

Петрова Софья Андреевна

**ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В
РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2015

Работа выполнена на кафедре информатики и математического моделирования
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени
А.А. Ежевского»

Научный руководитель: Иваньо Ярослав Михайлович,
доктор технических наук, профессор, первый про-
ректор ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
аграрный университет имени А.А. Ежевского»

Официальные оппоненты: Батурин Владимир Александрович
доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГБУН «Институт
динамики систем и теории управления имени
В.М. Матросова» Сибирского отделения Россий-
ской академии наук

Абасов Николай Викторович,
кандидат технических наук, доцент, ведущий
научный сотрудник ФГБУН «Институт систем
энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского от-
деления Российской академии наук

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государствен-
ный аграрный университет»

Защита состоится «26» июня 2015 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного
совета Д 212.070.07 при Байкальском государственном университете экономики и
права по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина 11, БГУЭП, корпус 3, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Байкальского государственно-
го университета экономики и права по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11,
БГУЭП, корпус 2, ауд. 101.

Объявление о защите и автореферат диссертации размещены 24 апреля 2015 года
на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ (www.vak.ed.gov.ru) и на официальном
сайте ФГБОУ ВПО «Байкальский государственный университет экономики и права»
(www.isea.ru).

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

Автореферат разослан _____._____.2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Особое влияние на производство продовольственной продукции оказывают экстремальные природные явления, среди которых выделяются редкие события и техногенные аварии.

Из многолетних рядов наблюдений различных агрометеорологических и гидрологических параметров практический и теоретический интерес вызывают *события*, превышающие некоторый критический уровень или находящееся ниже него. Наибольшее (наименьшее) событие за исторический период или *редкое явление* приводит к значительным материальным ущербам, нарушению социальной инфраструктуры и гибели людей. Помимо этого, возникают ситуации *редкого совмещения* генетически различных природных событий или природных и техногенных явлений, суммарные потери от которых соизмеримы с потерями от воздействия редкого события.

В условиях значительной изменчивости климатических параметров и техногенных последствий планирование производства продукции с минимизацией ущерба необходимо для производителей и имеет практическое значение для страховых компаний. Моделирование производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления природных событий, техногенных аварий и их различного совмещения позволяет оценить вероятности наступления разрушительных ситуаций, определить величину убытков и страховых возмещений. Работа развивает идеи и результаты моделирования различных авторов по оценке природных событий, оптимизации производственных процессов и определения рисков в условиях неопределенности: Блохина Е.Г., Дружинина И.П., Кренке А.Н., Крицкого С.Н., Менкеля М.Ф., Кукина Г.В., Пржибельского С.Г., Резникова А.П., Рождественского А.В., Булатова В.П., Юдина Д.Б., Лотова В.А., Никитина А.В., Глушенко В.В. и др.

Целью диссертационной работы является создание моделей оценки редких природных явлений, техногенных событий и совмещения природных и техногенных событий с определением природных и техногенных рисков на основе предложенных оптимизационных моделей аграрного производства, реализованных с помощью разработанного проблемно-ориентированного программного комплекса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) систематизация редких природных явлений и техногенных событий, разработка методики определения их повторяемости и создание многофакторных моделей оценки редких событий;
- 2) оценка вероятности появления редких природных событий, редкого совмещения событий с учетом рассеяния вероятностей и значений параметров;
- 3) разработка алгоритмов оценки рисков с использованием оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления редких природных явлений различного происхождения;
- 4) разработка методики оценки рисков на основе оптимизационных моделей аграрного производства в условиях редкого совмещения различных природных событий, техногенных последствий и производственных параметров им соответствующих;
- 5) создание проблемно-ориентированного программного комплекса моделирования природных событий и техногенных последствий для решения задач планирования производства в условиях рисков.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы теории вероятностей и математической статистики, имитационного моделирования, прогнозирования и математического программирования.

Результатом работы являются следующие основные научные положения:

- 1) систематизированы редкие природные явления и техногенные события региона, разработаны методики определения повторяемости природного события, совмещения

природных событий и созданы факторные модели оценки редких событий;

2) построены алгоритмы имитационного моделирования для определения вероятности превышения редких природных событий и оптимизации деятельности сельскохозяйственного предприятия с вероятностными и интервальными параметрами в условиях проявления редких природных явлений различного происхождения;

3) разработана методика оценки природных рисков с использованием предложенных моделей оптимизации сочетания отраслей в условиях редкого совмещения различных природных событий и алгоритмов их реализации с применением метода статистических испытаний;

4) разработана методика определения ущербов на основе сформулированных задач оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом техногенных событий и совмещения техногенных и природных событий, решенных согласно предложенным алгоритмам с применением имитационного моделирования;

5) создан проблемно-ориентированный программный комплекс для оптимизации производства аграрной продукции с оценкой рисков в условиях проявления редких природных явлений, техногенных событий и совмещений природных и техногенных событий.

Объектом исследования являются модели обеспечения человека продовольственной продукцией в условиях влияния на производство различных по происхождению экстремальных природных и техногенных событий.

Предметом исследования является оптимизация производства аграрной продукции в условиях природных и техногенных рисков.

Информационная основа. Данные о климатических параметрах за исторический период (1721-2014 гг.) и техногенных возмущениях (1990-2014 гг.), сведения о производственных параметрах сельскохозяйственных предприятий региона (1950-2014 гг.), нормативно-справочная информация.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики определения степени риска объектов, включенных в систему страхования, на основе оптимизации производства продукции в крайне неблагоприятных внешних условиях и оценке наступления редких явлений и редкого совмещения событий с разрушительным воздействием. Разработки реализованы для ООО «Талинка», ООО «Академия» и подразделения СХ ОАО «Белореченское» с определением страховых возмещений и ущербов с использованием оптимальных планов в условиях проявления сильных засух, паводков, половодий и техногенных последствий. Предложенные модели и алгоритмы их реализации используются в дисциплинах, связанных с математическим моделированием, преподаваемых для бакалавров, магистрантов и аспирантов экономических и агроинженерных направлений и специальностей.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 1) научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Научные достижения производству» (Иркутск, ИрГСХА, апрель 2011 г.); 2) IX региональной научно-практической конференции молодых ученых вузов Сибирского федерального округа «Инновации молодых ученых аграрных вузов – агропромышленному комплексу Сибирского региона» (Омск, ОмГАУ, июнь 2011 г.); 3) XVI, XVII и XVIII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (Иркутск: ИСЭМ СО РАН, июль 2011-2013 гг.); 4) международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутск, ИрГСХА, апрель 2012 г.); 5) Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ (Алтайский ГАУ, Ярославская ГСХА, апрель – май

2012); 6) выставке научно-технического творчества молодежи Министерства по физической культуре, спорту и молодежной политике иркутской области (Иркутск, апрель 2013 г.); 7) международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии» (Иркутск, ИрГСХА, май 2013 и 2014 гг.); 8) международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутск, Иркутский ГАУ, 15-16 апреля 2015г.); 9) ежегодных научно-практических семинарах кафедры информатики и математического моделирования и экономического факультета (Иркутск, ИрГСХА, 2010-2015 гг.).

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 18 печатных работах, 5 из которых в изданиях из списка, рекомендованного ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 153 наименований и приложений. Общий объем работы составляет 207 страниц, которые содержат в себе 31 таблицу, 24 рисунка и 15 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель и основные задачи исследования, определяется научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрена информация об экстремальных природных явлениях и их влиянии на производство, подходы к оценке редких явлений, факторы их проявления. Проанализированы техногенные возмущения на территории Иркутской области и рассмотрены задачи оптимизации производственных процессов в экстремальных природно-климатических условиях.

Вторая глава посвящена особенностям информации о редких событиях исторического прошлого на территории Восточной Сибири. Приведена их оценка и анализ изменчивости серий событий. Определены эпохи наибольших серий параметров тепла и увлажнения. Исследованы связи между значениями событий и потоками событий. Рассмотрены возможные чередования редких явлений различного происхождения и серий событий, оценена их пространственная изменчивость. Определены редкие сочетания природных событий различного происхождения. Получены модели, описывающие связи редких природных явлений с факторами, влияющими на их формирование.

В третьей главе предложены методики определения природных, техногенных рисков и страховых возмещений, включающие в себя разработанные модели оптимизации производства продукции в крайне неблагоприятных ситуациях, реализованные по построенным алгоритмам с применением имитационного моделирования. В первой методике использована группа задач с учетом одного редкого явления, во второй - рассматривается случай редкого сочетания разных природных событий, а в третьей - учитывается совместное влияние природных и техногенных событий. Методики и модели реализованы на реальных объектах. Создан программный комплекс для решения задач планирования производства в условиях природных и техногенных рисков.

В заключении выделены основные результаты диссертационной работы и направления дальнейших исследований.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Систематизированы редкие природные явления и техногенные события региона, разработаны методики определения повторяемости природного со-

бытия, совмещения природных событий и созданы факторные модели оценки редких событий.

В работе рассмотрены редкие природные и техногенные явления за исторический период, наблюдающиеся на территории Иркутской области: суровые зимы, жаркие летние сезоны, агрономические засухи, безморозный период, ливни, дождевые паводки, весенние половодья, разливы нефти и нефтепродуктов, загрязнение подземных вод, водоемов и атмосферы, выброс в окружающую среду большого количества химических веществ и др.

При переходе значения многолетнего ряда природного параметра в событие применены двухуровневый и многоуровневый методы. В первом из них события оцениваются с помощью статистических критериев (таблица), во втором – по четвертому уровню иерархии.

Таблица - Критерии выделения природных событий различного происхождения и свойства параметров

Параметр	Критерий перехода значения в событие	Обозначения	Свойства параметров
Минимальная температура, t_{min} [°C]	$t_{min} \leq \bar{t} - \sigma/2$	$\bar{t}$ - среднее значение ряда минимальных температур, σ – стандартное отклонение	Цикличность холодных зим 11, 33 и 100 лет и по правилу 2/3 относительно начала второго цикла. Значимость внутрирядных связей многолетних рядов параметра, подчиняющегося закону распределения Гаусса
Максимальная температура, t_{max} [°C]	$t_{max} \leq \bar{t} + \sigma/2$	$\bar{t}$ - среднее значение ряда максимальных температур,	Ряды с незначительным рассеянием, подчиняющиеся нормальному закону распределения
Максимальный расход дождевого паводка, Q_{max}^d (весеннего половодья Q_{max}^s) [$м^3/с$]	$Q_{max}^d \geq Q_{p_k}$ ($Q_{max}^s \geq Q_{p_k}$)	Q_{p_k} - расход воды соответствующий отметке опасности гидрологического явления при вероятности превышения p_k	Случайные ряды, подчиняющиеся закону распределения Пирсона III типа
Наибольшие суточные осадки, x_{max} [мм]	$x_{max} \geq x_{p_k}$	x_{p_k} - максимальные суточные осадки, с вероятностью превышения p_k	Случайные ряды, подчиняющиеся преимущественно лог-нормальному распределению
Безморозный период, T_0 [сут]	$T_0 \leq \bar{T} - \sigma/2$	$\bar{T}$ - среднее значение ряда безморозного периода	Случайные ряды со значимыми автокорреляционными связями на юге региона и их отсутствием на севере. Наличие значимых трендов на юге и отсутствие их на севере региона
Агрономическая засуха, y [ц/га]	$y \leq 0,8\bar{y}$	$\bar{y}$ - среднее значение ряда урожайности зерновых	Параметр: интервальный, случайный или с автокорреляцией. В стабильных хозяйствах характеризуется трендами

При оценке природных событий использованы различные подходы к оценке редких явлений, совмещения техногенных и природных событий. В первом случае редкое явление рассматривается как часть общей совокупности многолетних рядов наблюдений. Второй подход предполагает изучение серий событий определенного параметра с нахождением эпох их проявления. В третьем случае определяются

условия формирования редкого события на основе анализа факторов. *Четвертый подход основан на анализе редкого явления в пространстве, что позволяет частично компенсировать недостаточность информации во временных рядах. Согласно пятому подходу рассматривается чередование серий событий различного происхождения и их значений. На основе анализа природных событий определены их свойства, приведенные в таблице.*

Согласно оценке вероятностей проявления в один год двух и более событий показано, что максимальные серии событий и редкие явления различного происхождения имеют место в различные эпохи, чередуясь. Практический и теоретический интерес имеет ситуация проявления двух событий в году, которая относится к редкой. При этом показано, что за период наблюдений 70-100 лет максимальное число событий в один год соответствует трем. Построены соотношения серий событий и наибольших (наименьших) значений, подтверждающих тенденцию проявления редкого явления в эпоху максимума серий событий или соседнюю.

Структура техногенных происшествий за период 1990-2014 гг. на территории Иркутской области следующая: 1) транспортные аварии – 16; 2) пожары на промышленных предприятиях области с выбросом химически опасных веществ в атмосферу – 4; 3) взрывы – 1; 4) разливы нефти – 10; 5) аварии на системах коммунального обеспечения – 4; 6) сбросы на природные объекты опасных химических и радиоактивных веществ – 5 (из них 2 случая сброса дизтоплива и бензина в воды реки в результате весеннего половодья); 7) случаи попадания радиоактивных элементов в окружающую среду – 6; 8) случаи выброса хлора в атмосферу, при выполнении нерегламентированной технологической операции – 1; 9) газовые утечки – 6; 10) лесные пожары в результате человеческой деятельности – 1403. Экологический ущерб от этих явлений составил более 4 млрд. руб.

Материальные потери, от техногенных аварий и природных стихий соизмеримы. Вместе с тем преобладающее число человеческих жертв вызвано техногенными событиями.

Проанализированы зависимости редких явлений от факторов. В частности, для гидрологических редких событий получены многофакторные связи линейного и нелинейного вида: $y_i = a_0 + a_1 t_{i-\tau_1} + a_2 \chi_{i-\tau_2}$, $y_i = a_0 + a_1 t_{i-\tau_1}^2 + a_2 \chi_{i-\tau_2}^2 + a_3 t_{i-\tau_1} \chi_{i-\tau_2}$, где $t_{i-\tau_1}$, $\chi_{i-\tau_2}$ – среднесуточные температуры воздуха и суммы суточных осадков за предшествующий заблаговременности период τ_1 и τ_2 .

Результаты показали, что линейные уравнения справедливы для рек Ангарского бассейна, а нелинейные – для верховьев Лены. При этом с севера на юг имеет место тенденция повышения точности многофакторных моделей.

Показано, что наименьшие минимальные температуры в 11-летних циклах солнечной активности ($t_{min_i}^{min}$) связаны с предшествующими значениями ($t_{min_{i-1}}^{min}$) и редкими колебаниями показаний минимального термометра в соседние годы ($\Delta t_{min_{i-1}}^{min}$): $t_{min_i}^{min} = -5,65 + 0,865 t_{min_{i-1}}^{min} - 0,164 \Delta t_{min_{i-1}}^{max}$. Полученное выражение по данным Иркутска значимо для уровня 0,15 и адекватно согласно условию случайности остатка ряда.

Таким образом, согласно предложенным подходам оценки редких событий различного происхождения и максимальных серий событий определены тенденции их изменчивости, чередования и связи. При этом для прогнозирования редких дождевых паводков построены многофакторные зависимости, а для минимальной температуры воздуха юга региона разработана авторегрессионная модель.

2. Построены алгоритмы имитационного моделирования для определения вероятности превышения редких природных событий и оптимизации деятельности сельскохозяйственного предприятия с вероятностными и интервальными параметрами в условиях проявления редких природных явлений различного происхождения.

Поскольку параметры увлажнения являются случайными, предложены два алгоритма определения частоты появления редкого события с применением метода статистических испытаний (рисунок). Следует отметить, что эти алгоритмы применимы для редких явлений, представляющих собой случайную выборку.

По первому алгоритму с помощью псевдослучайных чисел многократно моделируют выборки значений природного явления. Из них выбирают наибольшие величины и соответствующие им ординаты функции распределения. Моделирование m выборок длиной N позволяет получить m наибольших значений редкого явления для построения функции распределения наибольших значений.

В отличие от первого алгоритма, во втором многократно моделируется ряд до появления величины не меньшей фактического значения, соответствующего редкому явлению. Затем выбираются два наибольших значения в ранжированном ряду и их вероятности. Методом интерполяции определяется вероятность для значения параметра, равного фактическому. Эксперименты повторяются m раз.

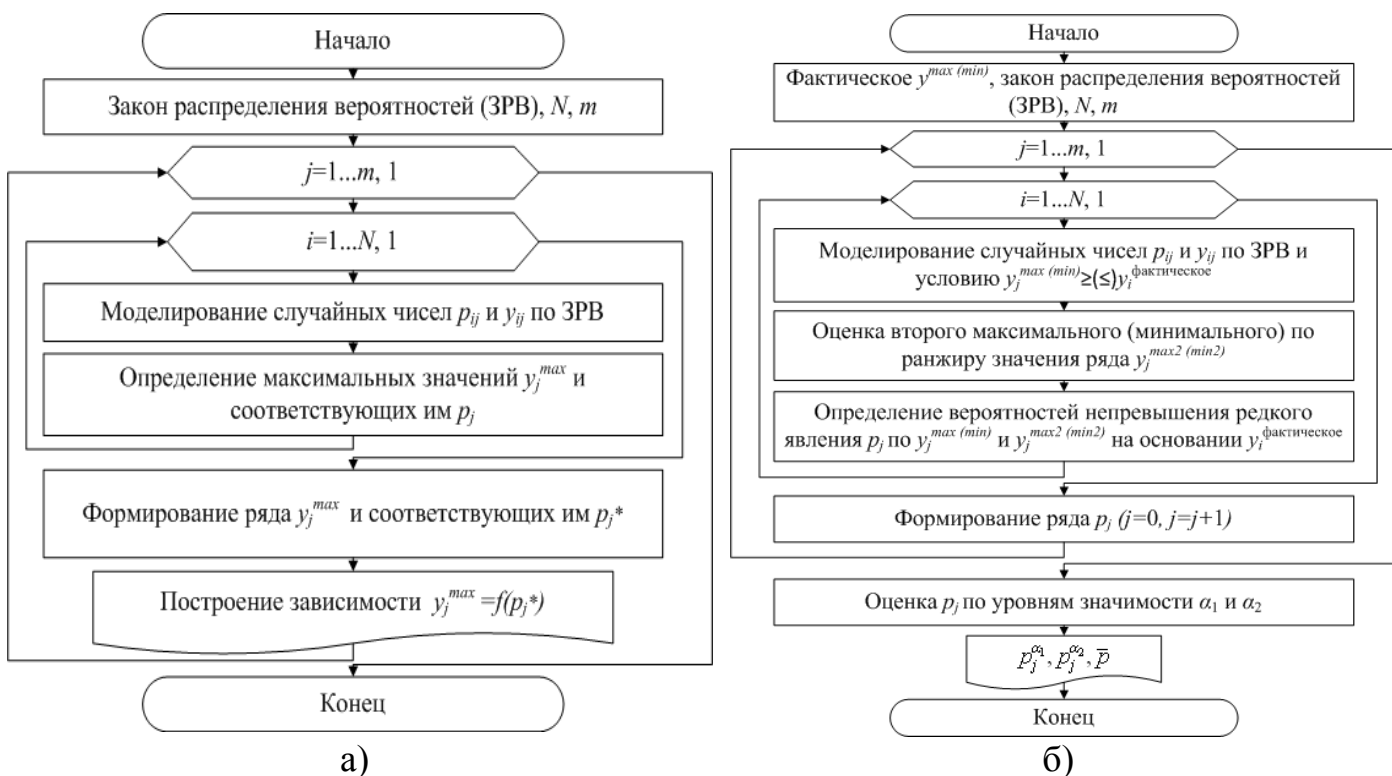


Рисунок - Алгоритмы определения вероятности появления редкого явления
а) в результате многократного моделирования наибольших значений рядов за исторический период,
б) на основе моделирования периодов превышения фактического редкого явления

Для анализа достоверности результатов определены статистические параметры смоделированных m раз рядов повторяемостей максимальных расходов воды различной длины n и рассеяние вероятностей для уровней значимости 0,05 и 0,95. Алгоритмы применимы с учетом и без учета исторического периода неперевышения редкого явления N . В первом случае ряды моделируются по условию $n=N$.

Преимущество второго алгоритма заключается в значительно меньшей степени рассеяния вероятности редкого события, что объясняется рассмотрением фиксированного значения редкого явления.

Оба алгоритма основаны на использовании некоторого закона распределения вероятностей. Статистические параметры рассчитывались методом моментов с уточнением отрицательной смещенности асимметрии и приближенно максимального правдоподобия. В зоне малой вероятности наилучшее соответствие аналитических вероятностей наибольших максимальных расходов воды за историческое прошлое эмпирическим значениям получено по закону распределения Пирсона III типа.

Предложенные алгоритмы являются основополагающими для моделирования случайных редких событий с учетом рассеяния вероятностей и значения. Кроме того, они применимы для получения оптимальных планов в задачах математического программирования в условиях проявления редкого явления. Для этого разработанные алгоритмы могут быть дополнены операцией многократного вычисления оптимального решения с учетом рассеяния параметров в первом случае. Результатом решения задачи оптимизации сельскохозяйственного производства является множество оптимальных решений, которым соответствуют определенные вероятности. Согласно второму алгоритму можно получить одно оптимальное решение с определением некоторого интервала вероятностей задачи. На основе полученных решений и их сравнения с результатами планирования в благоприятных условиях с учетом методики определения страховой стоимости и размера утраты урожая сельскохозяйственных культур рассчитываются страховые выплаты.

Алгоритмы реализованы для моделей оптимизации производства аграрной продукции в условиях проявления редкой засухи, весеннего половодья и дождевого паводка. Результатом для реального предприятия являются различные оптимальные планы, связанные с вероятностями и рассеянием параметров. Задачи решены с усредненными и изменчивыми производственно-экономическими параметрами.

3. Разработана методика оценки природных рисков с использованием предложенных моделей оптимизации сочетания отраслей в условиях редкого совмещения различных природных событий и алгоритмов их реализации с применением метода статистических испытаний.

Разработанная методика оценки природных рисков состоит из следующих операций: 1) определяется оптимальный план производства сельскохозяйственной продукции для благоприятных природно-климатических условий; 2) оценивается вероятность редкого совмещения разных по происхождению природных событий с предварительной оценкой вероятности отдельных событий; 3) определяется влияние каждого события на производственные ресурсы; 4) строятся оптимальные планы производства сельскохозяйственной продукции с учетом проявления каждого события по разности оптимальных планов в благоприятных и неблагоприятных условиях с учетом методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) урожая сельскохозяйственной культуры и посадок многолетних насаждений, утраты (гибели) сельскохозяйственных животных; 5) определяются природные риски для отдельных событий и их совместного проявления.

Оценка вероятностей появления редкого совмещения нескольких событий, проявляющих себя в один год, показала практическое значение совмещения двух событий. При этом расчетная вероятность совместных событий изменяется от 0,02 до 0,08 в зависимости от происхождения явления.

При построении оптимального плана производства сельскохозяйственной продукции предложена модель с учетом редкого совмещения природных событий, которая записывается в следующей редакции:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s + \sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} c_{sz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{h \in H} c_h x_h + \sum_{h \in H} \sum_{z \in Z} c_{hz}^{(I)p} \omega_h - \left(\sum_{j \in J} c_j x_j + \sum_{j \in J} \sum_{z \in Z} c_{jz}^{(I)p} \omega_j \right) \rightarrow \min. \quad (1)$$

В качестве условий использованы:

а) ограниченность производственных ресурсов:

$$\sum_{s \in S} b_{is} x_s + \sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} b_{isz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{h \in H} b_{ih} x_h \leq B_i$$

$$\text{или } \sum_{s \in S} b_{is} x_s + \sum_{h \in H} b_{ih} x_h \leq B_i - \sum_{z \in Z} B_{iz}^{(I)p} \quad (i \in I), \quad (2)$$

б) применение в животноводстве побочной продукции растениеводства:

$$\sum_{s \in S} v_{js} x_s - \sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} v_{jsz}^{(I)p} \omega_s \geq x_j \quad (j \in J), \quad (3)$$

в) ограниченность размера отраслей:

– растениеводства:

$$\psi_r \leq \sum_{s \in S} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{\Psi}_r \quad (r \in R), \quad (4)$$

– животноводства:

$$x_h = \lambda_{hh'} x_{h'} \quad (h, h' \in H), \quad (5)$$

г) производство конечной продукции не менее заданного объема:

– растениеводства:

$$\sum_{s \in S} v_{q_1 s} x_s - \sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} v_{q_1 sz}^{(I)p} \omega_s \geq V_{q_1} - \sum_{z \in Z} V_{q_1 z}^{(I)p} \quad (q_1 \in Q_1), \quad (6)$$

– животноводства:

$$\sum_{h \in H} v_{q_2 h} x_h - \sum_{h \in H} \sum_{z \in Z} v_{q_2 hz}^{(I)p} \omega_h \geq V_{q_2} - \sum_{z \in Z} V_{q_2 z}^{(I)p} \quad (q_2 \in Q_2), \quad (7)$$

д) сочетание растениеводства и животноводства по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} a_{ls} v_s x_s - \sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} a_{ls} v_{sz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{j \in J} a_{lj} x_j \geq \sum_{h \in H} b_{lh} \quad (l \in L), \quad (8)$$

е) неотрицательность переменных:

$$x_s, x_h, x_j, \omega_s, \omega_h, \omega_j \geq 0. \quad (9)$$

В модели (1)-(9) использованы следующие обозначения c_s - себестоимость единицы продукции s -культуры ($s \in S$); c_h - себестоимость единицы h -вида животных ($h \in H$); c_j - себестоимость единицы j -вида корма, ω_s - искомая переменная, площадь s -культуры, подверженная влиянию редкого совмещения событий; ω_h - поголовье h -вида скота с учетом влияния редкого совмещения природных событий; ω_j - количество кормов j -вида в условиях влияния редкого совмещения природных событий; $c_{sz}^{(I)p}$, $c_{hz}^{(I)p}$ и $c_{jz}^{(I)p}$ - затраты на производство единицы продукции s -культуры, h -вида животных и j -вида корма в результате влияния природного события z ; x_s - искомая переменная, площадь s -культуры; x_h - поголовье; x_j - количество кормов; S - множество видов культур; H - множество групп животных; J - множество видов кормов; Z - множество природных событий; p - вероятность появления природного события; b_{is} - расход ресурса на единицу площади; $b_{izs}^{(I)p}$ - добавленный расход ресурса на единицу площади за счет проявления природного события z ; b_{ih} - расход ресурса на единицу поголовья животных; B_i и $B_{iz}^{(I)p}$ - ограничения по использованию ресурсов с учетом влияния на них множества природных событий; I - множество видов ресурсов; v_{js} - выход с единицы s -площади j -вида корма; $v_{jzs}^{(I)p}$ - уменьшение выхода корма с единицы площади под влиянием природного события; ψ_r ($\bar{\Psi}_r$) - минимальная (максимальная) площадь культур r -вида (группы); α_s - коэффициент, учитывающий площадь посевов семян; R - множество агротехнических групп культур; $\lambda_{hh'}$ - коэффициент пропорциональности между поголовьем животных h и их группами h' ; $v_{q_1 s}$ и $v_{q_2 h}$ - выход продукции с единицы площади и поголовья животных; $v_{q_1 sz}^{(I)p}$ и $v_{q_2 hz}^{(I)p}$ - уменьшение выхода продукции с единицы площади и поголовья животных под влиянием природного события; V_{q_1} и V_{q_2} - заданный объем производства продукции растениеводства и животноводства; $V_{q_1 z}^{(I)p}$ и $V_{q_2 z}^{(I)p}$ - уменьшение объема производства продукции растениеводства и животноводства под влиянием природного события; q_1 и q_2 - вид товарной продукции; Q_1 и Q_2 - множества товарной продукции растениеводства и животноводства; a_{ls} - содержание l -элемента питания в единице кор-

мовой продукции, полученной от s -культуры; v_s – выход основных кормовых культур; $v_{sz}^{(I)p}$ – уменьшение выхода основных кормовых культур под влиянием природных событий; a_{lj} – содержание l -элемента питания в j -виде корма; b_{lh} – минимальная потребность в l -элементе питания единицы поголовья животных; l (L) – элемент (множество элементов) питания.

Задача (1)-(9) может быть решена с использованием в виде затрат ущербов, наносимых совмещением природных событий:

$$\sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} c_{sz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{h \in H} \sum_{z \in Z} c_{hz}^{(I)p} \omega_h - \sum_{j \in J} \sum_{z \in Z} c_{jz}^{(I)p} \omega_j \rightarrow \min. \quad (10)$$

Из приведенной модели (1)-(9) можно получить частные случаи в зависимости от влияния природных событий на производственно-экономические параметры.

В частности, при моделировании производства сельскохозяйственной продукции на реальном объекте целевая функция и условия (3)-(5), (7) и (8) рассматривались как детерминированные. В ограничениях (2) и (6) учитывалось влияние совмещенных природных событий на правые части. Задача решена для редкого совмещения весеннего половодья и дождевого паводка.

Помимо этой задачи описана ситуация, когда коэффициенты левых частей ограничений (3) представляли собой случайные величины.

Для решения предложенных задач использованы модифицированные алгоритмы (см. рис.), учитывающие ранги событий, вероятность совместных событий, законы распределения рассматриваемых рядов и особенности влияния событий на производственно-экономические параметры.

Модель реализована для ООО «Талинка» при дождевом паводке и весеннем половодье Q_{max} на р. Бирюсе в 1988 г., которые составили 3490 и 2690 м³/с. Вероятность ситуации ζ соответствует 0,0748 при $\zeta_{0,05} = 0,0171$ и $\zeta_{0,95} = 0,0918$. Для приведенной модели расчетные страховые выплаты соответствуют 9,863 и 9,150 млн. руб. при средней и высокой урожайности зерновых культур. Эти расчеты соответствуют второму алгоритму решения задачи (1)-(9), не учитывающему рассеяние максимальных расходов воды. В этом случае потери для усредненного и высокого значения параметра урожайности составили 13,454 и 12,430 млн. руб. К этому следует добавить, что ущербы для усредненной урожайности сельскохозяйственной культуры колеблющиеся в интервале 7,975-18,986, а для высокой – 7,706-18,624 млн. руб. получены по первому алгоритму.

По аналогии с моделями со случайными параметрами (1)-(9) разработаны модели с интервальными параметрами.

4. Разработана методика определения ущербов на основе сформулированных задач оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом техногенных событий и совмещения техногенных и природных событий, решенных согласно предложенным алгоритмам с применением имитационного моделирования.

По аналогии с третьим положением предложена методика определения ущербов в условиях проявления техногенных событий и совмещения техногенных и природных событий. Отличительной особенностью этой методики определения рисков является то, что в ней используются модели оптимизации производства аграрной продукции с учетом влияния техногенных событий и совмещения природных и техногенных событий.

Приведем общую задачу математического программирования со случайными параметрами в условиях совмещения природных и техногенных событий. Целевая функция предполагает минимизацию ущербов, характеризуемых дополнительной себестоимостью произведенной продукции:

$$\sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} c_{sz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} c_{sw}^{(II)p} \omega_s + \sum_{h \in H} \sum_{z \in Z} c_{hz}^{(I)p} \omega_h + \sum_{h \in H} \sum_{w \in W} c_{hw}^{(II)p} \omega_h - \sum_{j \in J} \sum_{z \in Z} c_{jz}^{(I)p} \omega_j - \sum_{j \in J} \sum_{w \in W} c_{jw}^{(II)p} \omega_j \rightarrow \min, \quad (11)$$

Условия задачи определены в виде:

а) ограниченности производственных ресурсов:

$$\sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} b_{isz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} b_{isw}^{(II)p} \omega_s + \sum_{h \in H} \sum_{z \in Z} b_{ihz}^{(I)p} \omega_h + \sum_{h \in H} \sum_{w \in W} b_{ihw}^{(II)p} \omega_h \leq B_i^{(I)p} + B_i^{(II)p} \quad (i \in I), \quad (12)$$

б) применения в животноводстве побочной продукции растениеводства:

$$\sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} v_{jsz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} v_{jsw}^{(II)p} \omega_s \geq V_j^{(I)p} + V_j^{(II)p} \quad (j \in J), \quad (13)$$

в) ограниченности размера отраслей:

– растениеводства:

$$\psi_r^{(I)p} \leq \sum_{s \in S} (1 + \alpha_{sr}) \omega_{sr} \leq \Psi_r^{(I)p}, \quad \psi_r^{(II)p} \leq \sum_{s \in S} (1 + \alpha_{sr}) \omega_{sr} \leq \Psi_r^{(II)p} \quad (r \in R), \quad (14)$$

– животноводства:

$$\omega_h = \lambda_{hh'} \chi_{h'} \quad (h, h' \in H), \quad (15)$$

г) производства конечной продукции не ниже заданного объема:

– растениеводства:

$$\sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} y_{q_1sz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} y_{q_1sw}^{(II)p} \omega_s \geq Y_{q_1}^{(I)p} + Y_{q_1}^{(II)p} \quad (q_1 \in Q_1), \quad (16)$$

– животноводства:

$$\sum_{h \in H} \sum_{z \in Z} y_{q_2hz}^{(I)p} \omega_h + \sum_{h \in H} \sum_{w \in W} y_{q_2hw}^{(II)p} \omega_h \geq Y_{q_2}^{(I)p} + Y_{q_2}^{(II)p} \quad (q_2 \in Q_2), \quad (17)$$

д) сочетания растениеводства и животноводства по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} \sum_{z \in Z} a_{ls} v_{sz}^{(I)p} \omega_s + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} a_{ls} v_{sw}^{(II)p} \omega_s + \sum_{j \in J} a_{lj} \omega_j \geq \sum_{h \in H} b_{lh} \quad (l \in L), \quad (18)$$

е) неотрицательности переменных:

$$\omega_s, \omega_h, \omega_j \geq 0. \quad (19)$$

В приведенной модели использованы следующие обозначения $c_{sw}^{(II)p}$, $c_{hw}^{(II)p}$ и $c_{jw}^{(II)p}$ – затраты на производство единицы продукции s -культуры, h -вида животных и j -вида корма, связанные с влиянием случайного техногенного воздействия w с вероятностью p ; ω_s , ω_h и ω_j – искомые переменные, площадь s -культуры, поголовье h -вида скота, количество кормов j -вида; W – множество техногенных воздействий; $b_{isz}^{(I)p}$, $b_{ihz}^{(I)p}$, $b_{isw}^{(II)p}$ и $b_{ihw}^{(II)p}$ – расходы i -го ресурса на единицу площади s -культуры и единицу поголовья h -вида животных ввиду проявления природного события z и техногенного влияния w ; $B_i^{(I)p}$ и $B_i^{(II)p}$ – потери i -го ресурса от природного события и антропогенного воздействия; I – множество видов ресурсов; $v_{jsz}^{(I)p}$ и $v_{jsw}^{(II)p}$ – выход с единицы s -площади j -вида корма, уменьшенный под влиянием событий z и w ; $V_j^{(I)p}$ и $V_j^{(II)p}$ – потери количества кормов j -вида вследствие влияния природного события и техногенного последствия p ; $\psi_r^{(I)p}$ и $\Psi_r^{(II)p}$ – минимальная (максимальная) площадь r -группы культур, подверженная техногенному воздействию; α_{sr} – коэффициент, учитывающий площадь посевов семян для s -культур; R – множество агротехнических групп культур; $\lambda_{hh'}$ – коэффициент пропорциональности между поголовьем животных h и их группами h' ; q_1 – вид растениеводческой товарной продукции; $y_{q_1sz}^{(I)p}$ и $y_{q_1sw}^{(II)p}$ – уменьшение выхода продукции с единицы площади s -культуры под воздействием природного события z и техногенного явления w ; $Y_{q_1}^{(I)p}$ и $Y_{q_1}^{(II)p}$ – объемы, на которые уменьшается производство растениеводческой продукции под влиянием природного события и техногенного воздействия; Q_1 – множество товарной продукции растениеводства; q_2 – вид животноводческой товарной продукции; $y_{q_2hz}^{(I)p}$ и $y_{q_2hw}^{(II)p}$ – уменьшение выхода продукции под воздействием природного события z и техногенного возмущения w ; $Y_{q_2}^{(I)p}$ и $Y_{q_2}^{(II)p}$ – объемы, на которые уменьшается производство животноводческой продукции в результате проявления природного со-

бытия и техногенного явления; Q_2 – множество товарной продукции животноводства; a_{ls} – содержание l -элемента питания в единице кормовой продукции, полученной от s -культуры; $v_{sz}^{(I)p}$ и $v_{sw}^{(II)p}$ – выход основных кормовых культур с единицы площади, подверженной влиянию природного события z и антропогенного возмущения; a_{lj} – содержание l -элемента питания в j -виде корма; b_{lh} – минимальная потребность в l -элементе питания единицы поголовья h -вида животных; $l(L)$ – элемент (множество элементов) питания.

Решением задачи (11)-(19) является распределение вероятностей целевой функции. При этом каждому значению критерия оптимальности соответствует оптимальный план с некоторой вероятностью совместных событий ζ . Алгоритм решения задачи выглядит следующим образом: 1) методом Монте-Карло моделируются вероятности случайных параметров модели; 2) по заданным законам распределения вероятностных величин определяются квантили параметров; 3) на основе полученных значений параметров, соответствующих некоторой вероятности, строится задача математического программирования; 4) с помощью методов математического программирования находится оптимальный план, соответствующий вероятности совместных событий; 5) перечисленные операции повторяются многократно; 6) строится эмпирическая функция распределения вероятностей, согласно которой можно выделить различные варианты планов производства сельскохозяйственной продукции. На основе сравнения оптимальных планов, полученных для благоприятных и неблагоприятных условий, и методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) урожая и животных вычисляются страховые возмещения.

Из модели (11)-(19) получены и рассмотрены частные случаи оптимизации производства продовольственной продукции как результата техногенных событий: 1) критерий оптимальности в виде зависимости коэффициентов себестоимости от урожайности, сокращения сельскохозяйственных угодий и изменчивости урожайности и сельскохозяйственных угодий; 2) модель с независимыми интервальными параметрами.

Сравнение результатов моделирования с зависимыми и независимыми параметрами для ООО «Талинка» показывает, что в первом случае наиболее устойчивое решение получено, если себестоимость связана с урожайностью зависимостью в виде гиперболы. Большое расхождение между экстремумами целевой функции имеет место, когда на ущербы влияют как сокращение сельскохозяйственных угодий, так и уменьшение урожайности. Ситуация непредсказуемости колебаний интервальных параметров приводит к увеличению затрат более чем на 30% и необходимости страховых возмещений при наибольших значениях ущерба в размере 1,762 млн. руб.

Для того же предприятия модель (11)-(19) реализована с учетом засухи и техногенных событий. В ней урожайности сельскохозяйственных культур оценивались по нормальному закону распределения, а площади, подверженные пагубному влиянию внешних факторов, – гамма-распределению. В результате реализации модели с использованием метода статистических испытаний определено, что критерий оптимальности изменяется в интервале 0,905-5,462 млн. руб. для количества решений $m=100$. При определении вероятностей, соответствующих оптимальным решениям задачи, предложено оценивать вероятности целевых функций с весовыми коэффициентами пропорционально затратам на производство конкретного вида продукции или обработку единицы сельскохозяйственных угодий.

Связь значений целевой функции и вероятностей совместных событий ζ с учетом весовых коэффициентов определяется значимым коэффициентом детерминации (0,73) для зависимости $f = 0,294\zeta^{-6,784}$. На основе этой зависимости ущербы при вероятности 0,10 составили 1,787, а при 0,40 – 0,000147 млн. руб. По значениям целевых функций выбираются оптимальные планы. При незначительных потерях, соответствующих малым вероятностям, из оборота изымаются площади не более 100 га, а

в условиях значительного воздействия внешних факторов предприятие теряет почти половину посевных площадей. При этом расчетные страховые выплаты при наибольших ущербах составили 6,574 млн. руб.

Помимо модели со случайными параметрами реализована модель с интервальными параметрами для одного из подразделений СХ ОАО «Белореченское». В качестве природного события рассмотрена агрономическая засуха, влияющая на урожайности зерновых, однолетних трав на сено и площади зерновых культур. Кроме того, учитывались техногенные последствия в виде изъятия из оборота площадей посевов и естественных пастбищ. В результате решения задачи значение целевой функции определено в пределах 21,613-24,747 млн. руб., а расчетные страховые выплаты составили 19,695 млн. руб.

5. Создан проблемно-ориентированный программный комплекс для оптимизации производства аграрной продукции с оценкой рисков в условиях проявления редких природных явлений, техногенных событий и совмещений природных и техногенных событий.

Разработанное программное обеспечение структурно подразделяется на два блока. Первый блок посвящен статистической обработке данных: 1) статистическая оценка редких природных явлений с учетом и без учета исторических свидетельств с использованием методов моментов и приближенно максимального правдоподобия; 2) статистическая оценка потоков событий; 3) оценка связей между числом событий и наименьшими значениями в рамках моделируемых эпох; 4) описание тенденций изменения событий и их серий с помощью различных математических функций; 5) определение зависимостей редких событий от факторов 6) пространственно-временная оценка.

Второй блок программного обеспечения позволяет решать разработанные задачи математического программирования, описанные в положениях, как общие, так и частные случаи, и определять страховые возмещения. Для решения задач использованы предложенные алгоритмы оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с использованием метода статистических испытаний для задач с интервальными и случайными параметрами.

Интерфейс программного комплекса включает пункты меню: 1) «Файл» - сохранение, экспорт данных; 2) «База данных» - добавление, обновление и удаление данных, просмотр; 3) «Анализ» - статистический анализ данных с использованием метода моментов и приближенно максимального правдоподобия с учетом и без историко-архивных свидетельств, выделение из ряда многолетних наблюдений редкого явления и событий, пространственно-временная оценка событий, оценка серий событий в различные эпохи с построением регрессионной зависимости, подбор закона распределения вероятности случайной величины, выделение редкого сочетания событий; 4) «Оптимизация» - решение задач математического программирования для получения оптимальных планов производства продовольственной продукции с учетом влияния природных и техногенных событий и определения страховых возмещений, используя оценку блока «Анализ».

Реализация интерфейса программного комплекса и методов математической статистики осуществлялась при помощи интегрированной среды разработки Delphi XE3. База данных реализована в СУБД Microsoft SQL Server 2005 Express Edition. Она состоит из сущностей, определенных в пять групп, включающих в себя природные, техногенные и производственно-экономические данные. Особенностью программного обеспечения является возможность комплексной обработки событий, оценки редких значений, серий событий, их связей, определение редкого сочетания природных и техногенных событий. Кроме того, полученные разработки в зависимости от особенностей параметров позволяют моделировать различные ситуации производства сельскохозяйственной продукции в условиях неблагоприятной внешней среды.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе исследованы редкие природные явления как составляющие последовательностей событий за историческое прошлое (минимальные и максимальные температуры воздуха, наибольшие расходы воды дождевых паводков и весенних половодий, максимальные суточные осадки, засухи) и техногенные аварии за последний 20-летний период.

Предложены алгоритмы оценки редких природных событий в виде многократного моделирования экстремальных значений рядов за исторический период и определения периодов превышения фактического редкого явления.

Оценены повторяемости максимальных серий природных событий и связи потоков событий и экстремальных явлений, соответствующих периодам оценки серий событий.

Выявлены особенности пространственно-временной изменчивости отдельных природных событий и их совместного проявления и построены зависимости редких природных событий от факторов.

Разработаны и реализованы модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с оценкой страховых возмещений в условиях проявления редкого природного явления разного происхождения с учетом рассеяния его значений и вероятностей согласно предложенным алгоритмам моделирования события в пределах исторического прошлого и по условию превышения фактического значения.

Предложены модели получения оптимальных планов производства продукции с учетом техногенных последствий и их совмещения с природными событиями и определения на их основе природных, техногенных рисков и страховых возмещений.

Разработана и реализована модель оптимизации параметров производства сельскохозяйственной продукции с оценкой страховых возмещений для редкого совмещения природных событий различного происхождения с использованием алгоритмов решения задачи на основе имитационного моделирования.

Создан проблемно-ориентированный программный комплекс моделирования влияния природных событий и техногенных последствий для оптимизации производства и оценки страховых выплат.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных
ВАК Минобрнауки РФ

1. Петрова С.А. О модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции со случайными параметрами с учетом редких гидрологических событий / С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». – Иркутск: ИрГСХА, 2013. – Вып. 55. – 2013. – С. 147-154.
2. Петрова С.А. Оценка редких гидрологических явлений в задаче определения ущербов аграрному производству / А.Ю. Белякова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Научно-практический журнал «Вестник КрасГАУ». – Красноярск: КрасГАУ, 2014. – №11. – 2014. – С. 79-86.
3. Петрова С.А. Об особенностях редких природных явлений, формирующихся на территории юга Восточной Сибири / Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». – Иркутск: ИрГСХА, 2014. – Вып. 60. – 2014. – С. 141-148.
4. Петрова С.А. О модели оптимизации производства продовольственной продукции с учетом сочетания природного события и техногенных последствий / Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Научный журнал «Вестник Иркутского государственного технического университета». – Иркутск: ИрГТУ, 2014. – №9. – 2014. – С. 29-33.
5. Петрова С.А. Тенденции изменчивости природных событий юга Восточной Сибири / А.Ю. Белякова, Е. В. Вашукевич, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Научный журнал «Вестник Иркутского государственного технического университета». – Иркутск: ИрГТУ, 2014. – №10. – 2014. – С. 80-85.

В других изданиях

6. Петрова С.А. Природные и техногенные события на территории Иркутской области / С.А. Петрова // Научные достижения производству: Материалы научно-практической конференции молодых ученых с международным участием – Иркутск: ИрГСХА, 2011. – С. 280-285.

7. Петрова С.А. 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 региональной научно-практической конференции молодых ученых вузов Сибирского федерального округа – Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2011. – С. 240-243.
8. Петрова С.А. Редкие природные и техногенные явления и их влияние на производство / С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Труды XVI Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. – Т.1. Ч.1. – С. 238-244.
9. Петрова С.А. Статистический анализ редких природных событий на территории Иркутской области / С.А. Петрова // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых (19-20 апреля 2012 г.) – Иркутск: ИрГСХА, 2012. – С. 444-448.
10. Петрова С.А. Об информации о редких природных явлениях / С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Труды XVII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. – Т.2. Ч.2. – С. 116-123.
11. Петрова С.А. Моделирование производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления редких природных событий // Сборник научных трудов по материалам III этапа Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России (номинации «Менеджмент», «Экономика», «Экономические науки»). – Ярославль: ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2012. – С. 138-143.
12. Петрова С.А. О двух алгоритмах оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом оценок редких природных событий / С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Научно-практический и информационно-аналитический журнал «Экологический вестник». – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2013. – №2 (24). – С. 91-97.
13. Петрова С.А. О некоторых задачах оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления редких гидрологических событий / С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Труды XVIII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2013. – Т.2. Ч.2. – С. 212-219.
14. Петрова С.А. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири / М.Н. Астафьева, С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Сахаровские чтения 2013 г.: экологические проблемы XXI века: тезисы докладов 13-й международной научной конференции (16-17 мая 2013 г., г. Минск). – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2013. – С. 263-264.
15. Петрова С.А. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических и производственных параметров на юге Восточной Сибири / М.Н. Астафьева, С.А. Петрова, Я.М. Иванько // Научно-практический и информационно-аналитический журнал «Экологический вестник». – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2013. – №3 (25). – С.13-17.
16. Петрова С.А. Модели оптимизации сочетания отраслей аграрного производства с учетом изменчивости трудовых ресурсов / Ж.И. Городовская, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Сб. статей III международной научно-практической конференции (27-29 мая 2014 г.). – Иркутск: ИрГСХА, 2014. – Ч.2 – С. 23-30.
17. Петрова С.А. Об одной модели производства сельскохозяйственной продукции в условиях техногенных загрязнений и проявления природных событий / С.А. Петрова // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых (28-29 апреля 2014 г.) – Иркутск: ИрГСХА, 2014. – С. 44-48.
18. Петрова С.А. Оптимизация производства аграрной продукции с оценкой страховых возмещений в условиях проявления природных событий / С.А. Петрова // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне и 100-летию со Дня рождения А.А. Ежевского (15-16 апреля 2015 года) – Иркутск: Издательство ИрГАУ, 2015. – С. 62-69.

Лицензия на издательскую деятельность ЛР №070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 24 апреля 2015 г. Объем 1,0 печ. л. Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный