

ОЦЕНКА РЕДКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБОВ АГРАРНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

В статье предложены алгоритмы решения задач оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с использованием метода Монте-Карло на основе оценки редких явлений и редкого сочетания событий с учетом их рассеяния.

Ключевые слова: редкое гидрологическое событие, редкое сочетание событий, метод Монте-Карло, математическое моделирование, сельское хозяйство, ущерб.

Ya.M. Ivanyo, A.Yu. Belyakova, S.A. Petrova

ASSESSMENT OF THE RARE HYDROLOGICAL PHENOMENA IN THE TASK OF DETERMINATION OF DAMAGE TO THE AGRICULTURAL PRODUCTION

The algorithms for the solution of the tasks for the agricultural product manufacturing optimization with the Monte-Carlo method use on the basis of the rare phenomena assessment and the event rare combination taking into account their dispersion are offered in the article.

Key words: rare hydrological event, event rare combination, Monte-Carlo method, mathematic modeling, agriculture, damage.

Введение. Гидрологические события в значительной степени влияют на производство сельскохозяйственной продукции. По данным [1], 27 % ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству климатическими явлениями, приходится на дождевые паводки и весенние половодья. Из них наиболее значительными являются потери, связанные с воздействием редких событий на хозяйственную деятельность человека.

Например, при катастрофическом паводке 1934 г. на р. Лене (Качуг) были повреждены многие жилые постройки и промышленные сооружения, испорчен тракт, разрушены подъездные пути к пристани, готовые карбасы унесены водой. Погибла часть грузов для снабжения севера, другая была разбросана по берегам и островам р. Лены. Имелись человеческие жертвы [3].

За последние 80 лет на территории Иркутской области сформировались семь редких дождевых паводков (табл. 1), подтверждающих факт регулярных сильных гидрологических возмущений на реках региона. Поэтому актуальной является оценка редких событий, влияющих на ущербы, наносимые экономике региона, для планирования производства в экстремальных условиях.

Таблица 1

Информация о редких гидрологических явлениях летнего периода на территории Иркутской области

Река-пункт	F , км ²	Год редкого события по историческим свидетельствам (N)	Год редкого события за инструментальный период наблюдений (n)	Наибольший $Q_{max}^{таx}$ за период наблюдений, м ³ /с
Лена-Качуг	17400	1885	1934	2090
Белая-Мишелевка	16400	1870	1952	6060
Иркут-Иркутск	14800	1877	1971	4800
Ия-Тулун	14500	1870	1984	4400
Бирюса-Бирюсинск	24700	1912	1960	4720
Китой-Китой	8420	1877	2001	3610
Уда-Укар	17200	1870	1996	5900

Согласно [4], редкое явление является наибольшим событием из ряда последовательности за исторический период. Такое определение предполагает изучение редкого события как самостоятельного явления и как части последовательности гидрологических событий.

В частности, практически для всех рек, на которых имели место редкие дождевые паводки, наибольшие по рангу значения максимального расхода воды значительно выше вторых по значимости величин [2].

Многие исследователи подчеркивают [6, 7], что наибольшие максимальные расходы воды обладают особенностями. Редкое явление, как впрочем и остальные значения выборки, обладает вероятностным распределением. В работе [5] приведены два алгоритма моделирования редкого явления и его вероятности на основе фактических данных. Кроме того, разработаны алгоритмы решения задачи оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом одного редкого явления и редкого сочетания высоких максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевого паводка [5].

Согласно первому алгоритму, моделируется m рядов значений максимальных расходов воды длиной N . Из них выбирается наибольшее значение и соответствующая ему вероятность по заданному закону распределения. Затем смоделированные значения наибольших максимальных расходов воды используются для решения задачи математического программирования. Использование данного алгоритма позволяет получать как погрешность максимального расхода воды, так и его вероятности.

По второму алгоритму методом Монте-Карло моделируется выборка значений максимального стока на основе условия $(Q_{max_i} \geq Q_{max}^{max})$, где Q_{max_i} – значение ряда, соответствующее заданному закону распределения. Из моделируемых выборок выделяются два наибольших значения максимальных расходов воды и соответствующие им вероятности по заданному закону распределения. По этим данным методом интерполяции рассчитываются вероятности фактического значения максимального расхода воды. В этом случае определяется распределение вероятностей фактического редкого максимального расхода воды.

Помимо учета редкого явления, научно-практическое значение имеет исследование редкого сочетания генетически различных гидрологических событий. Эти события в сумме могут наносить ущерб экономике, сопоставимый с потерями от одного редкого явления.

Цель исследований. Создание модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом редкого сочетания гидрологических событий и построение алгоритма решения задачи математического программирования с учетом рассеяния природных параметров модели.

Методика и результаты исследований. Для достижения цели были использованы методы имитационного моделирования, математического программирования и теории вероятностей, математической статистики.

Рассматривается модель оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом влияния паводков и половодий на правые части ограничений.

Алгоритмы моделирования производства сельскохозяйственной продукции с учетом редкого сочетания гидрологических событий. При учете редкого сочетания событий различного происхождения алгоритм реализации модели оптимизации производства аналогичен алгоритмам решения задач математического программирования с учетом одного редкого явления.

Приведем алгоритмы моделирования производства сельскохозяйственной продукции с учетом редкого сочетания гидрологических событий. Реализация модели осуществлялась на минимум затрат.

Согласно *первому алгоритму* (рис. 1), сначала по наименьшей сумме вероятностей согласно правилу сложения вероятностей отдельных явлений различного происхождения (ζ) выделяется редкое сочетание событий, после чего методом Монте-Карло моделируются значения k видов явлений различного происхождения по заданным законам распределения. На следующем этапе согласно рангу фактического значения в ранжированном ряду выделяется максимальный расход воды $Q_{max_{j_k}}^{\beta}$ и соответствующие ему вероятности $p_{j_k}^{\beta}$. Затем между ними строится зависимость. На основании предварительно построенной связи площади затопления сельскохозяйственных угодий от расходов воды ($B = f(Q_{max})$) определяются затопляемые территории сельскохозяйственных угодий, которые учитываются в правых частях ограничений, и решается задача математического программирования с учетом проявления конкретного вида события. В конечном итоге определяются потери.

Задача математического программирования решается для каждого гидрологического явления в отдельности, найденные ущербы суммируются и определяются соответствующие им суммарные ζ . Потери при этом получают в некотором диапазоне, зависящем от рассеяния ζ .

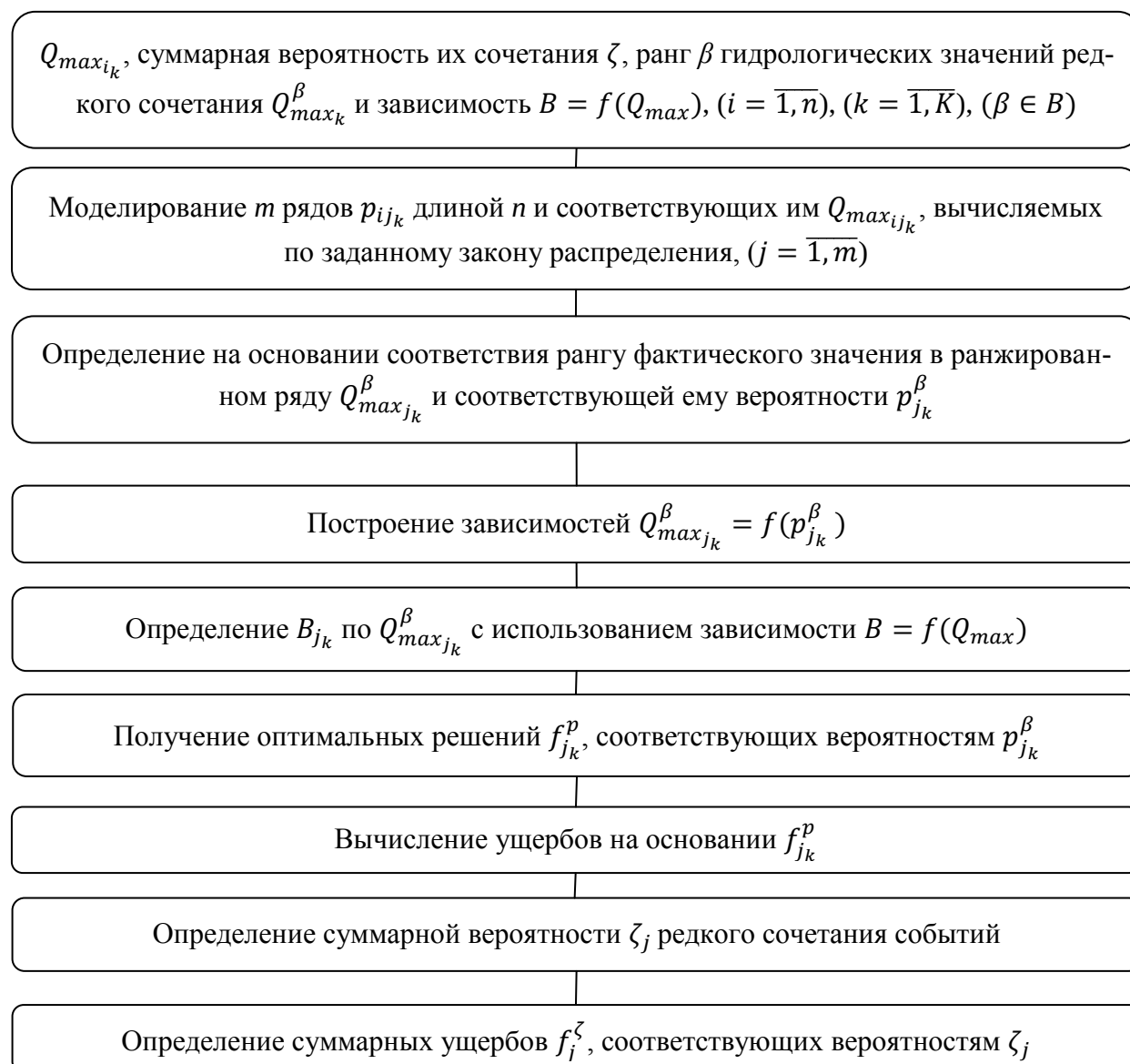


Рис. 1. Алгоритм получения оптимальных планов производства сельскохозяйственной продукции с учетом редкого сочетания гидрологических событий с использованием метода Монте-Карло

Очевидно, что результаты моделирования во многом зависят от ранга β , занимаемого в ранжированных рядах гидрологическими событиями редкого сочетания, точность которых определяется объемами выборки.

При моделировании производства по условию превышения фактического значения ($Q_{max_{ijk}} \geq Q_{max_{i_k}}$) получают рассеяние суммарной вероятности ζ . Согласно второму алгоритму, задача оптимизации решается для k гидрологических событий. Другими словами, определяются оптимальные решения k задач. Затем вычисляется общий ущерб, соответствующий вероятности ζ как суммы частных вероятностей (рис. 2).

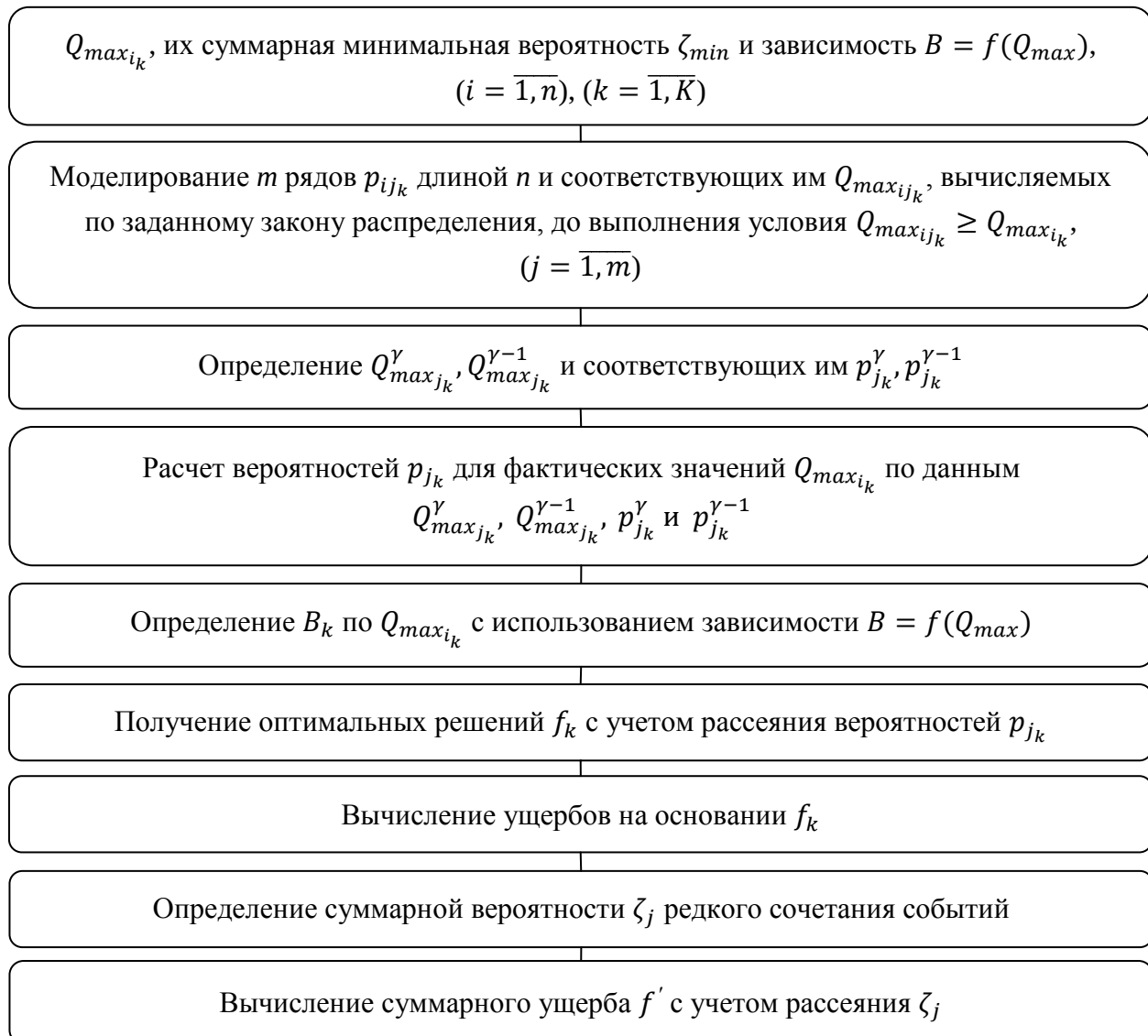


Рис. 2. Алгоритм определения оптимальных планов производства сельскохозяйственной продукции с учетом редкого сочетания гидрологических событий на основе определения вероятности его проявления методом статистических испытаний по заданному закону распределения согласно условию $Q_{max_{ij_k}} \geq Q_{max_{i_k}}$

В отличие от первого алгоритма, здесь фактические максимальные расходы воды являются неизменными, а вероятности характеризуются рассеянием, оценка которых связана с числом экспериментов m и продолжительностью выборок. Результаты решения задачи представляют собой оптимальные значения целевой функции f' , соответствующие суммарным вероятностям ζ_j .

Согласно приведенным алгоритмам определена оценка первого и второго по значению дождевого паводка на р. Бирюсе (Бирюсинск) и решена задача математического программирования с учетом этих явлений (табл. 2).

Таблица 2

Результаты решения задачи математического программирования для ООО «Талинка» с учетом одного редкого дождевого паводка на р. Бирюсе (Бирюсинск) по первому и второму алгоритму

$Q_{\max}$ фактическое, $\text{м}^3/\text{с}$	σ_Q , $\text{м}^3/\text{с}$	$p_{0,05}$	$p_{0,95}$	Размах p	Ущерб, млн руб.	Ущерб по сравнению с благоприятной ситуацией, %	Возделываемые площади в сравнении с благоприятной ситуацией, %
<i>Первый алгоритм</i>							
4720	660	0,000266	0,0315	0,0463	2,151 - 4,687	46-100	0-57
3490	523	0,00916	0,0590	0,0473	0,735-4,687	15-100	0-71
<i>Второй алгоритм</i>							
3490	-	0,0289	0,0389	0,0126	3,375	72	31

В качестве распределения гидрологических рядов использован биномиальный закон с определением статистических параметров методом моментов. Оптимизация с применением алгоритма, построенного на основании условия превышения фактического значения, проводилась для второго по величине исторического максимума, потому что при наступлении редкого явления (первого по величине значения гидрологического ряда) все сельскохозяйственные угодья предприятия будут затоплены. Реализация модели осуществлена для реального сельскохозяйственного объекта, расчеты целевой функции в виде минимума затрат для которого при благоприятных условиях ведения хозяйства составили 4,687 млн руб.

Согласно данным табл. 2, параметры $Q_{\max}$ и p обладают погрешностью. Как следствие этого, варьируют площади затопляемых территорий и ущербы, причиняемые паводком. При этом за счет изменения структуры посевов можно уменьшать затраты на производство в условиях проявления редких явлений.

Кроме того, для ООО «Талинка» решена задача оптимизации производства с учетом редкого сочетания дождевого паводка и весеннего половодья, имевшего место на р. Бирюсе (Бирюсинск) в 1988 г. (табл. 3).

Таблица 3

Результаты решения задачи математического программирования для ООО «Талинка» с учетом редкого сочетания весеннего половодья и дождевого паводка на р. Бирюсе (Бирюсинск) по первому и второму алгоритму

Явление	$Q_{\max}$ факт, м³/с	$Q_{0,05}$, м³/с	$Q_{0,95}$, м³/с	σ_Q , м³/с	ζ	$\zeta'_{0,05}$	$\zeta'_{0,95}$	σ_p	Ущерб, млн руб.	Возделыва- емые площади по сравнению с благопри- ятной ситуа- цией, %
Первый алгоритм										
Весеннее половодье	2690	2550	3350	242	0,0748	0,0918	0,0171	0,0205	3,59- 8,42	23-100
Дождевой паводок	3490	3140	4880	523						0-55
Второй алгоритм										
Весеннее половодье	2690	-	-	-	0,0748	0,0891	0,0748	0,00444	3,99	71
Дождевой паводок	3490	-	-	-						31

По результатам моделирования на основе первого алгоритма имеет место значительное рассеяние ущербов и вероятностей относительно значений, соответствующих наблюдаемым максимальным расходам воды.

Кроме того, по предложенным алгоритмам [5] осуществлена оценка трех наибольших по величине дождевых паводков, сформировавшихся на р. Иркут (Иркутск) (табл. 4–5). В качестве вероятностного закона использовано распределение Пирсона 3-го типа. При этом статистические параметры ряда определены методом моментов.

Таблица 4

Оценка распределений вероятностей для трех наибольших расходов воды дождевых паводков на р. Иркут (Иркутск)

$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	p расчетное	$\bar{p}$	σ_p	C_v	C_s/C_v	$p_{0,05}$	$p_{0,95}$	Размах p
<i>Первый алгоритм</i>								
4800	0,00222	0,00773	0,000564	0,85	1,84	0,000830	0,0208	0,0389
3300	0,0181	0,0142	0,0102	0,72	1,58	0,00211	0,0370	0,0474
2780	0,0378	0,0237	0,0149	0,63	1,79	0,00682	0,0546	0,0739
<i>Второй алгоритм</i>								
4800	0,00222	0,00300	0,000150	0,58	3,79	0,00197	0,00746	0,00778
3300	0,0181	0,0182	0,000887	0,049	-	0,0178	0,0199	0,00494
2780	0,0378	0,0382	0,00132	0,034	-	0,0375	0,0409	0,0102

На основе полученных результатов по первому алгоритму с уменьшением значения события в ранжированном ряду уменьшается рассеяние его вероятности p согласно коэффициентам вариации C_v . При моделировании по второму алгоритму наблюдается снижение коэффициента вариации и интервала рассеяния p относительно фактического значения с уменьшением ранга события. Асимметричность рядов вероятностей при моделировании по первому и второму алгоритму отличается более чем в 1,5 раза.

Таблица 5

Оценка распределений трех наибольших максимальных расходов дождевых паводков на р. Иркут (Иркутск) по первому алгоритму

Год	$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	$\bar{Q}_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	$\sigma_Q, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	C_s/C_v	$Q_5, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{95}, \text{м}^3/\text{с}$	Размах $Q, \text{м}^3/\text{с}$
1971	4800	4178	742	0,18	4,9	3200	5212	3706
2001	3300	3667	662	0,18	6,7	2788	4778	3631
1917	2780	3221	449	0,14	4,5	2546	4050	2449

В таблице 5 приведены стандартные ошибки максимальных расходов воды, которые колеблются от 15 до 20 % относительно фактических $Q_{\max}$. Коэффициенты вариации не превышают 0,18. При этом можно сравнить степень уменьшения рассеяния для распределений максимальных расходов воды.

Заключение. Смоделированные по алгоритмам наибольшие максимальные расходы воды и их вероятности имеют значение для оценки ущербов, наносимых сельскохозяйственному предприятию гидрологическими явлениями. Полученные результаты на основе имитационного моделирования позволяют уменьшить потери путем изменения структуры посевов.

Приведенные алгоритмы могут быть полезными при определении рисков, связанных со страхованием сельскохозяйственного производства, где используются вероятности наступления опасного явления и величины убытков.

Значение ущерба связано с величиной гидрологического явления и структурой посевов. При редком явлении затопливаются большие территории по сравнению с другими событиями. При этом в зоны затопления могут попадать объекты инфраструктуры, жилые и хозяйственные постройки, земли сельскохозяйственного назначения, ущербы для которых оцениваются дополнительно.

Кроме оценки влияния редкого гидрологического явления на процессы получения продукции, научно-практическое значение имеет решение задачи планирования производства в условиях редкого сочетания событий, позволяющее смягчить ущербы за счет выбора оптимальных планов.

Литература

1. *Вашукевич Е.В., Иваньо Я.М.* Математические модели аграрного производства с вероятностными характеристиками засух и гидрологических событий. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. – 150 с.
2. *Иваньо Я.М.* Моделирование притока в Братское водохранилище в периоды формирования дождевых паводков // Пути решения водных проблем Прибайкалья и Забайкалья: тр. ВСО Академии проблем водохозяйственных наук. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2002. – Вып. 1. – С. 28–41.
3. *Иваньо Я.М., Петрова С.А.* Об информации о редких природных явлениях // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тр. XVII Байкал. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. – Т. 2. – Ч. 2. – С. 116–123.
4. *Иваньо Я.М.* Экстремальные природные явления: методология, моделирование и прогнозирование. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2007. – 266 с.
5. *Петрова С.А.* Моделирование производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления редких природных событий // Сб. науч. тр. по мат-лам III этапа Всерос. 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.
6. *Рождественский А.В.* Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 270 с.
7. *Сотникова Л.Ф.* К исследованию приемов вероятностного расчета максимальных расходов воды // Изучаване и оптимално използване наводните ресурси. – София, 1981. – С. 77–101.

