ч/га, тыс. руб./га), соответствующий некоторой вероятности; V_{li} – наличие ресурса l -вида i -го поля; Y_s – гарантированный (минимальный) объем производства продукции s -культуры (ц); $\bar{n}$, $\underline{n}$ – максимально и минимально возможная площадь возделывания культур (га); η_s – коэффициент, учитывающий площадь посевов семян s -культуры; w_{mis} – расход m -

удобрения (средства защиты растений) на единицу площади i -го поля s -культуры (ц/га); W_{mi} – наличие удобрения m -вида i -го поля (ц).

Наличие в задаче (3.1)-(3.6) случайных параметров позволяет использовать метод статистических испытаний для ее решения. При этом оптимальный план задачи связывается с некоторой вероятностью, представляющей собой сумму вероятностей значений урожайности сельскохозяйственных культур, трудовых и других ресурсов. Формула расчета суммы вероятности двух случайных величин выглядит следующим образом

$$\xi\left(\sum_{k=1}^K p_k\right) = \sum_{k=1}^K \xi p_k - \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j=k+1}^K \xi(p_k p_j) + \sum_{k=1}^{K-2} \dots + (-1)^{n-1} \xi\left(\prod_{k=1}^K p_k\right), \quad (3.7)$$

где $P_1 = \int_0^{x_1} p_1(x_1) dx_1$, $P_2 = \int_0^{x_2} p_2(x_2) dx_2$, ..., $P_K = \int_0^{x_K} p_K(x_K) dx_K$.

Функция распределения непрерывной случайной величины может быть выражена в виде интеграла:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_K) = \int_{-\infty}^{x_K} \int_{-\infty}^{x_{K-1}} \dots \int_{-\infty}^{x_1} p(x_1, x_2, \dots, x_K) dx_1 dx_2 \dots dx_K. \quad (3.8)$$

При этом непрерывные случайные величины, входящие в систему, являются независимыми, если

$$p(x_1, x_2, \dots, x_K) = p_1(x_1) p_2(x_2) \dots p_K(x_K). \quad (3.9)$$

Тогда формула (3.8) примет вид

$$P(x_1, x_2, \dots, x_K) = \int_{-\infty}^{x_K} \int_{-\infty}^{x_{K-1}} \dots \int_{-\infty}^{x_1} p_1(x_1) dx_1 p_2(x_2) dx_2 \dots p_K(x_K) dx_K. \quad (3.10)$$

Эти функции могут иметь одинаковые или разные законы распределения. Полученная формула (3.10) представляет собой произведение вероятностей, входящих в выражение (3.7). В качестве численного решения этой задачи можно использовать методы решения задач линейного программирования с применением метода статистических испытаний.

Поскольку Восточная Сибирь относится к зонам рискованного земледелия с резко континентальным климатом, урожайности

сельскохозяйственных культур подвержены значительным колебаниям, что нужно учитывать при планировании сельскохозяйственного производства. Другими словами, необходима объективная оценка верхних и нижних значений параметра, характеризующего биопродуктивность.

В простейшем случае максимальные и минимальные значения урожайности могут быть использованы для расчетов, как наибольшие и наименьшие значения многолетнего ряда, представляющего собой усредненные данные по предприятиям, муниципальным образованиям, региону и т.д. Очевидно, что такой подход не учитывает особенностей сельскохозяйственных зон, агроландшафтных районов, сельскохозяйственных угодий и хозяйств. Поскольку в сельскохозяйственные зоны и агроландшафтные районы входит множество муниципальных образований, в работе предложена другая методика оценки экстремальных значений урожайности.

В частности, из множества рядов урожайности по муниципальным образованиям в рамках сельскохозяйственной зоны или агроландшафтного района выбираются их наименьшие и наибольшие значения, по которым строятся эмпирические функции распределения. Затем оцениваются средние наименьшие и средние наибольшие значения пространственных рядов, коэффициенты вариации и асимметрии, по которым строят законы распределения вероятностей. Кроме того, определяются абсолютные минимальные и максимальные оценки.

В случаях, когда ряды представляют собой короткие и неоднородные выборки, ограничения (3.2) и (3.4) являются интервальными. Причем в виде интервалов могут быть описаны не только левые части ограничений, но и целевая функция. Для таких ситуаций предложена следующая модель:

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \tilde{d}_{is} \tilde{y}_{is}^p x_{is} - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \tilde{c}_{is} x_{is} \rightarrow \max, \quad (3.11)$$

$$\underline{\tilde{d}}_{is} \leq \tilde{d}_{is} \leq \overline{\tilde{d}}_{is}, \quad (3.12)$$

$$\underline{\tilde{y}}_{is} \leq \tilde{y}_{is} \leq \overline{\tilde{y}}_{is}, \quad (3.13)$$

$$\underline{\tilde{c}}_{is} \leq \tilde{c}_{is} \leq \overline{\tilde{c}}_{is}; \quad (3.14)$$

$$\sum_{s \in S} \tilde{v}_{lis} x_{is} \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I), \quad (3.15)$$

$$\underline{\tilde{v}}_{lis} \leq \tilde{v}_{lis} \leq \overline{\tilde{v}}_{lis}; \quad (3.16)$$

$$\sum_{i \in I} \tilde{y}_{is} x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S). \quad (3.17)$$

В некоторых случаях урожайность сельскохозяйственных культур (y_{is}) характеризуется значимыми трендами или высокими коэффициентами автокорреляции. Аналогичные особенности имеют место для трудовых и некоторых других производственных ресурсов. При наличии трендов или высоких значимых коэффициентов автокорреляции условия (3.2) и (3.4) связаны с параметром t :

$$\sum_{s \in S} v_{lis}(t) x_{is} \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I), \quad (3.18)$$

$$\sum_{i \in I} y_{is}(t) x_{is} \geq Y_s \quad (s \in S), \quad (3.19)$$

где t – функциональная зависимость, параметр времени или предшествующее значение ряда.

В ситуациях, когда урожайности сельскохозяйственных культур описываются с помощью одно- и многофакторных зависимостей, предлагается модель оптимизации размещения посевов, левая часть ограничения (3.4) которой имеет следующий вид:

$$y_{is} = a'_{is} + a''_{is} t_{gis} + a'''_{is} t_{gis}^2 \quad (i \in I, s \in S, g \in G), \quad (3.20)$$

$$y_{is} = (a'_{is} + a''_{is} t'_{gis} + a'''_{is} t''_{gis})^\varphi, \quad (3.21)$$

где t_{gis} – параметры тепла и увлажнения, $\varphi = 1, 2$.

Исследование рядов факторов t_{gis} показывает, что они являются случайными. В этом случае при решении задачи (3.1)-(3.6) с учетом выражений (3.20) и (3.21) для моделирования климатических факторов можно использовать метод статистических испытаний. Следует отметить, что параметры тепла и увлажнения могут рассматриваться не только как вероятностная величина, но и в виде интервальных оценок. При этом

факторы могут быть различными в зависимости от природно-экономических характеристик региона.

Предложенный подход к оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с использованием метода имитационного моделирования позволяет лицу, принимающему решения, получать различные варианты решения задач в зависимости от изменчивости урожайности и других параметров.

Таким образом, сформулированы различные варианты модели оптимизации размещения посевов. В первом случае параметры, входящие в модель, являются случайными и описываются с помощью закона распределения вероятностей. В условиях неполной информации для описания применимы интервальные оценки параметров. В этом случае для верхней и нижней оценки параметров модели используется методика пространственно-временного анализа рядов биопродуктивности. Помимо этого, предложен подход, определяющий параметры модели, связанные функционально.

3.2 Многоэтапные модели оптимизации структуры посевов

Наиболее важной и трудоемкой задачей является разработка моделей, учитывающих наилучшие продуктивные севообороты, которые представляют собой наиболее важные средства повышения эффективности использования земли, увеличения валовых сборов сельскохозяйственных культур, защиты земель от деградации. При построении такого рода моделей необходимо учитывать:

- требования ведения севооборотов и агротехнической целесообразности возделывания сельскохозяйственных культур при оптимизации структуры площадей;
- выбор лучших возможных схем чередования сельскохозяйственных культур;

– размещение севооборотов определенных типов и видов культур с учетом качества почв;

– взаимоувязка планируемой структуры посевных площадей с рекомендуемыми схемами чередования сельскохозяйственных культур для оптимизации сочетания отраслей сельскохозяйственного предприятия [42].

При оптимизации размещения посевов с учетом изменчивости зависимости биопродуктивности от предшественников целевая функция и ограничения выглядят так

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is}^h y_{is}^h x_{is}^h - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} c_{is}^h x_{is}^h \rightarrow \max \quad (h \in H), \quad (3.22)$$

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} v_{lis}^h x_{is}^h \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I); \quad (3.23)$$

ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n} \leq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \left(\eta_s^h + \gamma_{is}^h \right) x_{is}^h \leq \bar{n}; \quad (3.24)$$

производства конечной продукции не менее заданного объема

$$\sum_{i \in I} y_{is}^h x_{is}^h \geq Y_s \quad (s \in S), \quad (3.25)$$

ограниченности вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} w_{mis}^h x_{is}^h \leq W_{mi} \quad (m \in M, i \in I); \quad (3.26)$$

неотрицательности переменных

$$x_{is}^h \geq 0, \quad (3.27)$$

где h – вариант сочетания предшественников.

Приведенная модель (3.22)-(3.27) справедлива для ситуации, когда сельскохозяйственные угодья разделены на две части. Одна часть предназначена для производства сельскохозяйственной продукции, а другая – под пары. Задача усложняется, если учитывать севообороты, в этом случае вводится дополнительное ограничение:

$$x_{is}^h \leq x_{is}'^h, \quad (3.28)$$

где x_{is}^h – площадь освоения и трансформации i -го поля s -культуры (га); $x_{is}'^h$ – площадь освоения и трансформации i -го поля s -культуры по проекту севооборота (га).

В модели (3.22)-(3.27) параметры y_{is} , v_{lis} и w_{mis} могут быть детерминированными, случайными, интервальными величинами или описываться некоторыми функциями в зависимости от особенностей технологических и климатических параметров. Результатом решения задачи являются значения площадей для тех или иных предшественников, принятых для сельскохозяйственного предприятия. Рассмотрим задачи оптимизации структуры площадей с учетом влияния предшественников для различных величин более подробно.

Сформулированная задача является двухэтапной. На первом этапе рассчитываются значения критерия оптимальности в зависимости от заданных предшественников. На втором этапе из полученных вариантов для каждого предшественника выделяются некоторые группы оптимальных решений, используемые при управлении производственными процессами.

В случае, когда параметры модели являются детерминированными (усредненные значения) решение задачи (3.22)-(3.27) сводится к нахождению распределения площадей посевов в зависимости от предшественников. Из множества оптимальных решений выделяется наилучший $f_{\max}^{\max}$ и наихудший $f_{\max}^{\min}$ варианты, которым соответствует план 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 (3.22)-(3.27) являются неопределенными, во второй ситуации производственные ресурсы, урожайность и удобрения и средства защиты растений могут оцениваться в виде верхних и нижних значений. Целевая функция и ограничения (3.23), (3.25) и (3.26) в этом случае примут вид:

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \tilde{d}_{is}^h \tilde{y}_{is}^h x_{is}^h - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \tilde{c}_{is}^h x_{is}^h \rightarrow \max, \quad (3.29)$$

$$\underline{\tilde{d}}_{is}^h \leq \tilde{d}_{is}^h \leq \overline{\tilde{d}}_{is}^h, \quad (3.30)$$

$$\underline{\tilde{y}}_{is}^h \leq \tilde{y}_{is}^h \leq \overline{\tilde{y}}_{is}^h, \quad (3.31)$$

$$\underline{\tilde{c}}_{is}^h \leq \tilde{c}_{is}^h \leq \overline{\tilde{c}}_{is}^h; \quad (3.32)$$

$$\sum_{s \in S} \tilde{v}_{lis}^h x_{is}^h \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I), \quad (3.33)$$

$$\underline{\tilde{v}}_{lis}^h \leq \tilde{v}_{lis}^h \leq \overline{\tilde{v}}_{lis}^h; \quad (3.34)$$

$$\sum_{i \in I} \tilde{y}_{is}^h x_{is}^h \geq Y_s \quad (s \in S); \quad (3.35)$$

$$\sum_{s \in S} \tilde{w}_{mis}^h x_{is}^h \leq W_{mi} \quad (m \in M, i \in I), \quad (3.36)$$

$$\underline{\tilde{w}}_{mis}^h \leq \tilde{w}_{mis}^h \leq \overline{\tilde{w}}_{mis}^h. \quad (3.37)$$

На первом этапе для каждого варианта сочетания предшественников экспертом предлагаются возможные варианты размещения посевов с учетом интервальных значений, которые могут быть определены как верхние и нижние оценки экспертным путем или на основе пространственно-временного анализа данных об урожайности сельскохозяйственных культур. Подобную задачу можно решить двумя способами. В первом случае решениями такой задачи являются наилучший $\text{MAX } f_{\max \psi}^h$ (где $\psi \in \Psi$ – число смоделированных значений интервальных параметров), наихудший $\text{MIN } f_{\max \psi}^h$ варианты и медиана $\text{Me } f_{\max \psi}^h$ 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.

Эту же задачу можно сформулировать, если урожайность и производственные параметры являются случайными. Тогда ограничения (3.23), (3.25) примут следующий вид:

$$\sum_{s \in S} v_{lis}^{(p)h} x_{is}^h \leq V_{li} \quad (l \in L, i \in I, h \in H), \quad (3.38)$$

$$\sum_{i \in I} y_{is}^{(p)h} x_{is}^h \geq Y_s \quad (s \in S). \quad (3.39)$$

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 (3.38)-(3.39). 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 (3.22)-(3.27) с учетом ограничений (3.38)-(3.39) может быть разделена на H задач. Для каждой задачи определяется распределение значений целевой функции $f_{\max}^{(\xi)h}$. Второй этап решения задачи связан с выделением необходимых для управления вариантов решений. В качестве таковых можно использовать минимальное, максимальное и медианное распределения вероятностей: $\text{MAX } f_{\max}^{(\xi)h}, \text{ MIN } f_{\max}^{(\xi)h}, \text{ Me } f_{\max}^{(\xi)h}$.

Для численного решения этой задачи используется метод Монте-Карло. Суть данного подхода заключается в следующем. Во-первых, методом статистических испытаний моделируются значения вероятностных параметров для каждого сочетания предшественников h . Многократно решается задача линейного программирования, в результате которой определяется распределение вероятностей целевой функции $f_{\max}^{(\xi)h}$ с учетом суммы частных вероятностей.

Аналогичным образом определяется распределение вероятностей для других вариантов сочетаний предшественников. На втором этапе из множества полученных функций распределения выбираются минимальные и максимальные функции и медиана. При этом решения могут быть определены как оценки квантилей функции распределения с применением метода Монте-Карло.

Задача оптимизации структуры посевов с учетом предшественников может быть решена без непосредственного учета мнения экспертов. В этом случае каждое поле с одной сельскохозяйственной культурой может быть разделено на множество полей с различными культурами согласно правилам использования предшественников.

Другими словами, каждое поле представляет собой элементарную единицу, для которой решается задача математического программирования. Затем результаты обобщаются для всех площадей и представляют собой новую структуру. Понятно, что такая задача имеет множество оптимальных решений в зависимости от предшественников и соответствует некоторым вероятностям.

На первом этапе получим следующее решение

$$f^{(I)\xi} = f_1^{(I)\xi} + f_2^{(I)\xi} + \dots + f_s^{(I)\xi}, \quad (3.40)$$

где $f^{(I)\xi}(x_{11}^* + x_{12}^* + \dots + x_{1s}^*, x_{21}^* + x_{22}^* + \dots + x_{2s}^*, \dots, x_{i1}^* + x_{i2}^* + \dots + x_{is}^*)$.

На втором этапе по полученным схемам размещения для заданных ξ вновь решается задача математического программирования. В этом случае для каждой структуры посевов, зависящей от суммарной вероятности ξ , будут найдены оптимальные планы $f^{(II)\xi}$. При этом значению критерия оптимальности будут соответствовать некоторые значения параметров x_{is}^{**} .

Следует отметить, что таких этапов может быть несколько в зависимости от поставленной цели. Подобная задача позволяет оптимизировать структуры посевов и определять планы на краткосрочную и

долгосрочную перспективу. При этом лицу, принимающему решение, предлагаются различные оптимальные схемы размещения посевов.

Помимо этого, на основании многоэтапной задачи можно оценить, какие затраты понесет предприятие на улучшение качества почвы в последующем году при применении того или иного плана размещения посевов.

Таким образом, предложены различные варианты многоэтапной задачи с детерминированными, интервальными и вероятностными параметрами с прямым и косвенным учетом мнения экспертов. В первом случае предшественники определяются экспертным путем, каждое последующее решение зависит от мнения эксперта. При втором подходе оптимизируется структура посевов на каждом поле в зависимости от предшественника. Затем результаты, полученные на разных полях, обобщаются. В случае, когда параметры модели являются неопределенными, для их решения используется метод Монте-Карло.

Следует отметить, что подобного рода задачи могут быть использованы не только для оптимизации растениеводческой отрасли, но и при оптимизации сочетания отраслей.

3.3 Алгоритмическое обеспечение программного комплекса моделирования биопродуктивности

Всесторонний анализ методов оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур на территории Иркутской области показал необходимость комплексного математического обеспечения анализа и выявления закономерностей этого параметра.

В работе для моделирования многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур использованы: вероятностные, авторегрессионные, трендовые, факторные модели.

При моделировании урожайности необходимо оценивать статистические параметры рядов. Анализ коэффициентов автокорреляции позволяет определить уровень связи значений ряда. Для оценки однородности рядов в работе использованы два критерия: проверка равенства средних значений, выделенных из общей выборки рядов; оценка близости дисперсий согласно критерию Фишера. С помощью вероятностных методов оцениваются статистические параметры рядов, определяются значения автокорреляционных функций и статистические закономерности рядов. Если ряды являются случайными, то используются законы распределения вероятностей. При традиционном описании рядов, включающих все наблюдения (полный ряд), согласно критерию согласия Колмогорова наиболее приемлемыми законами распределения являются нормальный и гамма.

Кроме того, от значений коэффициента автокорреляции зависит выбор методов, используемых для моделирования исследуемой характеристики. В первом случае, когда значения рядов являются случайными, применяются различные методы теории вероятностей и математической статистики. Наличие сильных значимых внутрирядных связей позволяет применять авторегрессионные модели, которые во многих случаях позволяют прогнозировать значения урожайности с заблаговременностью 1-2 года, что подтверждают критерии оценки качества модели и методы ретроспективного предсказания.

Большое значение в моделировании урожайности сельскохозяйственных культур имеют трендовые модели. Построение трендов является наиболее распространенным методом выявления тенденций урожайности сельскохозяйственных культур. Значимые тренды могут использоваться для прогнозирования параметра с упреждением 1-2 года, поскольку продолжительность рядов является незначительной.

Особое место среди эконометрических моделей занимают факторные модели, которые характеризуют связи между результативным признаком и

факторами, влияющими на него. На основе корреляционно-регрессионного и автокорреляционного анализов можно строить одно- и многофакторные модели.

Предложены алгоритмы решения сформулированных задач оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур. При этом использован метод статистических испытаний, позволяющий при коротких и неоднородных выборках моделировать значения параметра в заданных интервалах. В случаях если ряды урожайности описаны законом распределения вероятностей, то с помощью псевдослучайных чисел, характеризующих вероятности, можно получать значения биопродуктивности. Таким же образом моделируются климатические параметры, представляющие собой случайные величины с заданными законами распределения.

Такой подход теоретически обоснован, если группы и виды урожайности сельскохозяйственных культур являются независимыми. В противном случае необходимо учитывать связь между параметрами. Поэтому в работе предложены различные алгоритмы решения задач математического программирования с использованием метода Монте-Карло.

На рисунке 3.1 приведен алгоритм решения оптимизационной задачи размещения сельскохозяйственных культур с учетом первого коэффициента автокорреляции и наличия трендов в рядах урожайности с использованием метода статистических испытаний.

Задача оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур решается в следующей последовательности. Сначала вычисляются статистические параметры: среднее значение (y_{is}^{cp}), коэффициент вариации ($C_{v_{is}}$) и первый коэффициент автокорреляции ($R_{1_{y_{is}}}$). Осуществляется проверка рядов урожайности на наличие трендов.



Рисунок 3.1 – Алгоритм оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с учетом первого коэффициента автокорреляции рядов урожайности и 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 качество полученных моделей и рассчитываются прогнозные значения, в противном случае статистические параметры вычисляются с учетом смещенности. По критерию 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} вычисляется критерий оптимальности в виде прибыли от реализации сельскохозяйственной

продукции f_{ξ^j} и f_α . На последнем этапе выделяют оптимальные решения для управления аграрным производством с заданной ξ^j .

Очевидно, что предложенная задача является довольно сложной, если учесть, что в Иркутской области выращивается около 40 сельскохозяйственных культур различных сортов [72]. Помимо этого, имеется большое количество полей, для обработки которых необходимы различные ресурсы.

Поскольку многие параметры, входящие в модель, являются интервальными, предложен другой алгоритм получения оптимальных решений с использованием метода Монте-Карло (рис. 3.2а).

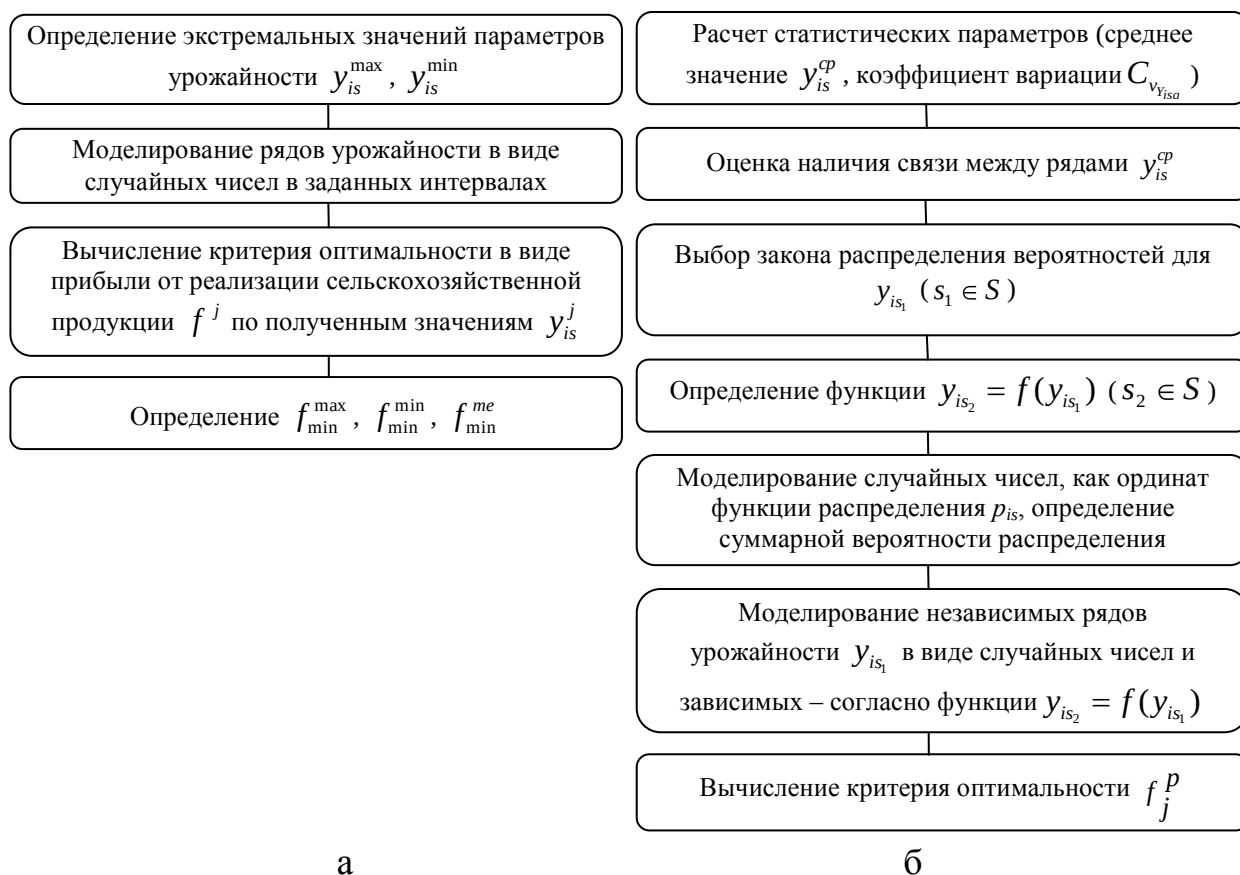


Рисунок 3.2 – Алгоритм оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с использованием метода статистических испытаний для интервальных величин урожайности сельскохозяйственных культур (а) и с учетом корреляции между рядами биопродуктивности (б)

При использовании алгоритма сначала согласно пространственно-временному анализу с учетом природно-климатических особенностей рассматриваемых территорий определяются экстремальные значения

урожайности сельскохозяйственных культур $y_{is}^{\max}$, $y_{is}^{\min}$. На втором этапе с использованием экстремумов моделируются ряды урожайности y_{is}^j в виде случайных чисел, где $i \in I$, $s \in S$. Затем по полученным значениям строится некоторое число оптимизационных моделей размещения сельскохозяйственных культур с критерием f^j . Из них выбираются максимальное, минимальное значения и медиана целевой функции ($f_{\min}^{\max}$, $f_{\min}^{\min}$, $f_{\min}^{me}$), в качестве которой использована прибыль от реализации сельскохозяйственной продукции.

Приведенный алгоритм позволяет расширить возможности моделирования размещения сельскохозяйственных культур, поскольку ряды урожайности являются короткими и обладают неоднородностью, что приводит к значительным стандартным ошибкам параметров модели.

При определении в ряде случаев связей между урожайностями разных культур можно рассматривать различные ситуации. Первая ситуация подразумевает случайность всех рядов и наличие связи между некоторыми урожайностями сельскохозяйственных культур. Во втором случае имеются слабые внутрирядные и значимые междурядные зависимости. Кроме того, ряды могут быть случайными, слабосвязными и между ними существует значимая корреляция. Для первого случая предложен следующий алгоритм оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с учетом междурядных связей (рис. 3.2б).

При использовании данного алгоритма на первом шаге необходимо оценить статистические параметры рядов и междурядные связи. В случае если ряды являются случайными, определить функциональную зависимость параметров. Затем одни значения с помощью выбранного закона распределения моделируем случайным образом и определяем соответствующие им значения урожайности, а другие значения получаем согласно функции $y_{is} = f(y_{zs})$. Следующим этапом является вычисление

критерия оптимальности f_j^p , в качестве которого использована прибыль от производства сельскохозяйственной продукции.

При наличии в задачах оптимизации структуры посевов факторных зависимостей (3.16)-(3.17) имеют место детерминированные связи результативного признака с факторами, что уменьшает число случайных параметров. С другой стороны, такая постановка усложняет решение задачи ввиду перехода детерминированной задачи в разряд стохастических.

При решении этой задачи на первом этапе вычисляются статистические параметры факторов t_{gis} . Выбирается закон распределения вероятностей, соответствующий эмпирическим данным. Затем моделируются случайные числа, характеризующие ординаты заданных функций распределения p_{is}^j , по которым определяются значения параметров t_{gis} . После этого строятся ограничения. На четвертом шаге решается задача математического программирования с учетом вероятностных значений факторов урожайности сельскохозяйственных культур. Из полученных решений выбираются наиболее приемлемые (рис. 3.3).

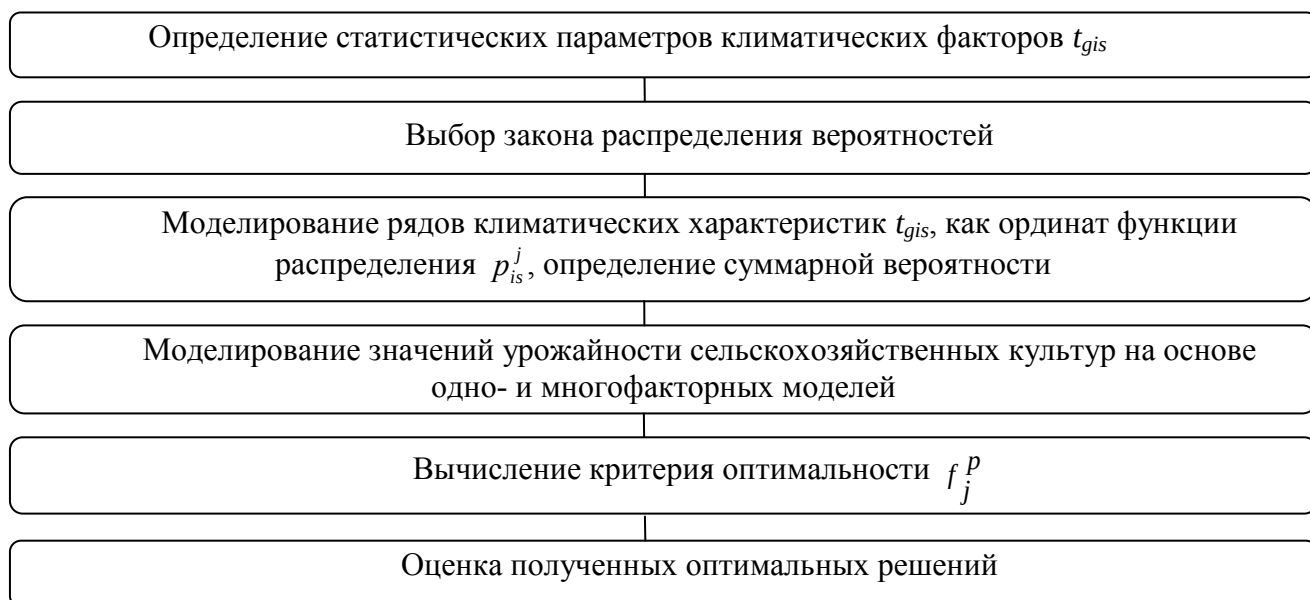


Рисунок 3.3 – Алгоритм оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с использованием метода статистических испытаний с учетом факторных зависимостей

Многократное повторение эксперимента позволяет определять различные варианты решения задачи в зависимости от сочетания факторов, соответствующих смоделированным вероятностям. Следует отметить, что оптимальный план задачи связывается с некоторой вероятностью. В случае, когда урожайности зависят от одного климатического параметра, суммарной вероятностью считается вероятность этого параметра.

Рассмотрим алгоритмы оптимизации структуры посевов с учетом различных вариантов сочетания предшественников с интервальными параметрами. В первом случае (рис. 3.4а) верхние и нижние значения урожайности сельскохозяйственных культур определяются как экспертные оценки в зависимости от рассматриваемой территории.



Рисунок 3.4 – Алгоритм оптимизации структуры посевов с учетом различных вариантов сочетания предшественников с интервальными оценками

Затем на основании значений экстремумов с использованием метода статистических испытаний моделируются ряды урожайности y_{is}^h в виде случайных чисел, где $i \in I$, $s \in S$, $h \in H$. По полученным значениям определяется ψ -е число значений критерия оптимальности ($\psi \in \Psi$ – число

смоделированных значений интервальных параметров). Из них выбираются наилучший $MAX \mathcal{F}_{\max \psi}^h$, наихудший $MIN \mathcal{F}_{\max \psi}^h$ варианты и медиана $Me \mathcal{F}_{\max \psi}^h$ критерия оптимальности, в качестве которого использована прибыль от реализации сельскохозяйственной продукции.

При другом подходе (рис. 3.4б) вначале определяются наилучшие, наихудшие варианты критерия оптимальности и медиана для каждого сочетания предшественников h . Затем из полученного множества максимальных значений целевой функции выбирается медианное значение $Me \mathcal{F}_{\max}^{\max h}$. Аналогичным образом осуществляется выбор медианы минимальных значений $Me \mathcal{F}_{\max}^{\min h}$ и медианы медиан $Me \mathcal{F}_{\max}^{me h}$. Число смоделированных значений ψ задается пользователем и связано с генерированием интервальных оценок параметров модели методом Монте-Карло.

В случае, когда значения урожайности сельскохозяйственных культур в задаче оптимизации структуры посевов с учетом влияния предшественника рассматривается в качестве случайной величины (рис. 3.5), на первом этапе рассчитываются статистические параметры рядов биопродуктивности. Затем для каждого варианта сочетания предшественников h моделируются значения урожайности $y_{is\psi}^h$ (где ψ – число смоделированных значений параметра), как ординат функции распределения $p_{is\psi}^h$. Определяется суммарная вероятность ξ . Следующий этап заключается в расчете критериев оптимальности $f_{\max \psi}^{(\xi)h}$ по каждому варианту сочетания предшественников h . Таким образом, результатом решения является распределение вероятностей целевой функции для каждого h . На следующем этапе необходимо из множества распределений H выбрать худшие, лучшие и усредненные оптимальные ситуации. Худший вариант предполагает минимизацию функции распределения ($MIN \mathcal{F}_{\max}^{(\xi)h}$), лучший – максимизацию ($MAX \mathcal{F}_{\max}^{(\xi)h}$), а усредненный – медиану распределений ($Me \mathcal{F}_{\max}^{(\xi)h}$).



Рисунок 3.5 – Алгоритм оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с использованием метода статистических испытаний с учетом различных вариантов сочетания предшественников

Комплекс предложенных алгоритмов необходим для оценки различных рисков производителя сельхозпродукции: природных, рыночных, регуляторных и изменчивости рядов биопродуктивности, значения которых используются в задачах оптимизации структуры посевов. Следует отметить, что алгоритмы могут дополнять друг друга в зависимости от особенностей рядов биопродуктивности.

3.4 Программный комплекс моделирования биопродуктивности культур

3.4.1 Проектирование программного комплекса моделирования биопродуктивности культур

Разработка программного комплекса, как правило, осуществляется для выполнения определенных функций. Особенности деятельности предприятия, безусловно, оказывают влияние на его структуру [102].

В настоящее время разработаны различные информационные системы и программные комплексы, позволяющие управлять процессами аграрного производства [18].

Среди современных отечественных разработок в области растениеводства выделим следующие:

- конфигурация «АдептИС: Сводное планирование в сельском хозяйстве» для «1С: Предприятие 8.0»;
- географическая информационная система «ПанорамаАГРО»;
- «АРМ Агронома-Землеустроителя», созданная в ГНУ СибФТИ СО РАСХН;
- автоматизированная ИС «Хозяйство», разработанная министерством сельского хозяйства Иркутской области;
- программные комплексы, созданные в ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии:
 - «Прогнозирование реально достижимых урожаев на основе агрохимических показателей почв»;
 - «Размещение и чередование сельскохозяйственных культур в полях севооборотов»;
 - «Расчеты структуры посевных площадей севооборотов на основе баланса органических веществ» и др.

Перечисленные программы полностью или частично автоматизируют производство растениеводческой продукции на основе точного земледелия, анализа севооборота, нормирования работ. К недостаткам систем можно отнести отсутствие сравнительного анализа результатов моделирования с применением различных методов; оценки неоднородности данных; использования результатов прогнозирования в задачах оптимизации производства сельскохозяйственной продукции различных отраслей и их сочетания и др. Кроме того, программное обеспечение не всегда обладает удобным интерфейсом, и пользователь вынужден тратить значительное количество времени на изучение программы, ввод параметров и т.д.

Помимо этого, существующие программные продукты не позволяют осуществлять планирование структуры посевов на основе многоэтапных моделей и не учитывают особенности природно-климатических и производственно-экономических параметров для различных территорий, в соответствии с которыми используются различные модели математического программирования в условиях неопределенности.

Поскольку одним из основных параметров, влияющих на управление аграрным производством, является урожайность, актуально создание проблемно-ориентированного программного комплекса моделирования биопродуктивности с применением различных подходов, методов моделирования и прогнозирования.

Согласно построенной функциональной модели программного комплекса его основной функцией является моделирование биопродуктивности культур с учетом изменчивости климата. Функциональная модель построена при помощи инструментария BPwin [39, 74, 75].

На рисунке 3.6 изображена декомпозиция функции «Моделирование биопродуктивности культур с учетом изменчивости климата», которая была выделена при создании функциональной модели программного комплекса.

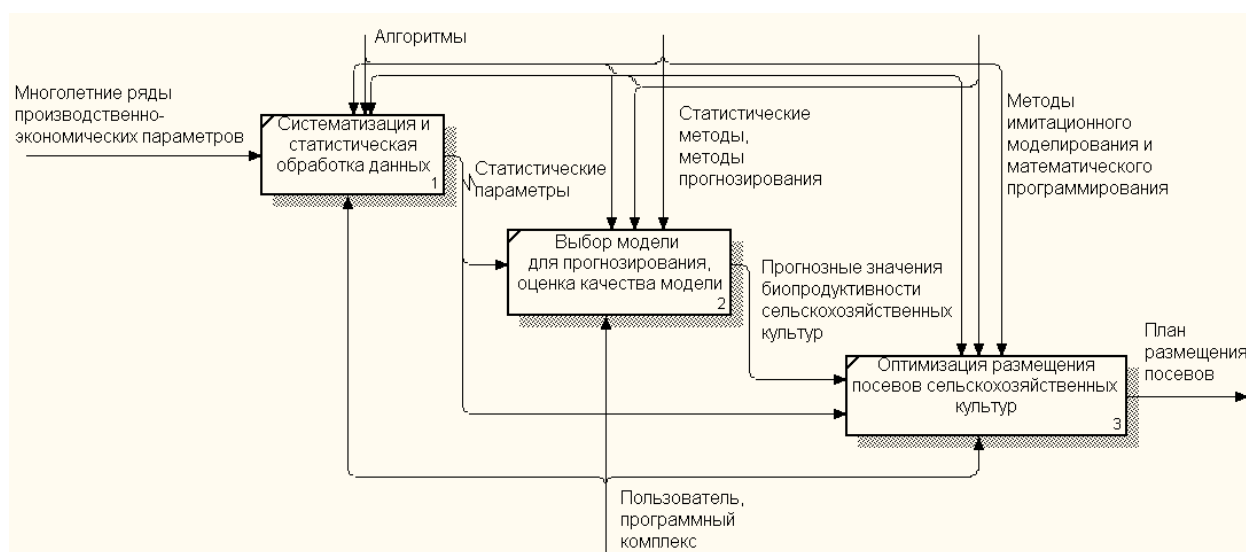


Рисунок 3.6 – Декомпозиция функции «Моделирование биопродуктивности культур с учетом изменчивости климата»

Основная функция детализируется на функции второго уровня: систематизация и статистическая обработка данных; выбор модели для прогнозирования, оценка качества модели; оптимизация размещения посевов сельскохозяйственных культур.

Функция «Систематизация и статистическая обработка данных» позволяет обновлять и редактировать базу данных, применять статистические методы обработки информации для определения параметров рядов. С помощью второй функции осуществляется выбора качественной модели для прогнозирования урожайности. Третья функция предназначена для оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что каждая из выделенных функций содержит различные подфункции. В частности, на основании полученных особенностей рядов строятся модели оптимизации структуры посевов с вероятностными, интервальными параметрами, трендовыми, авторегрессионными, факторными зависимостями и учетом предшественников.

В качестве входной информации использованы многолетние данные об урожайности, площадях и валовых сборах, а также о различных климатических и агротехнических характеристиках. В качестве управляющей информации использованы алгоритмы, методы теории вероятностей и математической статистики, методы математического программирования. Детерминированные параметры, как правило, определяются на основе нормативно-справочной информации и маркетинговой оценки производства продукции. Что касается интервальных и случайных параметров, то они определяются с помощью статистических методов обработки данных. Для выявления функциональных зависимостей параметров модели используются методы построения функций на основании статистических критериев. На выходе пользователь получает оптимальный план размещения посевов сельскохозяйственных культур.

Одним из ключевых этапов при создании программного комплекса является разработка базы данных, полностью удовлетворяющей

потребностям пользователя. Учитывая комплексный подход при моделировании биопродуктивности и оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур, становится понятным, что существующие базы данных содержат лишь часть необходимых для решения этих задач данных.

База данных включает в себя информацию об урожайности различных культур, площадях посевов и валовых сборах, а также о климатических и агротехнических параметрах за многолетний период по муниципальным районам Иркутской области. Кроме того, в справочники занесены нормы затрат трудовых и материальных ресурсов за единицу продукции, которые используются при построении оптимизационных моделей.

Для представления информационной модели данных использовано CASE-средство ERwin. С его помощью при проектировании модели программного комплекса была создана физико-логическая модель базы данных [75].

Построение логической и физической моделей данных является основной частью проектирования базы данных. Полученная в процессе анализа информационная модель сначала преобразуется в логическую модель данных, которая представлена на рисунке 3.7, а затем в физическую.

В модели данных на логическом уровне выделено 12 сущностей: Урожайность, Культура, Поле, Муниципальное образование, Реестр, Природно-климатические характеристики, Агротехнические параметры, Справочник ресурсные затраты, Категории хозяйств, Зона, Урожайность с учетом предшественника, Пункты наблюдений. Каждая из сущностей имеет множество атрибутов, например, сущность Урожайность имеет следующие атрибуты: Код урожайности, Год урожайности, Значение урожайности. Перечисленные атрибуты характеризуют указанную сущность с той стороны, которая необходима специалисту.

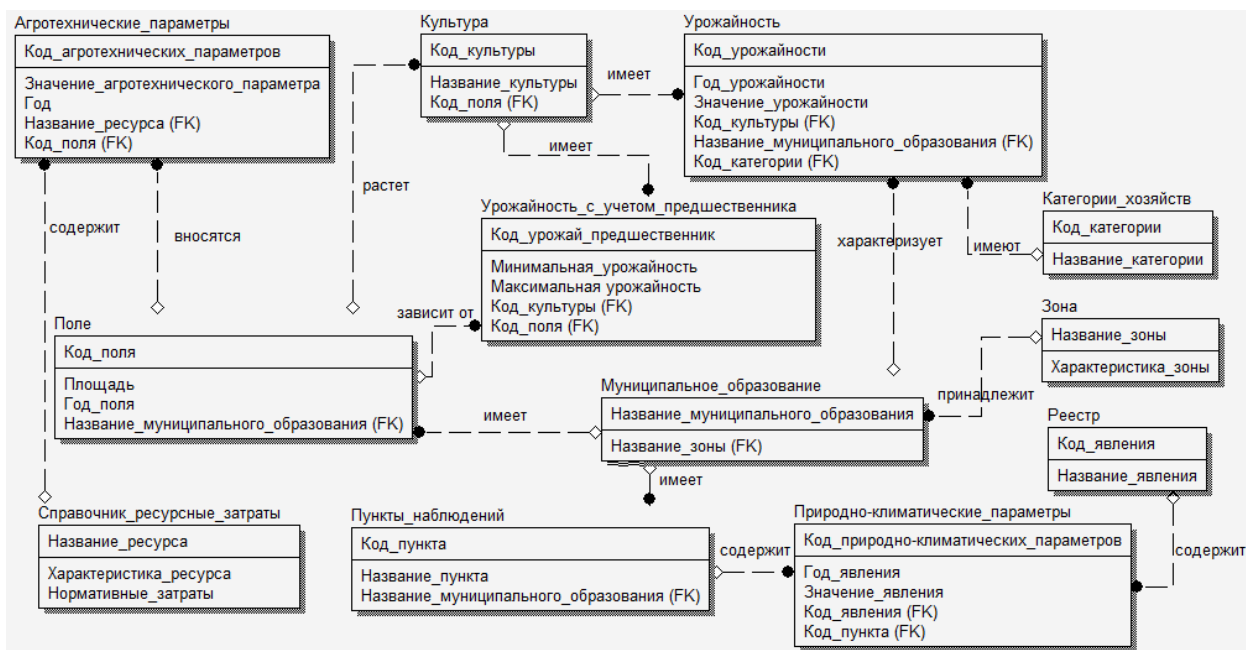


Рисунок 3.7 – Концептуальная модель данных

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.

После построения модели данных в ERwin произведена ее генерация в систему управления базами данных Fire Bird, для этого использован метод прямого проектирования (Forward engineering).

Администрирование СУБД FireBird осуществляется в пользовательской оболочке IVExpert, которая позволяет не только полностью управлять структурами баз данных, но также и создавать хранимые процедуры, триггеры, а также отлаживать их в пошаговом режиме, как это принято в «обычных» языках программирования (C++, Delphi, Java, PHP и т.д.) [76].

Одним из недостатков разрабатываемой базы данных является ручное заполнение данных. Основными источниками данных в этом случае являются статистические сборники, ежемесячные метеорологические сборники, отчеты организаций. Следует отметить, что в настоящее время существует возможность получения некоторых данных из сети Интернет.

Кроме того, для заполнения базы данных можно использовать облачные технологии, активно используемые для выполнения такого рода задач. Облачное хранилище данных – модель онлайн-хранилища, в котором данные хранятся на многочисленных распределенных в сети серверах, предоставляемых в пользование клиентам, в основном, третьей стороной. Данные хранятся и обрабатываются в так называемом облаке, которое представляет собой, с точки зрения клиента, один большой виртуальный сервер. Физически же такие серверы могут располагаться удаленно друг от друга географически, вплоть до расположения на разных континентах.

Таким образом, основной функцией программного комплекса является моделирование биопродуктивности культур с учетом изменчивости климата. Для решения выделенных в функциональной модели задач создана база данных, содержащая в себе данные, используемые при моделировании биопродуктивности и оптимизации размещения посевов на различных уровнях агрегирования.

3.4.2 Пользовательский интерфейс программного комплекса

На основе систематизации данных, технологий обработки информации предложена схема функционирования программного комплекса моделирования биопродуктивности культур для планирования аграрного производства (рис. 3.8).

Информационным обеспечением программного комплекса является база данных, содержащая данные стационарных наблюдений и нормативно-справочную информацию в реляционном виде. В клиентской части реализованы функции обработки данных об урожайности и климатических параметрах. Помимо этого, одной из составляющих клиентской части являются инструменты загрузки и выгрузки БД и программные средства обработки и анализа данных, реализованные в Visual Basic for Application.

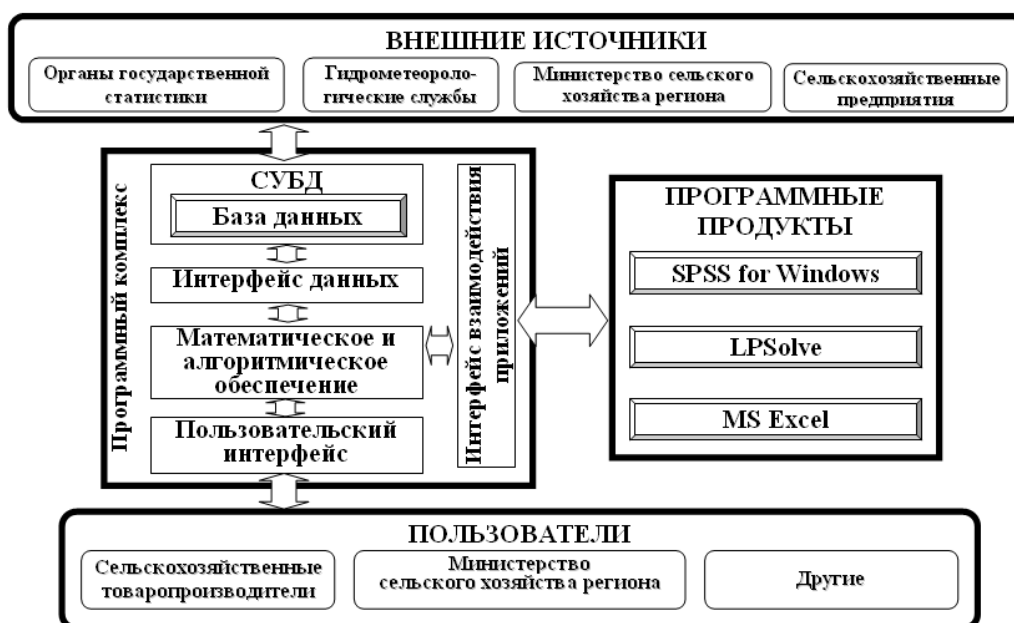


Рисунок 3.8 – Схема функционирования программного комплекса моделирования биопродуктивности

В программном комплексе, кроме редактирования и заполнения базы данных, реализована возможность оценки и прогнозирования биопродуктивности и планирования аграрного производства.

Информация из базы данных посредством СУБД поступает в вычислительный модуль, где с помощью математического и алгоритмического обеспечения обрабатывается и передается через VBA пользователю, а также в другие программные комплексы через интерфейс взаимодействия приложений. Например, данные об урожайности обрабатываются в статистическом пакете SPSS for Windows [53].

Разработанный программный комплекс заполнен информацией об урожайности различных культур, площадях посевов и валовых сборах, а также о климатических и агротехнических параметрах за многолетний период по муниципальным, агроландшафтным районам и сельскохозяйственным зонам Иркутской области.

Описание интерфейса программного комплекса. При разработке интерфейса необходимо стремиться к производительности пользователя, а не компьютера. Пользовательский интерфейс является удобным средством для работы пользователя с программным комплексом [39, 43, 74].

Пополнение базы данных осуществляется пользователем или администратором. Информацию можно заносить непосредственно в базу данных или в специально созданные таблицы Excel, откуда она автоматически переносится в базу данных. При создании программного комплекса реализована функция экспорта данных в различные приложения (Microsoft Excel, Word, LPSolve, SPSS и т.п.), что существенно расширяет его возможности.

Программный комплекс выполняет следующие функции:

- открытие базы данных удобным способом;
- просмотр и редактирование таблиц БД;
- оценка рядов урожайности и их прогнозирование;
- экспорт данных из базы в табличный процессор для осуществления последующей обработки количественных данных;
- решение задач математического программирования с различными параметрами для планирования структуры посевов.

На рисунке 3.9 представлен пользовательский интерфейс разработанного программного комплекса «Моделирование биопродуктивности». Главное окно имеет меню, панель инструментов и рабочую область.

Для работы программного комплекса необходимо наличие программных продуктов: операционная система - Windows XP/7/8; система управления базами данных Firebird, статистический пакет SPSS for Windows Evaluation Version, табличный процессор Microsoft Excel 2007/2010.

Главное меню состоит из следующих пунктов: «Прогнозирование»; «Планирование структуры посевов»; «Оценка рядов»; «Выход»; «Редактирование меню».

В них выделены уровни: «Прогнозирование» (тренды; авторегрессия; факторная зависимость); «Планирование структуры посевов» (с вероятностными параметрами; детерминированная задача; с интервальными

оценками; с трендами и автокорреляцией; с факторными зависимостями; с учетом предшественников).

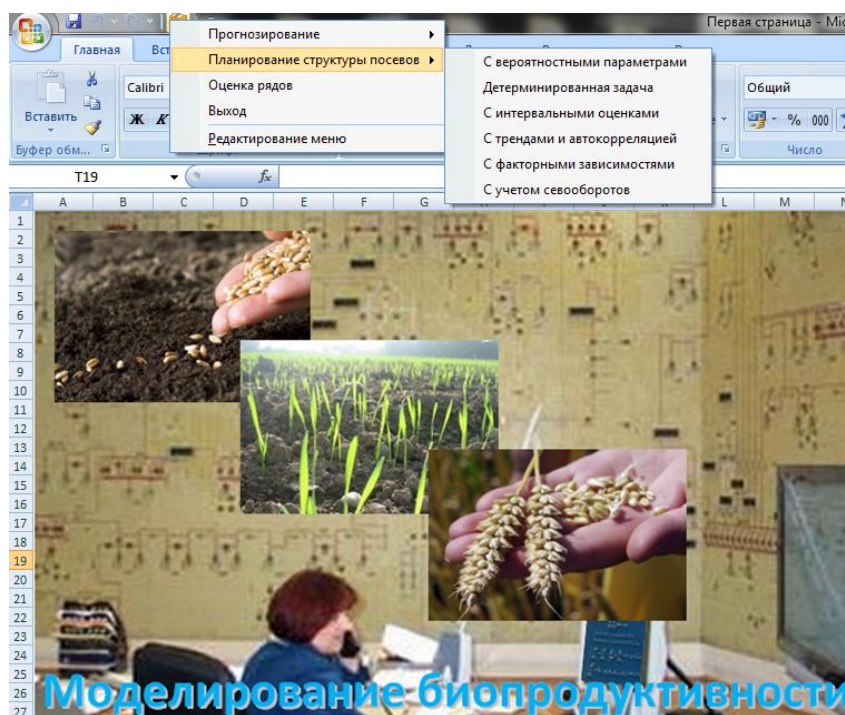


Рисунок 3.9 – Стартовая страница программного комплекса «Моделирование биопродуктивности»

В пункте «Редактирование меню» можно корректировать названия пунктов меню и включать новые опции. Разработанный интерфейс программного комплекса способствует осуществлению быстрого доступа к основным функциям, является наглядным и интуитивно понятным.

Описанные ранее модели и алгоритмы оптимизации структуры посевов реализованы в программном комплексе. На рисунке 3.10 представлен фрагмент обращения пользователя, работающего в программном комплексе, к базе данных для заполнения параметров модели оптимизации с детерминированными параметрами. При нажатии на кнопку «Заполнение» открывается окно, где пользователь выбирает необходимые атрибуты для обращения к базе данных.

В открывшемся окне необходимо выбрать муниципальный район, культуры и категорию хозяйств, по которым будет рассчитана задача.

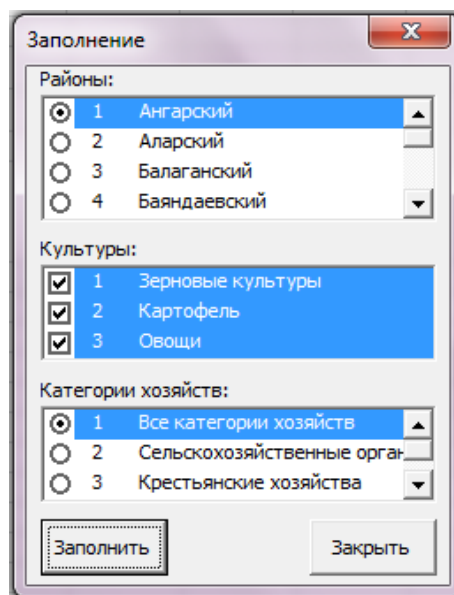


Рисунок 3.10 – Фрагмент обращения к базе данных программного комплекса «Моделирование биопродуктивности»

При решении детерминированной задачи решение выводится в заранее подготовленную форму (прил. 6), на которой отображается значение целевой функции, урожайности культур и площадь их посевов.

При выборе пункта меню «Планирование структуры посевов» → «С вероятностными параметрами» открывается окно, подобное окну предыдущей задачи (прил. 7). Отличием является то, что при построении вероятностной модели рассчитывается некоторое число задач, для построения которых значения урожайности сельскохозяйственных культур моделируются согласно закону распределения. Эта функция реализована с помощью пакета SPSS for Windows. Кроме того, каждому критерию оптимальности соответствует некоторая вероятность.

Помимо этого, в программном комплексе реализовано решение задач с интервальными параметрами и с учетом влияния предшественников.

Таким образом, для работы программного комплекса реализованы различные алгоритмы оптимизации структуры посевов с вероятностными, интервальными и детерминированными параметрами. Помимо этого, предложены алгоритмы оптимизации размещения посевов с учетом параметра времени, предшествующих значений, влияния факторов и предшественников. Разработанные модели позволяют обращаться к базе

данных, вводить при необходимости дополнительные сведения, использовать методы решения задач математического программирования и статистической оценки параметров.

В заключении отметим, что предложенный программный комплекс «Моделирование биопродуктивности» предоставляет возможность пользователю моделировать значение биопродуктивности на основе информационного и математического обеспечения и оптимизировать размещение посевов сельскохозяйственных культур для принятия решений, необходимых в управленческой деятельности. Информационным обеспечением программного комплекса является спроектированная и реализованная с помощью СУБД Firebird база данных, которая состоит из 12 сущностей [11, 16]. В качестве математического обеспечения использованы методы математического программирования и статистической обработки. Разработанный в VBA интерфейс программного комплекса обеспечивает взаимодействие операционной системы, системы управления базами данных Firebird, статистического пакета SPSS for Windows, табличного процессора Microsoft Excel 2007, пакета для решения задач линейного программирования LPSolve. Статистический пакет SPSS позволяет осуществлять вероятностную оценку рядов биопродуктивности, оценивать статистическую структуру ряда, прогнозировать урожайность на основе трендовых, авторегрессионных и факторных моделей. С помощью Microsoft Excel реализуется функция заполнения базы данных, кроме того, он является выходной формой для полученных решений. В базе данных, реализованной с помощью СУБД Firebird, хранятся сведения об урожайности, природных и производственных параметрах по муниципальным и агроландшафтным районам, сельскохозяйственным зонам региона. Разработанный программный комплекс реализован для решения одно- и многоэтапных задач оптимизации структуры посевов в хозяйствах различных категорий для принятия управленческих решений.

3.4.3 Результаты моделирования структуры посевов

С помощью разработанного программного комплекса реализована задача оптимизации структуры посевов с вероятностными параметрами для Иркутской области. В качестве критерия оптимальности взят максимум прибыли. Особую актуальность решение такой задачи имеет в условиях рискованного земледелия. При этом для оценки рисков может быть использован вероятностно-статистический подход. Следует отметить, что в рассматриваемой задаче все ситуации имеют положительные решения. Другими словами, при любых условиях предприятие получит некоторую прибыль [40, 88].

Поскольку в качестве вероятностного параметра выступает урожайность сельскохозяйственных культур, которая в основном подвержена влиянию природно-климатических факторов, возможность уменьшения рисков ничтожно мала. Вместе с тем оценка вероятности получения низкой прибыли необходима при страховании посевов.

При реализации задачи оптимизации структуры посевов на основании критерия согласия Колмогорова в качестве закона, описывающего ряды урожайности, выбран нормальный. Ряды урожайности сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур Иркутской области объединены в 4 группы: зерновые и зернобобовые, картофель и овощебахчевые, кормовые и плодово-ягодные. Число экспериментов составило 100 значений. Моделирование различных ситуаций согласно алгоритму (рис. 3.1) показало степень изменчивости неизвестных величин в моделях [12, 13].

На рисунке 3.11 приведена связь значений целевых функции f^j и суммарных вероятностей урожайностей культур ξ^j , использованных при построении моделей.

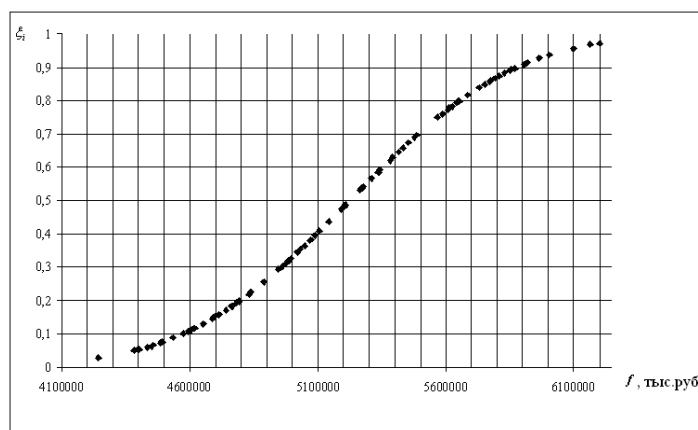


Рисунок 3.11 – Эмпирическая функция распределения критерия оптимальности

На основании функции распределения приведены результаты моделирования для вероятностей 0,9, 0,5 и 0,1 (табл. 3.1).

Применение моделей с высокими значениями урожайности показало, что для ситуации, соответствующей вероятности 0,9, прибыль от реализации продукции составила 5869003 тыс. руб. В противном случае (вероятность превышения равна 0,1), критерий оптимальности уменьшается на 28%. Наибольшее расхождение между максимальными и минимальными площадями выявлено для плодово-ягодных культур (2,2 раза), а наименьшее – для картофеля и овощебахчевых (0,03%).

Таблица 3.1 – Результаты решения задачи оптимизации размещения сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур для суммарной вероятности 0,9, 0,5 и 0,1

Целевая функция (максимум прибыли), тыс. руб.		Значения посевных площадей x , га			
		Зерновые и зернобобовые культуры	Картофель и овощебахчевые культуры	Кормовые культуры	Плодово- ягодные культуры
$f_{0,9}$	5869003	542731	68870	178789	1932
$f_{0,5}$	5209614	440296	68395	146145	1112
$f_{0,1}$	4573338	383412	68377	142895	864

Полученная эмпирическая функция распределения критерия оптимальности позволяет с помощью заданных квантилей лицом, принимающим решение, оценивать вероятность наступления рискованной ситуации или, так называемого, страхового случая. Причем найденные

решения представляют интерес не только для менеджеров сельскохозяйственных организаций, но и для страховых компаний.

Задача с интервальными параметрами реализована для лесостепной зоны Иркутской области [19]. В качестве исходных данных использованы урожайности зерновых культур, овощей и картофеля ($n=3$). Число экспериментов изменялось, составив $N=10, 25$ и 50 . Моделирование ситуаций согласно алгоритму показало степень изменчивости неизвестных величин в моделях. Решения получены для следующего диапазона урожайности сельскохозяйственных культур, найденного путем усреднения данных по муниципальным районам лесостепной зоны: зерновые 13-17, овощи 74-259, картофель 128-152 ц/га.

Согласно таблице 3.2 коэффициенты вариации площадей как неизвестных величин модели для различных значений параметра N составляют 0,017-0,12. Наименьшее рассеяние имеет место для картофеля, а наибольшее – для овощей. Между тем расхождение между минимальными и максимальными значениями относительно среднего значения варьирует для зерновых культур в пределах 9,5-13,3%, картофеля – 6,7-8,5%, а овощей – 35,2-91,3%, что в значительной степени сказывается на затратах при определении структуры площадей.

В таблице 3.3 приведены результаты решения задачи размещения сельскохозяйственных культур для экстремальных значений целевой функции и ее медианы.

Расхождение между минимальными и максимальными значениями целевой функции ($N=10$) составило 624255 тыс. руб. или 36,8% относительно медианы. Во втором и третьем случаях ($N=25$ и 50) разница достигла 37,0 и 26,4%. При этом отклонение между посевными площадями (x) относительно среднего значения в первом случае ($N=10$) составило для зерновых культур 24,6, картофеля – 4,7, овощей – 106,2%. В свою очередь для зерновых этот показатель с увеличением N уменьшается, а для картофеля и овощей – увеличивается.

Таблица 3.2 – Результаты решения задачи оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с верхними и нижними оценками урожайности

Сельскохозяйственные культуры \ Статистические параметры	Среднее значение x_{cp} , га	Стандартное отклонение σ , га	Минимальное значение x_{min} , га	Максимальное значение x_{max} , га
N=10				
Зерновые	172466	5359	153293	195420
Картофель	1425	24	1335	1544
Овощи	8061	931	5736	15328
N=25				
Зерновые	173626	2140	151479	190145
Картофель	1445	10	1332	1565
Овощи	9051	460	5868	12686
N=50				
Зерновые	174211	3261	152381	195974
Картофель	1449	15	1356	1565
Овощи	9184	743	6194	17570

Задача оптимизации структуры посевов с учетом факторной зависимости урожайности зерновых и картофеля реализована для Иркутского района [21]. При описании параметров модели использована вероятностная функция Гаусса. В качестве исходных данных взяты урожайности зерновых, картофеля и овощей. Число экспериментов составило 100 значений.

Применение моделей с благоприятными климатическими условиями показало, что для ситуации, соответствующей вероятности 0,1, прибыль от производства сельскохозяйственной продукции составила 21054 тыс. руб. В противном случае, когда на урожайность влияют неблагоприятные факторы (вероятность превышения 0,9), критерий оптимальности уменьшается на 49%.

Перераспределение посевных площадей для зерновых культур оказалось незначительным. Между тем коэффициент вариации, характеризующий колебания сельскохозяйственных угодий для картофеля, составил 0,058, а овощей – 0,58, что в значительной степени сказывается на прибыли при определении структуры площадей.

Таблица 3.3 – Результаты решения задачи оптимизации размещения сельскохозяйственных культур для экстремальных значений целевой функции и ее медианы

Целевая функция, тыс. руб.		Значения посевных площадей x , га		
		Зерновые	Картофель	Овощи
N=10				
$f_{\min}^{\min}$	1469433	153293	1341	5863
$f_{\min}^{\text{med}}$	1695951	165161	1380	8912
$f_{\min}^{\max}$	2093688	193939	1406	15327
N=25				
$f_{\min}^{\min}$	1474761	152381	1380	6193
$f_{\min}^{\text{med}}$	1777879	182857	1402	7485
$f_{\min}^{\max}$	2133293	192481	1461	17038
N=50				
$f_{\min}^{\min}$	1480394	152381	1400	5868
$f_{\min}^{\text{med}}$	1727231	185507	1538	6424
$f_{\min}^{\max}$	1935698	188235	1832	11741

Задача с учетом влияния предшественников для ООО «Академия» решалась двумя способами. В первом случае при оптимизации структуры посевов учитывалось мнение эксперта, то есть возможные предшественники были определены заранее.

При решении задачи с учетом влияния предшественников для ООО «Академия» рассматривалась урожайность групп культур: зерновых, картофеля и овощей. При этом учитывалось влияние различных предшественников каждой культуры. Предшественниками зерновых были многолетние травы и кукуруза, картофеля – зерновые и однолетние травы, овощей – кукуруза и многолетние травы. Урожайность в данном случае рассматривалась как вероятностная величина и моделировалась с помощью метода статистических испытаний, остальные показатели приняты в качестве детерминированных.

В случае, когда количество предшественников возрастает, увеличивается количество вариантов решения задачи размещения посевов. Решение задачи для трех культур с тремя предшественниками подразумевает

восемь вариантов размещения. Причем площади предшественников варьируют.

Следует отметить, что площадь посева предшественника и используемой сельскохозяйственной культуры не всегда совместимы, например, площадь зерновых составляет 3150 га, а площадь картофеля – 560 га. В этом случае влияние предшественника распространяется только на фактически имеющуюся площадь.

После расчета множества вариантов задач для каждого H определены распределения значений критериев оптимальности. На рисунке 3.12 приведены распределения целевых функций $f_{\max}^{(\xi)h}$, связанные с суммарной вероятностью ξ , полученные от реализации моделей.

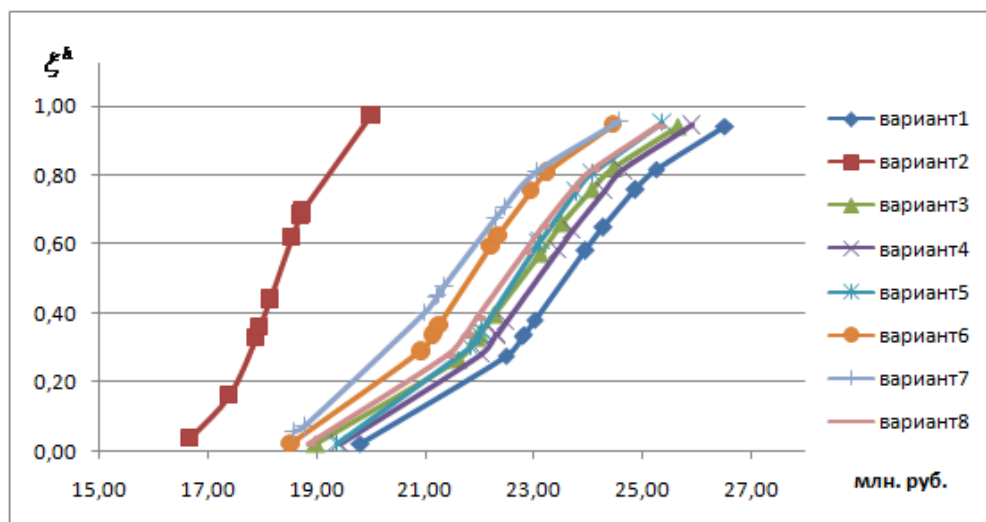


Рисунок 3.12 – Распределения вероятностей критерия оптимальности с учетом различных предшественников для ООО «Академия»

Из полученных распределений целевой функции выделены наиболее значимые для управления – минимальное ($\min f_{\max}^{(\xi)h}$), максимальное ($\max f_{\max}^{(\xi)h}$) и медианное ($Me f_{\max}^{(\xi)h}$) с вероятностями превышения $\xi=0,1, 0,5$ и $0,9$ (табл. 3.4).

При оптимальном размещении культур с вероятностью превышения $0,1$ для максимального распределения прибыль составит 22492 тыс. руб., что на 29% больше наихудшего значения целевой функции. Для наилучших ситуаций ($\xi=0,9$) отклонение значений максимальной и минимальной функций распределения составляет 33%. Следует отметить, что при

наилучшем варианте решения только на зерновые предшественник оказывает положительное влияние, а на овощи и картофель – отрицательное.

Таблица 3.4 – Результаты решения задачи оптимизации структуры посевов с учетом влияния предшественников для вероятности превышения $\xi=0,1$, $\xi=0,5$ и $\xi=0,9$

Целевая функция, тыс. руб.		Значения посевных площадей x, га					
Вероятность превышения $\xi=0,1$							
$MAX \ A_{max}^{(\xi)h}$	22492	зерновые по зерновым - 1540	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по многолетним травам-1610	картофель по зерновым- 560	овощи по кукурузе-140
$Me \ A_{max}^{(\xi)h}$	20934	зерновые по зерновым - 2100	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по кукурузе-1050	картофель по однолетним травам-560	овощи по многолетним травам-140
$MIN \ A_{max}^{(\xi)h}$	17390	зерновые по зерновым - 1540	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по многолетним травы-735	картофель по зерновым- 560	овощи по многолетним травам-140
Вероятность превышения $\xi=0,5$							
$MAX \ A_{max}^{(\xi)h}$	23968	зерновые по зерновым - 1400	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по многолетним травам-1750	картофель по зерновым- 560	овощи по кукурузе-140
$Me \ A_{max}^{(\xi)h}$	22214	зерновые по зерновым - 2100	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по кукурузе-1050	картофель по однолетним травам-560	овощи по многолетним травам-140
$MIN \ A_{max}^{(\xi)h}$	18557	зерновые по зерновым - 1540	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по многолетним травы-735	картофель по зерновым- 560	овощи по многолетним травам-140
Вероятность превышения $\xi=0,9$							
$MAX \ A_{max}^{(\xi)h}$	26528	зерновые по зерновым - 1400	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по многолетним травам-1750	картофель по зерновым- 560	овощи по кукурузе-140
$Me \ A_{max}^{(\xi)h}$	24478	зерновые по зерновым - 2100	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по кукурузе-1050	картофель по однолетним травам-560	овощи по многолетним травам-140
$MIN \ A_{max}^{(\xi)h}$	20016	зерновые по зерновым - 1540	картофель по картофелю -0	овощи по овощам-0	зерновые по многолетним травы-735	картофель по зерновым- 560	овощи по многолетним травам-140

При решении задачи без непосредственного учета мнения экспертов рассматривалась урожайность зерновых, картофеля, овощей и кормовых культур. При этом структура посевов определялась для площади каждой культуры (зерновые – 3150 га, картофель – 560 га, овощи – 140 га, кормовые – 1750 га). Урожайность в данном случае рассматривалась как вероятностная величина и моделировалась с помощью метода статистических испытаний, остальные показатели – детерминированные.

После расчета множества вариантов задач для каждого поля i определены распределения значений критериев оптимальности

$f^{(I)\xi} = (f_1^{(I)\xi}, f_2^{(I)\xi}, \dots, f_S^{(I)\xi})$, из которых путем сложения найдены наиболее значимые для управления минимальные ($\xi=0,1$), максимальные ($\xi=0,9$) и усредненные значения ($\xi=0,5$) и площади предшественников и посевов (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Результаты решения задачи оптимизации структуры посевов с учетом влияния предшественников для вероятности превышения $\xi=0,1$, $\xi=0,5$ и $\xi=0,9$

Целевая функция, тыс. руб.		Значения площадей посевов х, га			
		зерновые	картофель	овощи	кормовые
$\xi=0,9$	59 170	всего – 1510 в том числе: по зерновым – 849 по картофелю – 151 по овощам – 38 по кормовым – 472	всего – 526 в том числе: по зерновым – 304 по картофелю – 43 по овощам – 11 по кормовым – 168	всего – 917 в том числе: по зерновым – 509 по картофелю – 105 по овощам – 26 по кормовым – 277	всего – 2648 в том числе: по зерновым – 1489 по картофелю – 261 по овощам – 65 по кормовым – 833
$\xi=0,5$	58 682	всего – 1627 в том числе: по зерновым – 915 по картофелю – 163 по овощам – 41 по кормовым – 508	всего – 501 в том числе: по зерновым – 289 по картофелю – 41 по овощам – 11 по кормовым – 160	всего – 926 в том числе: по зерновым – 514 по картофелю – 106 по овощам – 26 по кормовым – 280	всего – 2548 в том числе: по зерновым – 1433 по картофелю – 251 по овощам – 62 по кормовым – 802
$\xi=0,1$	57 499	всего – 1910 в том числе: по зерновым – 1074 по картофелю – 191 по овощам – 48 по кормовым – 597	всего – 435 в том числе: по зерновым – 252 по картофелю – 34 по овощам – 9 по кормовым – 140	всего – 950 в том числе: по зерновым – 527 по картофелю – 109 по овощам – 27 по кормовым – 287	всего – 2307 в том числе: по зерновым – 1297 по картофелю – 227 по овощам – 56 по кормовым – 727

При наиболее оптимальном размещении культур с вероятностью превышения 0,9 целевая функция равна 59 170 тыс. руб., что на 3% больше наихудшего значения целевой функции. В свою очередь отклонения площадей посевов культур при высоком и низком значении критерия оптимальности составили для зерновых культур – 27%, картофеля – 21%, овощей – 4%, кормовых – 15%. Следует отметить, что в результате нахождения оптимальных планов, площадь зерновых по сравнению с исходными данными уменьшилась почти в два раза. Вместе с тем площадь кормовых культур увеличилась на 24-34% в зависимости от вероятности ξ , а площадь овощей – почти в 7 раз. В свою очередь площадь посева картофеля изменилась незначительно.

На следующем этапе решения задачи оптимизации структуры посевов определим оптимальные планы в зависимости от результатов, полученных для суммарной вероятности $\xi=0,1, 0,5$ и $0,9$ (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Результаты решения задачи оптимизации структуры посевов с учетом влияния предшественников для вероятности превышения $\xi^{(II)}=0,1$, $\xi^{(II)}=0,5$ и $\xi^{(II)}=0,9$ в зависимости от решений, полученных на первом этапе

Целевая функция, тыс. руб.		Значения площадей посевов х, га			
		зерновые	картофель	овощи	кормовые
$\xi^{(I)}=0,1$					
$\xi^{(II)}=0,9$	67 849	всего – 1853, в т. ч: по зерновым – 630 по картофелю – 148 по овощам – 315 по кормовым – 760	всего – 404, в т. ч: по зерновым – 137 по картофелю – 32 по овощам – 69 по кормовым – 166	всего – 1038, в т. ч: по зерновым – 358 по картофелю – 70 по овощам – 174 по кормовым – 436	всего – 2307, в т. ч: по зерновым – 784 по картофелю – 185 по овощам – 392 по кормовым – 946
$\xi^{(II)}=0,5$	66 467	всего – 1800, в т. ч: по зерновым – 612 по картофелю – 144 по овощам – 306 по кормовым – 738	всего – 671, в т. ч: по зерновым – 233 по картофелю – 36 по овощам – 115 по кормовым – 287	всего – 1138, в т. ч: по зерновым – 388 по картофелю – 96 по овощам – 192 по кормовым – 462	всего – 1994, в т. ч: по зерновым – 677 по картофелю – 159 по овощам – 338 по кормовым – 820
$\xi^{(II)}=0,1$	59 315	всего – 1488, в т. ч: по зерновым – 506 по картофелю – 119 по овощам – 253 по кормовым – 610	всего – 765, в т. ч: по зерновым – 258 по картофелю – 60 по овощам – 130 по кормовым – 317	всего – 1102, в т. ч: по зерновым – 380 по картофелю – 84 по овощам – 186 по кормовым – 452	всего – 2249, в т. ч: по зерновым – 767 по картофелю – 172 по овощам – 381 по кормовым – 929
$\xi^{(I)}=0,5$					
$\xi^{(II)}=0,9$	67 192	всего – 1627, в т. ч: по зерновым – 393 по картофелю – 248 по овощам – 331 по кормовым – 655	всего – 434, в т. ч: по зерновым – 101 по картофелю – 67 по овощам – 88 по кормовым – 178	всего – 1219, в т. ч: по зерновым – 228 по картофелю – 145 по овощам – 193 по кормовым – 383	всего – 2308, в т. ч: по зерновым – 545 по картофелю – 355 по овощам – 469 по кормовым – 939
$\xi^{(II)}=0,5$	65 607	всего – 1533, в т. ч: по зерновым – 475 по картофелю – 123 по овощам – 276 по кормовым – 659	всего – 627, в т. ч: по зерновым – 162 по картофелю – 62 по овощам – 102 по кормовым – 301	всего – 1172, в т. ч: по зерновым – 374 по картофелю – 90 по овощам – 215 по кормовым – 493	всего – 1988, в т. ч: по зерновым – 616 по картофелю – 160 по овощам – 358 по кормовым – 854
$\xi^{(II)}=0,1$	58 166	всего – 1578, в т. ч: по зерновым – 489 по картофелю – 126 по овощам – 284 по кормовым – 679	всего – 404, в т. ч: по зерновым – 125 по картофелю – 32 по овощам – 73 по кормовым – 174	всего – 1030, в т. ч: по зерновым – 297 по картофелю – 92 по овощам – 178 по кормовым – 463	всего – 2307, в т. ч: по зерновым – 715 по картофелю – 185 по овощам – 415 по кормовым – 992
$\xi^{(I)}=0,9$					
$\xi^{(II)}=0,9$	69 115	всего – 1148, в т. ч: по зерновым – 319 по картофелю – 118 по овощам – 188 по кормовым – 523	всего – 836, в т. ч: по зерновым – 225 по картофелю – 77 по овощам – 138 по кормовым – 396	всего – 1076, в т. ч: по зерновым – 290 по картофелю – 102 по овощам – 176 по кормовым – 508	всего – 2513, в т. ч: по зерновым – 676 по картофелю – 230 по овощам – 415 по кормовым – 1192
$\xi^{(II)}=0,5$	66 291	всего – 1387, в т. ч: по зерновым – 336 по картофелю – 124 по овощам – 228 по кормовым – 699	всего – 671, в т. ч: по зерновым – 145 по картофелю – 47 по овощам – 129 по кормовым – 350	всего – 1095, в т. ч: по зерновым – 277 по картофелю – 112 по овощам – 179 по кормовым – 527	всего – 2451, в т. ч: по зерновым – 753 по картофелю – 243 по овощам – 382 по кормовым – 1073
$\xi^{(II)}=0,1$	57 889	всего – 1466, в т. ч: по зерновым – 396 по картофелю – 147 по овощам – 234 по кормовым – 689	всего – 507, в т. ч: по зерновым – 151 по картофелю – 49 по овощам – 78 по кормовым – 229	всего – 875, в т. ч: по зерновым – 142 по картофелю – 66 по овощам – 181 по кормовым – 486	всего – 2755, в т. ч: по зерновым – 821 по картофелю – 265 по овощам – 424 по кормовым – 1245

Согласно таблице 3.6 значения полученных критериев оптимальности для вероятностей превышения $\xi^{(II)}$, равных 0,1, 0,5 и 0,9 по сравнению с исходными, увеличились. Отсюда следует, что на втором этапе решения задачи оптимизации структуры посевов определены лучшие планы, чем на первом.

Предложенная задача может быть использована при интенсивном уровне использования новых технологий, оценивающих физические свойства почвы (плотность, структурное состояние, влагообеспеченность), химические (содержание элементов питания, кислотность) и биологические показатели (засоренность, наличие вредителей и болезней). Учет перечисленных параметров возможен только при использовании современного оборудования, позволяющего получать информацию о состоянии почвы в режиме реального времени.

В заключении отметим, что информация о значениях биопродуктивности, используемая в задачах математического программирования, часто является неоднородной и неполной. Кроме того, урожайность подвержена влиянию климатических факторов, что необходимо учитывать при планировании аграрного производства. На основании алгоритмов, реализованных в программном комплексе, решены задачи оптимизации структуры посевов с вероятностными, интервальными параметрами и с учетом влияния предшественников.

Последняя задача решена двумя способами: с прямым и косвенным учетом мнения эксперта. Следует отметить, что первый способ можно объединить со вторым. То есть на каждом этапе необходимо уточнять планы размещения посевов в соответствии с экспертной оценкой для выделения наилучшего результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании статистического анализа рядов урожайности четырех групп и четырнадцати видов сельскохозяйственных культур выделены территории, на которых могут использоваться трендовые, авторегрессионные или факторные модели.

Определены районы с аграрным производством, параметры биопродуктивности которых являются случайными, слабосвязными и интервальными. Выявлено, что 61% исследуемых рядов являются случайными, 33% – слабосвязными, 6% – с сильными значимыми связями. Наиболее распространенным законом оказалось распределение Гаусса. Ему подчиняются 45% всех рядов биопродуктивности, в основном это – урожайность зерновых, овощных культуры, 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. Уравнения трендов имеют положительную и отрицательную динамику и различные темпы роста. При этом в районах Иркутской области с развитым аграрным производством преобладают линейные зависимости, а с менее развитым – нелинейные.

Выявлены одно- и многофакторные линейные и нелинейные модели с результативным признаком в виде урожайности зерновых, картофеля, овощей и кормовых культур по агроландшафтным и муниципальным районам. В качестве факторов выделены суммы месячных температур и осадков за вегетационный период, число дней бездождевого и безморозного периодов. Определено, что на юге территории большее влияние на результативный признак оказывают температуры за вегетационный период, а севернее к ним добавляется второй фактор – осадки.

Предложен алгоритм, позволяющий с помощью метода статистических испытаний моделировать случайные факторы и на основе зависимости оценивать значения урожайности сельскохозяйственных культур для благоприятных и неблагоприятных условий. Разработанный алгоритм позволяет решать и обратную задачу, связанную с моделированием условий получения высоких и низких урожайностей.

С учетом выявленных особенностей параметров, сформулированы и решены задачи оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур с интервальными и вероятностными значениями в ограничениях и задачи параметрического программирования, в качестве параметров которых использованы выделенные климатические факторы. Созданы алгоритмы решения задач, в которых урожайность сельскохозяйственных культур предложено моделировать: 1) как вероятностную величину; 2) в некотором интервале; 3) как прогнозное значение, полученное на основе трендовых, авторегрессионных и факторных зависимостей.

Построены различные варианты многоэтапной модели оптимизации структуры посевов с учетом сочетаний предшественников с детерминированными и неопределенными параметрами и разработаны алгоритмы определения оптимальных решений с применением метода Монте-Карло.

Предложенные задачи реализованы на разных уровнях агрегирования (Иркутская область, лесостепная зона, Иркутский район) для групп культур. В частности, задача оптимизации структуры посевов с учетом влияния предшественников решена для ООО «Академия» Иркутского района Иркутской области. При этом получены результаты двух вариантов задачи: с прямым и косвенным учетом мнения эксперта.

Для моделирования урожайности сельскохозяйственных культур и планирования структуры посевов на основе моделей оптимизации производства продовольственной продукции в условиях неопределенности

создан программный комплекс со специальным математическим и алгоритмическим обеспечением.

В дальнейшем планируется расширить исследования, касающиеся регрессионных моделей, а именно, детальнее исследовать факторы, влияющие на урожайность. Необходимо расширить использование алгоритмов моделирования высоких и низких урожайностей с применением метода статистических испытаний.

Помимо этого, требуется реализовать задачу со смешанными параметрами, когда ряды урожайности, входящие в модель, могут быть случайными, интервальными, прогнозными и т.д.

В условиях автоматизации получения первичной информации с сельскохозяйственных угодий требуется организовать формирование базы данных, информация в которую будет поступать непосредственно с полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроэкология / В. А. Черников [и др.] ; под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
2. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 320 с.
3. Акулич, И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах : учеб. пособие / И. Л. Акулич. – М. : Высш. шк., 1993. – 336 с.
4. Алексеев, Г. А. Графоаналитический способ определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения / Г. А. Алексеев // Труды ГГИ. – 1960. – Вып. 73. – С. 90-140.
5. Алексеев, Г. А. Определение стандартных параметров кривой распределения по 3 опорным точкам / Г. А. Алексеев // Труды ГГИ. – 1982. – Вып. 99. – С. 261-273.
6. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов : пер. с англ. / Т. Андерсон. – М. : Мир, 1976. – 356 с.
7. Аоки, М. Оптимизация стохастических систем / М. Аоки. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 1971. – 424 с.
8. Асалханов, П. Г. Линейные и нелинейные регрессионные модели в описании изменчивости параметров аграрного производства / П. Г. Асалханов, Я. М. Иваньо, Н. И. Федурин // Природопользование и аграрное производство: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 23-25 мая 2012 г. – Иркутск, 2012. – С. 169-174.
9. Асалханов, П. Г. Моделирование оптимальных сроков посевов зерновых культур на основе многофакторного анализа / П. Г. Асалханов, Я. М. Иваньо, Н. И. Федурин // Природа и сельскохозяйственная деятельность человека : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2011. – Ч. II. – С. 152-157.

10. Асалханов, П. Г. 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. 3. – С. 116-125.

11. 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.

12. 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.

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

14. 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 России (номинация «Экономические науки»). – Ярославль, 2011. – С. 148-156.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. Астафьева, М. Н. Оптимизация размещения посевов сельскохозяйственных культур с использованием имитационного моделирования / М. Н. Астафьева, Я. М. Иванько // Актуальные проблемы аграрной науки. – 2011. – Вып. 1. – С. 59-67.

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

21. 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. 16-20.

22. 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.

23. 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.

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

25. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование : учеб. / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 228 с.

26. Баранова, Г. П. Мировые ресурсы продовольствия / Г. П. Баранова, Е. Б. Хлебутин. – М. : МСХА, 1991. – 40 с.

27. Барсукова, М. Н. Модели с детерминированными и неопределенными параметрами применительно к оптимизации сельскохозяйственных процессов / М. Н. Барсукова, Я. М. Иванько // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2007. – № 6. – С. 156-161.

28. Барсукова, М. Н. Моделирование кластера производства и переработки мясной продукции / М. Н. Барсукова, Т. С. Бузина // Рациональное природопользование и энергосберегающие технологии в агропромышленном комплексе : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, 13-15 апр. 2010 г. – Иркутск, 2010. – Ч. 2. – С. 3-10.

29. Барсукова, М. Н. Оптимизационные модели планирования производства стабильных сельскохозяйственных предприятий / М. Н. Барсукова, Я. М. Иваньо. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2011. – 159 с.
30. Батталов, Ф. З. Сельскохозяйственная продуктивность климата для яровых зерновых культур / Ф.З. Батталов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1980. – 112 с.
31. Белозоров, А. Т. Сроки и способы посева зерновых культур / А. Т. Белозоров – Иркутск : Союзполиграфпром, 1949. – 40 с.
32. Бережная, Е. В. Математические методы моделирования экономических систем : учеб. пособие / Е. В. Бережная, В. И. Бережной. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 2008. – 432 с.
33. Брыксин, В. М. Прогнозирование урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и моделирования биопродуктивности / В. М. Брыксин, А. В. Евтюшкин // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – № 1/2 (65). – С. 89-93.
34. Вазан, М. Стохастическая аппроксимация / М. Вазан. – М. : Мир, 1972. – 296 с.
35. Валтер, Я. Стохастические модели в экономике / Я. Валтер. – М. : Статистика, 1976. – 231 с.
36. Вашукевич, Е. В. Математические модели аграрного производства с вероятностными характеристиками засух и гидрологических событий / Е. В. Вашукевич, Я. М. Иваньо. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2012. – 150 с.
37. Вашукевич, Е. В. Статистическая оценка влияния факторов на агрономическую засуху / Е. В. Вашукевич // Совместная деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и научных организаций в развитии АПК Центральной Азии : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., 25-27 марта 2008 г. – Иркутск, 2008. – Ч. IV. – С. 89-94.
38. Вендеров, А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем : учеб. / А. М. Вендеров. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 192 с.

39. Винокуров, М. А. Почвы и почвенные районы Сибири / М. А. Винокуров, К. П. Горшенин // Естественно-исторические условия сельскохозяйственного производства Сибири. – Новосибирск, 1931. – Ч. 2. – С. 1-190.
40. Вишняков, Я. Д. Общая теория рисков : учеб. пособие для вузов / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 368 с.
41. Волков, С. Н. Землеустройство : в 9 т. / С. Н. Волков. – М. : Колос, 2001. – Т.4 : Экономико-математические методы и модели. – 696 с.
42. Гагарина, Л. Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем / Л. Г. Гагарина. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2013. – 384 с.
43. Гатаулин, А. М. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / А. М. Гатаулин, Г. В. Гаврилов, Т. М. Сорокина. – М. : Агропромиздат, 1990. – 432 с.
44. Географические характеристики Иркутской области [Электронный ресурс] / Энциклопедия Иркутской области и Байкала. – Режим доступа: http://irkipedia.ru/content/geograficheskie_harakteristiki_irkutskoy_oblasti. – 18.08.2013.
45. Гольштейн, Е. Г. Выпуклое программирование. Элементы теории / Е. Г. Гольштейн. – М. : Наука, 1970. – 68 с.
46. Гольштейн, Е. Г. Новые направления в линейном программировании / Е. Г. Гольштейн, Д. Б. Юдин. – М. : Советское радио, 1966. – 428 с.
47. Гриневич, Г. А. Композитное моделирование гидрографов / Г. А. Гриневич, Н. А. Петелина, А. Г. Гриневич. – М. : Наука, 1972. – 182 с.
48. Гришин, А. Ф. Статистические модели в экономике / А. Ф. Гришин, С. Ф. Котов-Дарти, В. Н. Ягунов. – Ростов н/Д. : Феникс, 2005. – 344 с.
49. Данциг, Дж. Линейное программирование, его обобщение и применение / Дж. Данциг. – М. : Прогресс, 1966. – 600 с.
50. Дегтярев, Ю. Н. Методы оптимизации / Ю. Н. Дегтярев. – М. : Сов. радио, 1980. – 273 с.

51. Дружинин, И. П. Долгосрочный прогноз и информация / И. П. Дружинин. – Новосибирск : Наука, 1987. – 255 с.
52. Дубнов, П. Ю. Обработка статистической информации с помощью SPSS / П. Ю. Дубнов. – М. : АСТ : НТ Пресс, 2004. – 221 с.
53. Ермольев, Ю. М. Методы стохастического программирования / Ю. М. Ермольев. – М. : Наука, 1976. – 240 с.
54. Ермольев, Ю. М. Стохастические модели и методы в экономическом планировании / Ю. М. Ермольев, А. И. Ястремский. – М. : Наука, 1979. – 256 с.
55. Журавель, Л. М. Краткий обзор моделей стохастического программирования и методов решения экономических задач [Электронный ресурс] / Л. М. Журавель. – Режим доступа: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-47707.html>. – 23.10.2013.
56. Задачи линейной оптимизации с неточными данными / М. Фидлер [и др.]. – Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика ; М. : Институт компьютерных исследований, 2008. – 288 с.
57. Зинченко, А. П. Сельскохозяйственная статистика с основами социально-экономической статистики / А. П. Зинченко. – М. : Изд-во МСХА, 1998. – 430 с.
58. Иваньо, Я. М. Изменчивость климатических характеристик и аграрное производство / Я. М. Иваньо // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию образования ИрГСХА. – Иркутск, 2009. – С.31-38.
59. Иваньо, Я. М. Моделирование природных событий для управления региональными народно-хозяйственными объектами / Я. М. Иваньо, Н. В. Старкова. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2011. – 158 с.
60. Иваньо, Я. М. Моделирование производственных процессов сельскохозяйственного предприятия с учетом оценок выдающихся климатических событий / Я. М. Иваньо // Вестник ИрГСХА. – 2010. – Вып. 41. – С.139-147.

61. Иваньо, Я. М. Оптимизации использования земельных ресурсов регионов в условиях неполной информации / Я. М. Иваньо, Е. С. Труфанова. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, – 2011. – 160 с.
62. Калабеков, И. Г. Российские реформы в цифрах и фактах / И. Г. Калабеков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : РУСАКИ, 2010. – 498 с.
63. Кардаш, В. А. Введение в стохастическую оптимизацию / В. А. Кардаш. – Новочеркасск : НГТУ, 1995. – Кн. 1. – 155 с.
64. Кардаш, В. А. Введение в стохастическую оптимизацию / В. А. Кардаш. – Новочеркасск : НГТУ, 1996. – Кн. 2. – 113 с.
65. Кардаш, В. А. Модели управления производственно-экономическими процессами в сельском хозяйстве / В. А. Кардаш. – М. : Экономика, 1981. – 184 с.
66. Кардаш, В. А. Моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / В. А. Кардаш, Э. О. Раппорт ; ред. Г. Ш. Рубинштейн. – Новосибирск : Наука, 1979. – 157 с.
67. Константинов, А. Р. Почвенно-климатические ресурсы и размещение зерновых культур / А. Р. Константинов, Е. К. Зоидзе, С. И. Смирнова. – СПб. : Гидрометеиздат, 1981. – 280 с.
68. Коренев, В. Б. Продуктивность и качество культуры плодосменного севооборота / В. Б. Коренев, И. С. Егоров, Н. Н. Козловский // Агрохимический вестник. – 2007. – № 1. – С. 26-29.
69. Корнеенко, В. П. Методы оптимизации : учеб. / В. П. Корнеенко. – М. : Высш. шк., 2007. – 664 с.
70. Кравченко, В. Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / В. Г. Кравченко. – М. : Колос, 1978. – 424 с.
71. Крутиков, И. А. Сортовой потенциал сельскохозяйственных культур Предбайкалья : моногр. / И. А. Крутиков, Ш. К. Хуснидинов, Т. Г. Кудрявцева. – Иркутск : ИрГСХА, 2009. – 188 с.

72. Крылов, Е. В. Техника разработки программ : учеб. : в 2 кн. / Е. В. Крылов, В. А. Острейковский, Н. Г. Типикин. – М. : Высш. шк., 2008. – Кн. 2 : Технология, надежность и качество программного обеспечения. – 469 с.
73. Липаев, В. В. Программная инженерия. Методологические основы : учеб. / В. В. Липаев. – М. : ТЕИС, 2006. – 608 с.
74. Маклаков, С. В. BPwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем / С. В. Маклаков. – М. : Диалог-МИФИ, 1999. – 256 с.
75. Мартин, Дж. Организация баз данных в вычислительных системах / Дж. Мартин. – М. : Мир, 1980. – 662 с.
76. Матасова, Ю. А. Экономико-математическая модель прогнозирования урожайности зерновых культур / Ю. А. Матасова // Сб. науч. тр. / Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2002. – № 2. – С. 65-70.
77. Математическое моделирование / под ред. А. Н. Тихонова [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 355 с.
78. Математическое моделирование / Р. Р. Мак-Лоун [и др.]. – М. : Мир, 1979. – 248 с.
79. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / Н. П. Бусленко [и др.]. – М. : Физматгиз, 1962. – 332 с.
80. Мищенко, З. А. Агроклиматология : учеб. / З. А. Мищенко. – Киев : КНТ, 2009. – 52 с.
81. Модели прогнозирования сельскохозяйственного производства / А. Н. Тарасов [и др.] ; под ред. В. В. Кузнецова. – Ростов н/Д. : ВНИИЭиН, 2003. – 43 с.
82. Нечеткие множества и теория возможностей: последние достижения / под ред. Р. Ягера. – М. : Радио и связь, 1986. – 405 с.
83. Николаев, М. В. Современный климат и изменчивость урожаев / М. В. Николаев. – СПб. : Гидрометеиздат, 1994. – 200 с.
84. Новиков, Г. И. Применение экономико-математических методов в сельском хозяйстве / Г. И. Новиков, К. В. Колузанов. – М. : Колос, 1975. – 288 с.

85. Новикова, Т. В. Проектирование оптимального размещения сельскохозяйственного производства в регионе / Т. В. Новикова, И. Я. Пигорев, М. В. Шатохин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – Т. 2. – № 2. – С. 33-35.

86. Нормативы оценки урожайности зерновых культур, сахарной свёклы, льна-долгунца, картофеля и эффективности удобрений на основных почвах России. – М. : Изд-во ЦИНАО, 2000. – 72 с.

87. Образцов, А. С. Потенциальная продуктивность культурных растений / А. С. Образцов. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 504 с.

88. Основы теории принятия решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://b-i.narod.ru/sys.htm>. – 11.03.2013.

89. Пасов, В. М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур / В. М. Пасов. – СПб. : Гидрометеиздат, 1986. – 152 с.

90. Петров, А. А. Опыт математического моделирования экономики / А. А. Петров, И. Г. Пospelов, А. А. Шананин. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 206 с.

91. Попов, И. Г. Математические методы в экономических расчетах по сельскому хозяйству / И. Г. Попов. – М. : Колос, 1964. – 238 с.

92. Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации / П. Г. Асалханов [и др.] ; под ред. Я. М. Иваньо. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2012. – 200 с.

93. Решение оптимизационных задач в экономике / А. В. Каплан [и др.]. – Ростов н/Д. : Феникс, 2007. – 542 с.

94. Розен, В. В. Математические модели принятия решений в экономике / В. В. Розен. – М. : Университет : Высш. шк., 2002. – 288 с.

95. Самарский, А. А. Математическое моделирование / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М. : Физматлит, 1997. – 344 с.

96. Сартания, Т. Ш. Анализ стохастических экономических процессов / Т. Ш. Сартания. – Тбилиси : Изд-во Тбилисского ун-та, 1982. – 215 с.

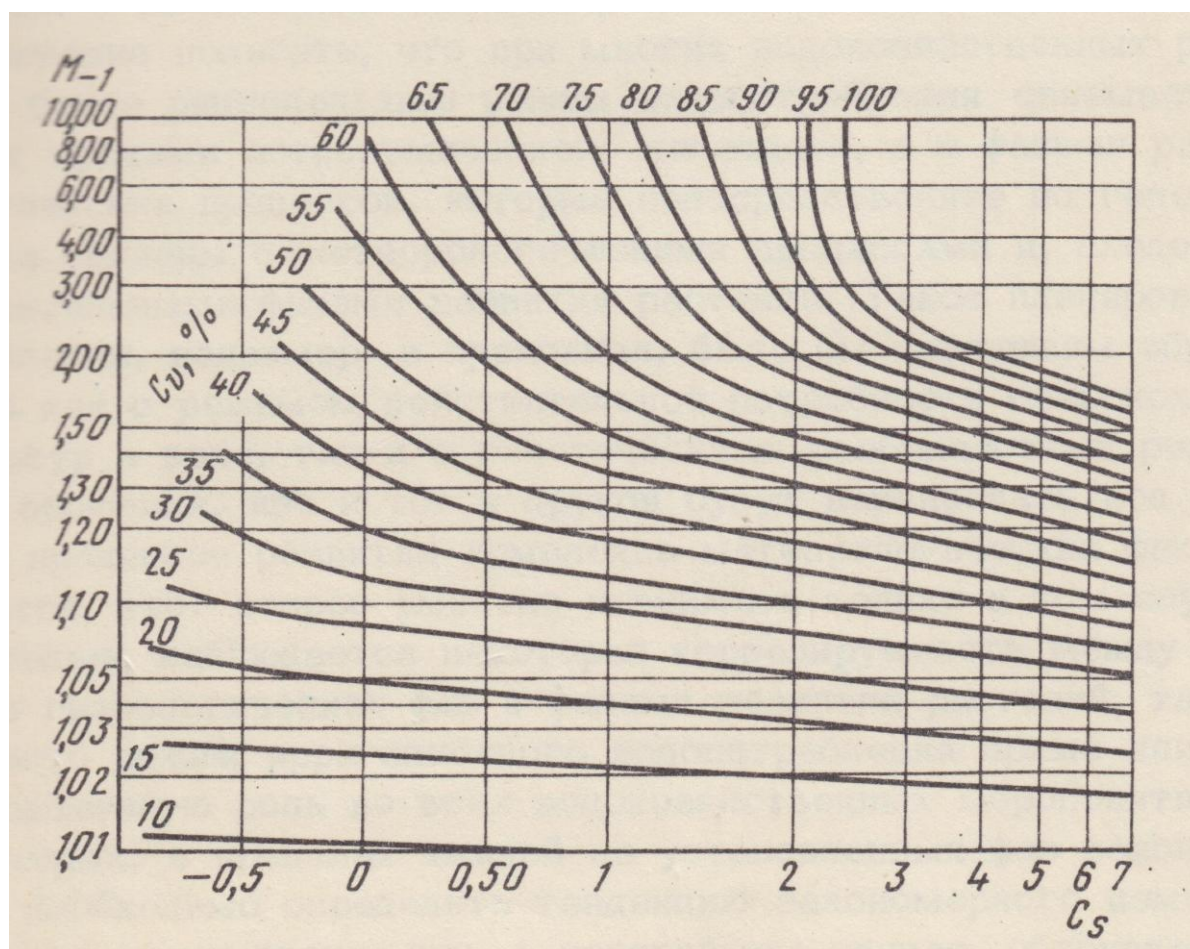
97. Сельское хозяйство Иркутской области / ГУСХ Иркутской обл. – Иркутск : Арт-Пресс, 2009. – 66 с.
98. Сергеев, С. С. Сельскохозяйственная статистика с основами социально-экономической статистики / С. С. Сергеев. – М. : Финансы и статистика, 1999. – 656 с.
99. Серков, А. Прогнозирование и индикативное планирование в сельском хозяйстве / А. Серков // Экономист. – 2001. – № 11. – С.81-85.
100. Серышев, В. А. Агроландшафтное районирование Иркутской области / В. А. Серышев, В. И. Солодун // География и природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 86-94.
101. Сиротенко, О. Д. Имитационная система климат - урожай СССР / О. Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 4. – С. 67-73.
102. Система земледелия Иркутской области / редкол.: Н. Ф. Маркаданов, М. Ф. Бычко, Г. Я. Соколов, В. М. Шуньков. – Иркутск : Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1981. – 225 с.
103. Смирнова, Г. Н. Проектирование экономических информационных систем : учеб. / Г. Н. Смирнова, А. А. Сорокин, Ю. Ф. Тельнов ; под. ред. Ю. Ф. Тельнова. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 512с.
104. Статистическое моделирование и прогнозирование / под. ред. А. Г. Гранберга. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 383 с.
105. Стохастическое программирование и его приложения / П. С. Кнопов [и др.]. – Иркутск : Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2012. – 493 с.
106. Схрейвер А. Теория линейного и целочисленного программирования : пер с англ. : в 2 т. / А. Схрейвер. – М. : Мир, 1991. – Т. 2. – 342 с.
107. Схрейвер, А. Теория линейного и целочисленного программирования : пер с англ. : в 2 т. / А. Схрейвер. – М. : Мир, 1991. – Т. 1. – 360 с.

108. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Х. А. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.
109. Тунеев, М. М. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства / М. М. Тунеев, В. Ф. Сухоруков. – М. : Финансы и статистика, 1986. – 144 с.
110. Федер, Е. Фракталы : пер. с англ. / Е. Федер. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
111. Федосеев, А. П. Погода и эффективность удобрений / А. П. Федосеев. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 114 с.
112. Ферстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Ферстер, Б. Ренц. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 304 с.
113. Фирсов, И. П. Технология растениеводства / И. П. Фирсов, А. М. Соловьев, М. Ф. Трифонова. – М. : Колос, 2004. – 472 с.
114. Хальд, А. Математическая статистика с техническими приложениями / А. Хальд. – М., 1956. – 664 с.
115. Хастингс, Н. Справочник по статистическим распределениям / Н. Хастингс, Дж. Пикок. – М. : Статистика, 1980. – 95 с.
116. Хедли, Дж. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли. – М. : Наука, 1967. – 508 с.
117. Чернигова, Д. Р. Динамика эффективности использования сельскохозяйственных угодий в муниципальных районах региона / Д. Р. Чернигова, Я. М. Иванько // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 9 (56). – С.44-49.
118. Чернигова, Д. Р. Районирование экономических параметров аграрного производства для различных категорий предприятий / Д. Р. Чернигова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – №8 (55). – С.71-76.
119. Чернышев, С. Л. Моделирование экономических систем и прогнозирование их развития : учеб. / С. Л. Чернышев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.

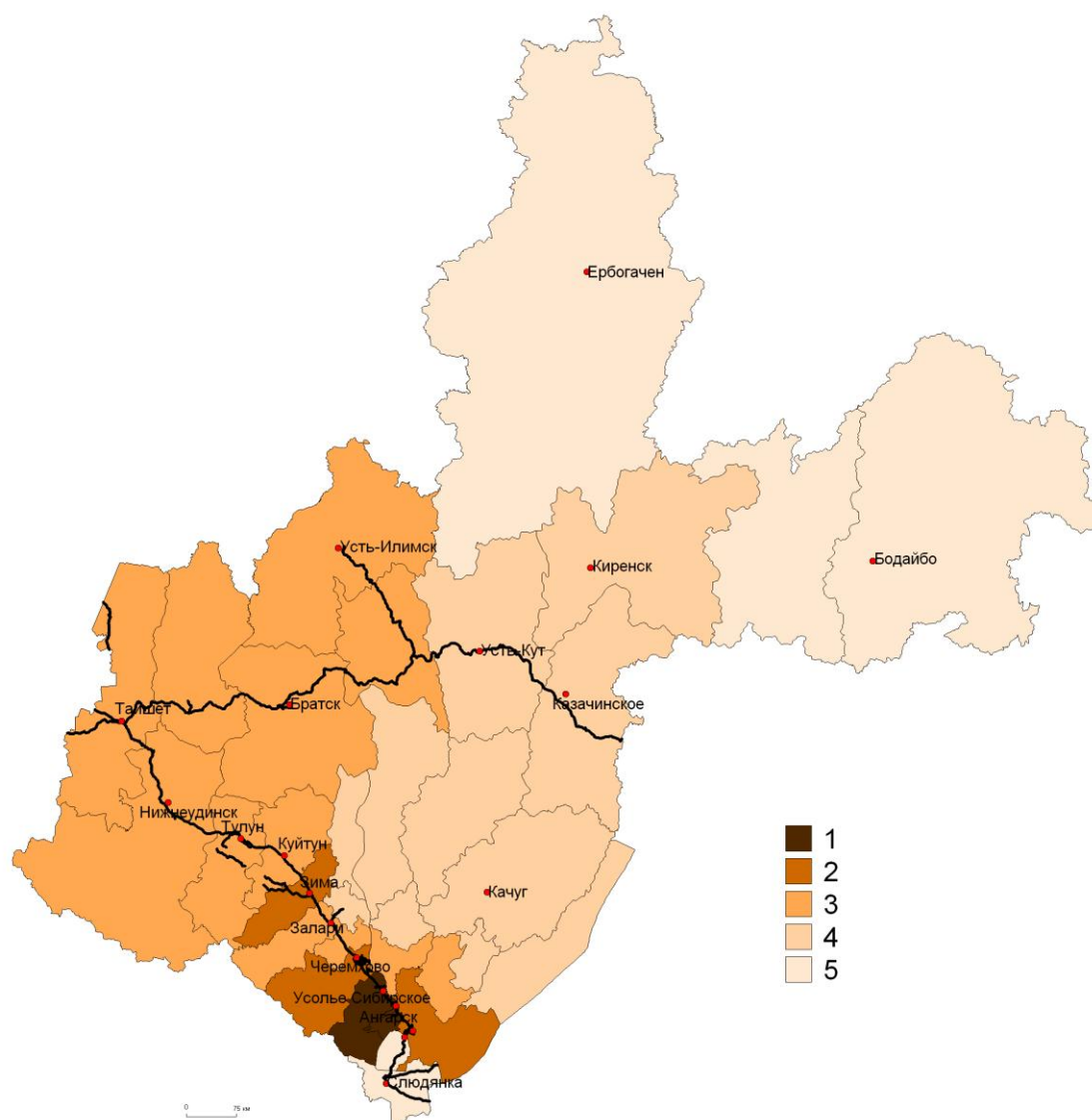
120. Четвериков, Н. С. Статистические и стохастические исследования / Н. С. Четвериков. – М. : Госстатиздат, 1963. – 239 с.
121. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М. : Статистика, 1977. – 160 с.
122. Шапкин, А. С. Математические методы и модели исследования операций : учеб. / А. С. Шапкин, Н. П. Мазаева. – М. : Дашков и Ко, 2004. – 400 с.
123. Шарипов, С. А. Оптимизация структуры посевов – необходимое условие повышения эффективности производства / С. А. Шарипов // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 1. – С. 42-44.
124. Шимараев, М. Н. Циркуляция атмосферы и климата на Байкале (1950-2007 гг.) / М. Н. Шимараев // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию образования ИрГСХА. – Иркутск : НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2009. – С. 77-85.
125. Шиндин, И. М. Оптимизация структуры посевов / И. М. Шиндин, Т. Е. Кодякова // Аграрная наука. – 2003. – № 3. – С. 20.
126. Эконометрика : учеб. / под ред. И. И. Елисеевой. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 344 с.
127. Экономико-математические методы и прикладные модели / В. В. Федосеев [и др.] ; под ред. В. В. Федосеева. – М. : ЮНИТИ, 1999. – 391 с.
128. Юдин, Д. Б. Задачи и методы стохастического программирования / Д. Б. Юдин. – М. : Советское радио, 1979. – 392 с.
129. Юдин, Д. Б. Экстремальные модели в экономике / Д. Б. Юдин, А. Д. Юдин. – М. : Экономика, 1979. – 287 с.
130. Юзбасиев, М. М. Статистический анализ тенденций и колеблемости / М. М. Юзбасиев, А. М. Манелл. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 207 с.
131. Danzig, G. B. Decomposition principle of linear programs / G. B. Danzig, P. Wolfe // Operations Research. – 1960. – №. 8. – P. 101-111.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1



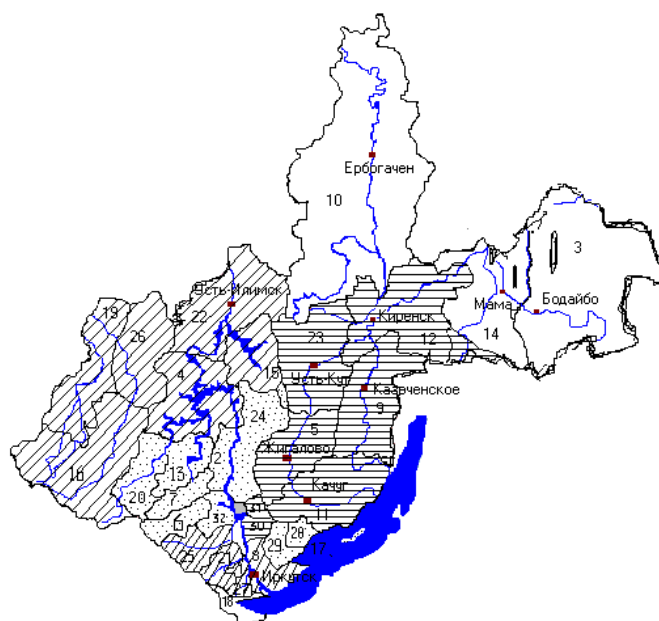
Номограмма приближенной зависимости коэффициента асимметрии от μ_1 и
коэффициента вариации



Районы Иркутской области по уровню использования сельскохозяйственных угодий в хозяйствах всех категорий
 Условные обозначения: группы районов по уровню землепользования:
 1 – наиболее высокая; 2 – высокая; 3 – средняя; 4 – низкая; 5 – несельскохозяйственная

Районы области:

1. Ангарский
2. Балаганский
3. Бодайбинский
4. Братский
5. Жигаловский
6. Заларинский
7. Зиминский
8. Иркутский
9. Казаченско-Ленский
10. Катангский
11. Качугский
12. Киренский
13. Куйтунский
14. Манско-Чуйский
15. Нижнеилимский
16. Нижнеудинский
17. Ольхонский
18. Слюдянский
19. Тайшетский
20. Тулунский
21. Усольский
22. Усть-Илимский
23. Усть-Кутский
24. Усть-Удинский
25. Черемховский
26. Чунский
27. Шелеховский
28. Баяндаевский
29. Эхирит-Булагатский
30. Боханский
31. Осинский
32. Аларский
33. Нукутский

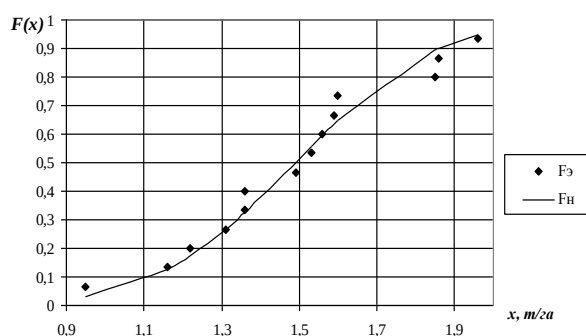


Обозначения:

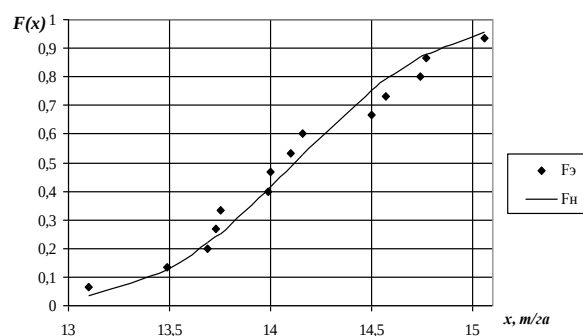
- Районы со значимыми высокими коэффициентами автокорреляции (>0,7)
- Районы со значимыми низкими коэффициентами автокорреляции (0,3-0,7)
- Районы с незначимыми коэффициентами автокорреляции
- Районы со слабо развитым сельскохозяйственным производством

Районирование Иркутской области с учетом выявленных автокорреляционных связей для рядов урожайности пшеницы:

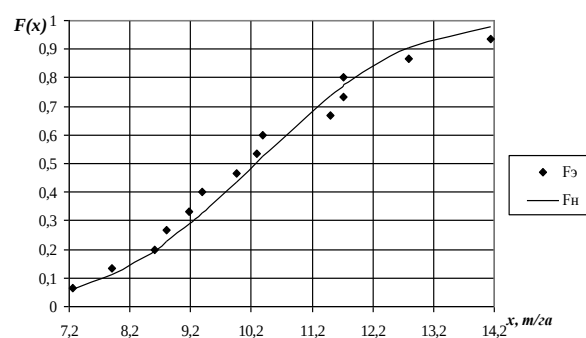
северный приленский таежно-подтаежный (5, 11, 23, 9, 12); среднеангарский таежно-подтаежный (4, 15, 22); северо-западный подтаежно-таежный (16, 19, 26); центральный лесостепной (6, 7, 13, 20, 32); юго-восточный лесостепной (1, 8, 21, 25, 27); Боханско-Осинский лесостепной (30, 31); Балаганско-Нукутский остепненный (2, 24, 33); Усть-Ордынско-Баяндаевский остепненно-лесостепной (17, 28, 29)



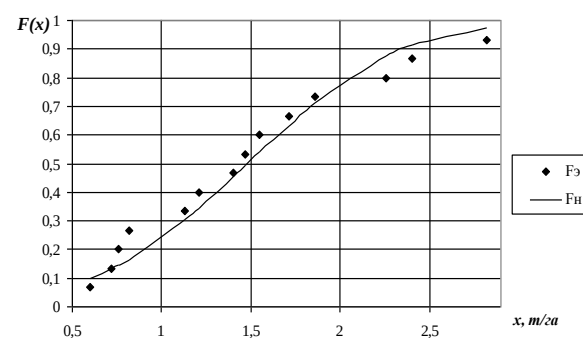
а



б



в



г

Эмпирические функции и нормальные законы распределения урожайности сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур, характеризующие временные изменения экстремумов Иркутской области: а – зерновые и зернобобовые культуры; б – картофель и овощебахчевые; в – кормовые культуры; г – плодово-ягодные культуры

Числовые характеристики факторов, влияющих
на урожайность сельскохозяйственных культур (1996-2012 гг.)

Пункт	X_{cp}	C_v	R_1
Сумма средних месячных температур за вегетационный период			
Качуг	66,50	0,10	0,28
Братск	65,52	0,05+1 цифра	0,40
Тайшет	70,06	0,04	0,50
Зима	70,96	0,05	0,30
Иркутск	70,37	0,05	-0,20
Бохан	70,44	0,06	0,29
Балаганск	68,43	0,05	0,29
Баяндай	64,42	0,06	0,34
Сумма месячных осадков за вегетационный период			
Качуг	256,37	0,25	0,09
Братск	260,57	0,17	-0,32
Тайшет	310,17	0,20	-0,11
Зима	298,56	0,29	0,07
Иркутск	352,68	0,23	-0,12
Бохан	295,40	0,20	-0,17
Балаганск	274,03	0,27	-0,05
Баяндай	293,56	0,21	-0,16
Число дней бездождевого периода (сумма за вегетационный период)			
Качуг	86,73	0,08	0,11
Братск	69,80	0,10	-0,01
Тайшет	75,47	0,11	0,34
Зима	84,13	0,10	0,36
Иркутск	73,40	0,10	-0,42
Бохан	94,73	0,07	-0,17
Балаганск	86,87	0,09	0,29
Баяндай	88,13	0,07	0,32
Число дней безморозного периода			
Качуг	93,73	0,15	0,13
Братск	121,73	0,10	0,06
Тайшет	113,20	0,10	0,03
Зима	112,47	0,10	0,57
Иркутск	128,20	0,12	-0,03
Бохан	111,47	0,08	0,24
Балаганск	116,87	0,12	0,09
Баяндай	109,20	0,07	0,18

Файл |
 Главная |
 Вставка |
 Разметка страницы |
 Формулы |
 Данные |
 Рецензирование |
 Вид

F19 f_x

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4	Модель оптимизации с детерминированными параметрами						
5							
6							
7	Урожайность зерновых, ц/га	Урожайность картофеля, ц/га	Урожайность овощей, ц/га	Прибыль, тыс. руб.	Заполнение	Расчёт	
8	17,4	193,4	190,2	96967			
9							
10	Площадь зерновых, га	Площадь картофеля, га	Площадь овощей, га				
11	44801	4007	261				
12							

Форма для вывода результатов решения детерминированной задачи оптимизации структуры посевов

Модель с вероятностными параметрами										
Сочетание	Урожайность, ц/га				Значение целевой функции		Площади, га			
	Зерновые культуры		Картофель		Овощи		Зерновые культуры		Картофель	Овощи
1	15,8	136	252,8	17408317	731	0,56	13494	4788	731	0,56
2	13,4	140,1	179,8	16750130	731	0,64	13494	4104	731	0,64
3	13,1	149,8	143,3	19866777	731	0,29	13494	3838	731	0,29
4	16,7	149,1	247,3	17405916	731	0,56	13494	3856	731	0,56
5	15,8	138,8	234,8	21969865	731	0,12	13494	4143	731	0,12
6	13,8	130	247,1	15053148	731	0,80	13494	4423	731	0,80
7	15,5	144,9	162,7	19342269	731	0,35	13494	3968	731	0,35
8	15,8	146,6	188,2	18393480	731	0,45	13494	3922	731	0,45

Модуль оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур с вероятностными параметрами