

УДК 519.23:574.34:632.727:631.559

DOI:10.25729/ESI.2024.35.3.014

Параметрическая оптимизация производства аграрной продукции в условиях влияния на урожай саранчовых вредителей

Иваньо Ярослав Михайлович, Колокольцева Ирина Михайловна

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Россия, Иркутск, iasa_econ@rambler.ru

Аннотация. Для решения задач оптимизации производственных объёмов растениеводческой продукции с учетом влияния на урожай саранчовых вредителей разработана модель параметрического программирования с вероятностными характеристиками. В качестве параметров определены температуры воздуха и осадки в начальный период вегетации, влияющие на численность саранчовых вредителей. Выделены три варианта математической модели: отсутствие влияния саранчовых на доход сельскохозяйственной организации; различное влияние саранчовых на экономический показатель; максимально возможное влияние вредителей с вероятностной оценкой ситуации. Предложены алгоритмы решения экстремальных задач. Модели и алгоритмы апробированы на данных сельскохозяйственной организации ЗАО «Иркутские семена» Иркутского района.

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, факторная модель, саранчовые вредители, аграрная продукция, потери, метод статистических испытаний

Цитирование: Иваньо Я.М. Параметрическая оптимизация производства аграрной продукции в условиях влияния на урожай саранчовых вредителей / Я.М. Иваньо, И.М. Колокольцева // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024. – № 3(35). – С.157-166. – DOI: 10.25729/ESI.2024.35.3.014.

Введение. На урожай сельскохозяйственных культур влияет большое количество факторов: метеорологические (температура, осадки и др.), длительные бездождевые периоды, заморозки и т.д. Помимо этих явлений, риски значительных потерь могут быть связаны с биологическими событиями, одним из которых является нашествие вредителей. Поэтому теоретическую и практическую значимость имеют модели оптимизации с учётом потерь, вызванных вредителями. Особо следует выделить саранчовых вредителей, которые в наибольшей степени влияют на потери урожая, прежде всего, кормовых культур [1, 2].

Целью работы является разработка модели параметрического программирования для оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учетом влияния на урожай саранчовых вредителей.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) разработка моделей для оценки влияния метеорологических факторов на численность саранчовых вредителей и урожайность сельскохозяйственных культур;
- 2) построение модели параметрического программирования для оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учетом влияния на урожай саранчовых вредителей применительно к реальному объекту.

Методы и материалы. Для решения поставленных задач использованы методы теории вероятностей и математической статистики, параметрическое программирование.

В работе проведен корреляционно-регрессионный анализ [3] по данным о численности личинок саранчовых вредителей (экз./м²) и метеорологических факторах (температуры воздуха и осадков) за 2017-2023 гг. на примере муниципальных районов Иркутской области, а также зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от численности личинок саранчовых вредителей.

Для оценки влияния саранчовых вредителей на урожайность разработан алгоритм с использованием метода Монте-Карло, который широко применяется для решения разных задач [4, 5], в том числе в сельском хозяйстве [6, 7, 8].

Сведения о численности вредителей сельскохозяйственных культур на территории Иркутской области получены по данным фитосанитарного мониторинга посевов сельскохозяйственных культур, проведённого специалистами ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» за период 2017-2023 гг. [9-15].

В качестве исходной информации для оценки влияния вредителей на сельскохозяйственные растения на территории Иркутской области использованы многолетние ряды среднесуточных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и осадков (мм) за вегетационный период, полученные из фондов ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Сведения по урожайности сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Иркутской области получены по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области.

Для апробации разработанной модели использованы данные бухгалтерских отчётов ЗАО «Иркутские семена».

Основные результаты. Численность саранчовых зависит от таких факторов, как температура воздуха и осадки [16]. Пространственный анализ показывает, что метеорологические факторы на разных территориях Иркутской области влияют одинаково на результативный признак – прослеживается прямая зависимость от температуры и обратная – от осадков за июнь. Согласно регрессионному анализу, выявлены зависимости между численностью личинок саранчовых (экз./м²) y_i и факторами – средней месячной температурой воздуха T_i и суммой осадков x_i за этот же месяц. Для других месяцев вегетационного периода значимых регрессионных выражений не выявлено.

Для шести районов из восьми получены значимые регрессионные выражения, характеризующие связь результативного признака и метеорологических факторов за июнь [16]. Исключение составляют Иркутский и Черемховский районы. Здесь коэффициенты детерминации находятся ниже 0,50 (таблица 1).

В Тайшетском районе основным фактором, влияющим на численность саранчовых, являются суммы осадков за июль, хотя и для июня имеет место удовлетворительная связь. Между тем влияние саранчовых в этом районе на урожайность сельскохозяйственных культур ниже экономического порога вредоносности (ЭПВ) [17], поэтому полученное выражение не имеет смысла применять на практике.

Саранчовые вредители, как правило, повреждают все овощные, зерновые, пропашные и многие другие культуры [18, 19], но наибольшую опасность они причиняют сенокосам и пастбищам.

При наличии значимых регрессионных выражений, описывающих зависимости урожайности от численности вредителей, для решения задач по оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учетом влияния на урожай саранчовых вредителей [1] можно использовать задачу параметрического программирования с вероятностными характеристиками. В этой задаче параметром является численность саранчовых, которая зависит от температуры воздуха и осадков в начальный период вегетации.

В этой задаче целевая функция описывает максимум дохода сельскохозяйственной организации:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s \rightarrow \max, \quad (1)$$

Таблица 1. Регрессионные зависимости численности саранчовых от температур воздуха и сумм осадков за июнь в муниципальных районах Иркутской области по данным 2017-2023 гг. [16]

№ п.п.	Район	Выражение	R^2	F-критерий Фишера	Уровень значимости	t-статистика
1	Качугский	$y_t = 16,1T_t - 241,3$	0,80	20,00	0,0066	4,47
2	Тайшетский	$y_t = 3,77 - 0,0269x_t$	0,75	12,5	0,0239	-3,54
3	Заларинский	$y_t = 12,08T_t - 183,3$	0,56	6,41	0,0523	2,53
4	Черемховский	$y_t = 5,12T_t - 0,061x_t - 61,7$	0,38	1,25	0,378	1,03; -0,39
5	Иркутский	$y_t = 5,29T_t - 80,5$	0,33	2,51	0,174	1,59
6	Боханский	$y_t = 6,17T_t - 96,1$	0,81	21,8	0,0055	4,67
7	Нукутский	$y_t = 22,8 - 0,142x_t$	0,65	9,31	0,0284	-3,05
8	Эхирит-Булагатский	$y_t = -120,8 + 7,62T_t$	0,67	8,29	0,0450	2,88

Примечание* Численность личинок саранчовых связана с осадками за июль при условиях:

- ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} a_{ls} x_s \leq A_l, l \in L, \tag{2}$$

- ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_e \leq \sum_{s \in S} (1 + \beta_s) x_s \leq \bar{n}_e, e \in E, \tag{3}$$

- производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(y) x_s \geq V_q, q \in Q, \tag{4}$$

- определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms} x_s \leq B_m, m \in M, \tag{5}$$

- неотрицательности переменных

$$x_l \geq 0 \tag{6}$$

где x_s – искомая переменная, площадь сельскохозяйственной культуры s ; c_s – доход от производства единицы s -культуры; a_{ls} – расход ресурса l на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; L – множество ресурсов; A_l – наличие ресурса l -вида; V_q – гарантированный (обязательный объем) производства продукции вида q ; $\bar{n}_l, \underline{n}_l$ – максимальная и минимальная возможная площадь культур группы e ; E – множество групп культур; $v_{qs}(y)$ – выход товарной продукции q -вида с единицы площади культуры s ; Q – множество видов продукции; β_s – коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры s ; b_{ms} – расход удобрений видов m и средств защиты на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; B_m – необходимый объем удобрений вида m ; M – множество видов удобрений; y – параметр, характеризующий численность личинок саранчовых вредителей. При этом значение y изменяется в интервале $[\alpha, \gamma]$.

В этой модели:

$$v_{qs} = k_{0qs} + k_{1qs} y_{qs}, \tag{7}$$

где k_{0qs}, k_{1qs} – коэффициенты линейного уравнения регрессии.

С помощью модели (1) – (7) можно решить следующие задачи.

1. Влияние саранчовых вредителей на урожайность сельскохозяйственных культур практически отсутствует, товаропроизводители работают в усредненных условиях. Тогда неравенство (4) примет вид:

$$\sum_{s \in S} v_{qs} x_s \geq V_q, q \in Q. \quad (8)$$

2. Численность личинок саранчовых вредителей превышает экономический порог вредоносности (ЭПВ) [3]. В этом случае в модель (1) – (7) вводится дополнительное ограничение:

$$y_{qs} > \text{ЭПВ}. \quad (9)$$

3. Выделяется ситуация наибольшего влияния вредителей на урожайность сельскохозяйственных культур (наиболее благоприятные сочетания температур воздуха и осадков для роста численности личинок саранчовых вредителей). Для такой модели предлагается алгоритм вероятностной оценки редкого события.

Например, модель (1) – (9) реализована применительно к сельскохозяйственной организации ЗАО «Иркутские семена» Иркутского района (табл. 2), специализирующемся на производстве растениеводческой продукции.

В качестве переменных $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ рассмотрены площади производства сельскохозяйственных культур: пшеница, ячмень, овес, картофель, многолетние травы и рапс.

Исследования показали, что наибольшее влияние саранчовые вредители оказывают на урожай пшеницы и многолетних трав, поэтому в неравенстве (4) рассмотрены вероятные потери урожайности этих культур.

Моделировать численность саранчовых вредителей можно двумя способами при наличии границ интервала. В первом из них последовательно увеличивается значение y_{qs} от нижней до верхней оценки. Во втором случае используется метод статистических испытаний, случайным образом моделируется численность саранчовых вредителей в заданных интервалах. Таким образом, оптимальные решения определяются многократно в зависимости от численности саранчовых вредителей.

Применение метода статистических испытаний адекватно может отражать конкретную ситуацию, поскольку численность саранчовых вредителей изменяется непредсказуемо, как сочетание осадков и температур воздуха в начале вегетации. Первый же способ позволяет оценить разные ситуации, связанные с потерями доходов.

Выделены оптимальные планы, соответствующие усредненным условиям работы товаропроизводителей, наименьшему, наибольшему и медианному значению доходов, при условии превышения экономического порога вредоносности. Для получения результатов реализован алгоритм с использованием метода Монте-Карло.

Анализ результатов решения задачи показал снижение доходности по растениеводческой отрасли с учётом влияния саранчовых вредителей на 4,3% по сравнению с усредненными условиями, что соответствует 10,6 млн рублей. Потери объёмов производства составят 6,6% или 981 т, из которых 882 т приходится на пшеницу, 99 т – на многолетние травы.

В табл. 2 также приведены результаты моделирования редких событий, когда саранчовые вредители в значительной степени влияют на потери урожая. Для оценки редкого события (маловероятной численности саранчовых вредителей) использовалась линейная факторная зависимость:

$$y_t = -100,9 + 6,3T_t, \quad (10)$$

где T_t – средняя многолетняя суточная температура воздуха с 7 по 26 июня. Выражение (10) значимо для уровня значимости F -критерия Фишера 0,024.

Таблица 2. Результаты решения задачи параметрического программирования для ЗАО «Иркутские семена»

Показатель	Численность личинок, экз/м ²	Оптимальные планы						Целевая функция, млн руб.
		Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Многолетние травы	Рапс	
Усреднённые условия								
Площади, га	0,1	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	248,3
Урожайность, т/га		2100	486	100	560	76	10	
Объемы производства, т		2,23	1,90	1,70	16,00	2,00	0,70	
Неблагоприятные условия:								
Нижняя оценка								
Площади, га	81,2	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	237,7
Урожайность, т/га		2100	486	100	560	76	10	
Объемы производства, т		1,81	1,90	1,70	16,00	0,64	0,70	
Медиана								
Площади, га	37,8	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	243,5
Урожайность, т/га		2100	486	100	560	76	10	
Объемы производства, т		2,04	1,90	1,70	16,00	0,75	0,70	
Верхняя оценка								
Площади, га	10,1	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	247,0
Урожайность, т/га		2100	486	100	560	76	10	
Объемы производства, т		2,18	1,90	1,70	16,00	1,63	0,70	
Редкое событие								
Площади, га	120,0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	232,6
Урожайность, т/га		2100	486	100	560	76	10	
Объемы производства, т		1,61	1,90	1,70	16,00	1,89	0,70	
Объемы производства, т		3381	923	170	8960	144	7	

Моделирование ряда среднемесячных температур воздуха T_i осуществлялось с помощью закона распределения вероятностей Пирсона III типа [20, 21] со статистическими оценками, полученными по данным 1971-2023 гг. (среднее – 16,2°C, коэффициенты вариации и асимметрии – 0,11 и -0,18) (иллюстрируется на рисунке 1). По эмпирическим данным, наибольшее значение T_i наблюдалось в 2000 году и составило 19,9°C. Для этого значения температуры воздуха численность саранчовых с вероятностью 0,0346 соответствует 24,5 экз./м².

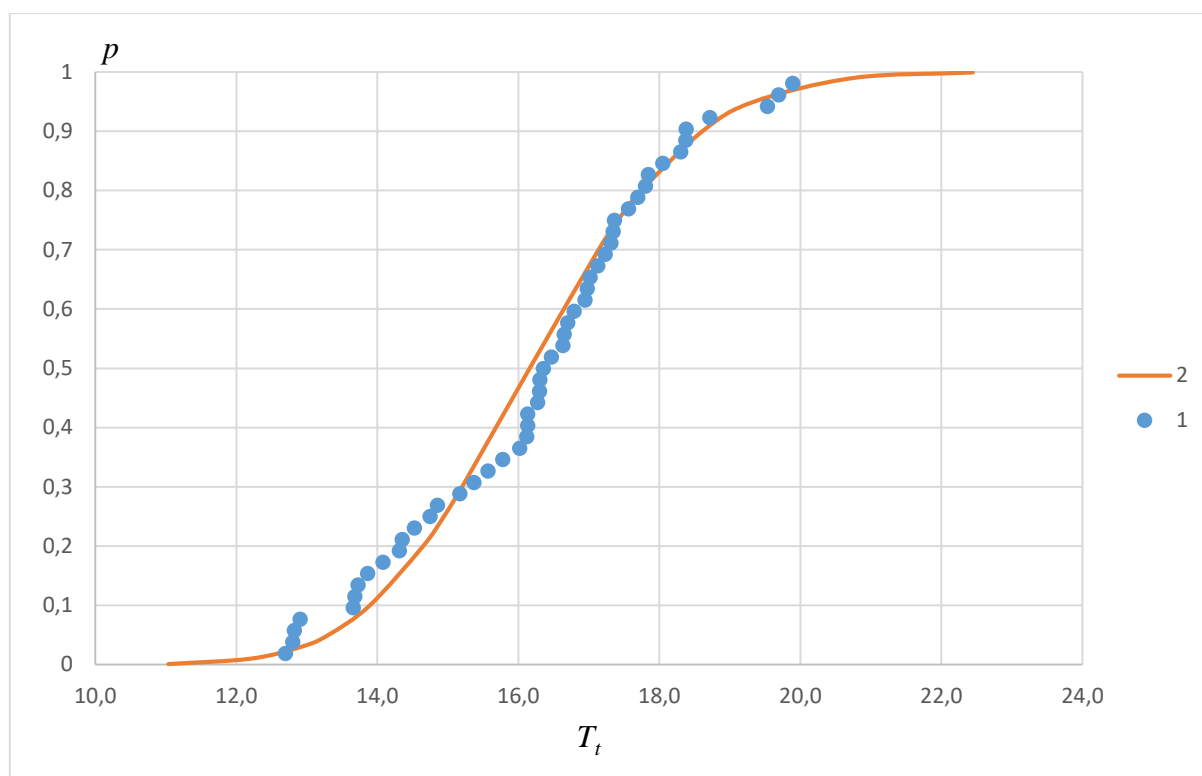


Рис. 1. Эмпирическая функция (1) и распределение Пирсона III типа (2) для средних многолетних температур воздуха с 7 по 26 июня по данным г. Иркутска за 1971-2023 гг.

Однако на некоторых участках заброшенных земель, пастбищах и отдельных хозяйствах, где не проводятся защитные и агротехнические мероприятия, численность вредителя значительно выше. По области за многолетний период зафиксирована численность саранчовых, превышающая 300 экз./м², а в Иркутском районе – 120 экз./м². Поэтому в данной работе смоделирована ситуация проявления редкого события – очень высокой численности вредителя.

Для оценки вероятности такого события с помощью псевдослучайных чисел многократно моделируется ряд численности вредителей в заданном интервале (10,0 – 120,0 экз./м²) до появления значения, которое соответствует фактическому редкому явлению (120 экз./м²). Определяется расчётная эмпирическая вероятность редкого события по формуле $p = t / (n + 1)$, где t – порядковый номер, n – объём выборки [20]. Эксперименты повторяются с моделированием k выборок. Моделирование k выборок позволяет получить такое же количество вероятностей появления редкого события. Чем большее число выборок моделируется, тем точнее статистические оценки вероятностей при условии стационарности изменчивости событий. Среднее значение k вероятностей p_c характеризует формирование редкого события. Для конкретного случая вероятность p_c при $k = 100$ равна 0,0153.

Для редкого события применительно к ЗАО «Иркутские семена» рассчитано возможное снижение дохода на 6,3 % по сравнению с усреднёнными условиями, что соответствует 15,7 млн рублей.

Заключение. Предложена модель параметрического программирования с параметром в виде численности саранчовых вредителей, который зависит от метеорологических факторов – средней температуры воздуха и осадков в начальный период вегетации. Определены значимые линейные зависимости урожайности зерновых и многолетних трав от численности личинок саранчовых вредителей.

Выделены три варианта математической модели: отсутствие влияния вредителей (задача линейного программирования); численность саранчовых вредителей выше экономического

порога вредоносности (параметрическая задача с интервальными оценками); наиболее неблагоприятные условия получения продукции (модель с вероятностной оценкой редкого события). Приведен алгоритм оценки маловероятной численности саранчовых вредителей и условий её проявления.

Модели и алгоритмы реализованы для ЗАО «Иркутские семена» Иркутского района с оценкой вероятных потерь дохода и продукции от саранчовых вредителей.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-21-00502.

Список источников

1. Барсукова М.Н. О некоторых моделях оптимизации производства растениеводческой продукции в условиях биологических рисков / М.Н. Барсукова, Я.М. Иванько, И.М. Колокольцева // Моделирование систем и процессов, 2022. – Т. 15. – № 4. – С. 17-23. – DOI:10.12737/2219-0767-2022-15-4-17-23. – EDN NBGJHS.
2. Иванько Я.М. Моделирование аграрного производства в условиях влияния климатических, экологических и биологических событий / Я.М. Иванько, И.М. Колокольцева, С.А. Петрова // System analysis and mathematical modeling, 2023. – Т. 5. – № 4. – С. 442-456. – DOI:10.17150/2713-1734.2023.5(4).442-456. – EDN XPFQBV.
3. Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов / Э. Ферстер, Б. Ренц; Пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. – Москва: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
4. Robert C.P., George C. Monte Carlo statistical methods. Springer texts in statistics, 2005, DOI:10.1007/978-1-4757-4145-2.
5. Фалин Г.И. Анализ рисков с помощью метода Монте-Карло. / Г.И. Фалин // Управление риском, 2017. – № 1. – 20 с.
6. Buzina T.S., Belyakova A.Yu., Ivanyo Ya.M. Method of statistical tests in solving problems of food production management. IOP Conference series: Earth and environmental science. Krasnoyarsk, IOP Publishing Ltd, 2021, vol. 839, p. 32051, DOI:10.1088/1755-1315/839/3/032051, EDN KYPGSP.
7. Иванько Я.М. Метод статистических испытаний в моделировании урожайности зерновых культур в зависимости от метеорологических факторов / Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских», посвященной 85-летию Иркутского ГАУ, Иркутск, 26-27 сентября 2019 года. – Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2019. – С. 174-179. – EDN PBMТMT.
8. Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации / Я.М. Иванько, П.Г. Асалханов, М.Н. Полковская и др. // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ФГБОУ ВПО Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – Иркутск: Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. – 200 с. – ISBN 978-5-91777-085-7. – EDN BPAABQ.
9. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2017 году и прогноз развития вредных объектов в 2018 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2018.– М..
10. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2018 году и прогноз развития вредных объектов в 2019 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2019 – М..
11. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2019 году и прогноз развития вредных объектов в 2020 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2020. – М..
12. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2020 году и прогноз развития вредных объектов в 2021 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2021. – М..
13. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2021 году и прогноз развития вредных объектов в 2022 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2022.– М..
14. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году и прогноз развития вредных объектов в 2023 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2023. – М., 2023.

15. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2023 году и прогноз развития вредных объектов в 2024 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области, 2024. – М..
16. Колокольцева И.М. Оценка влияния метеорологических факторов на численность саранчовых / И.М. Колокольцева, Я.М. Иваньо // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК». – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2024. – С.105-110.
17. Алехин В.Т. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник / В.Т. Алехин, В.В. Михайликова, Н.Г. Михина. – Москва: Росинформагротех, 2016.
18. Колокольцева И.М. Группирование вредителей и болезней сельскохозяйственных культур по влиянию на ущерб / И.М. Колокольцева, Я.М. Иваньо // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти Александра Александровича Ежевского, п. Молодежный, 16-17 ноября 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2023. – С. 553-559. – EDN WWOQLH.
19. Митюшев И.М. Вредители сельскохозяйственных растений / И. М. Митюшев // Научно-образовательный портал "Большая российская энциклопедия", 2023. – № 4. – DOI 10.54972/00000001_2023_4_33. – EDN DDMIBJ.
20. Крицкий С.Н. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
21. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Наука, 1985. – 640 с.; 21 см.

Иваньо Ярослав Михайлович. Доктор технических наук, профессор, проректор по цифровой трансформации, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, AuthorID: 106394, SPIN: 9654-8057, ORCID ID: 0000-0003-4118-7185, iasa_econ@rambler.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный.

Колокольцева Ирина Михайловна. Аспирант кафедры информатики и математического моделирования, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, AuthorID: 1109185, SPIN: 9426-2093, ORCID ID: 0009-0008-5653-1800, 89025190281@yandex.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный.

UDC 519.23:574.34:632.727:631.559

DOI:10.25729/ESI.2024.35.3.014

Parametric optimization of agricultural production under the influence of locust pests on the harvest

Yaroslav M. Ivanyo, Irina M. Kolokoltseva

Irkutsk state agricultural university named after A.A. Yezhevsky,
Russia, Irkutsk, *iasa_econ@rambler.ru*

Abstract. To solve the problems of optimizing the production volumes of crop production, taking into account the impact of locust pests on the harvest, a parametric programming model with probabilistic characteristics has been developed. Air temperatures and precipitation during the initial growing season, which affect the number of locust pests, were determined as parameters. Three variants of the mathematical model are distinguished: the absence of the influence of locusts on the income of an agricultural organization; the different influence of locusts on the economic indicator; the maximum possible impact of pests with a probabilistic assessment of the situation. Algorithms for solving extreme problems are proposed. The models and algorithms have been tested on the data of the agricultural organization CJSC Irkutsk Seeds of the Irkutsk region.

Keywords: parametric optimization, factor model, locust pests, agricultural products, losses, statistical testing method

References

1. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M., Kolokoltseva I.M. O nekotoryh modelyakh optimizacii proizvodstva rastenievodcheskoj produkcii v usloviyah biologicheskikh riskov [On some models of optimization of crop production in conditions of biological risks]. Modelirovanie sistem i processov [Modeling of systems and processes], 2022, vol. 15, no. 4, pp. 17-23, DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-17-23.
2. Ivanyo Ya.M., Kolokoltseva I.M., Petrova S.A. Modelirovaniye agrarnogo proizvodstva v usloviyakh vliyaniya klimaticheskikh, ekologicheskikh i biologicheskikh sobytii [Modeling of agricultural production under the influence of climatic, ecological and biological events]. System analysis and mathematical modeling [System analysis and mathematical modeling], 2023, vol. 5, no. 4, pp. 442-456, DOI:10.17150/2713-1734.2023.5(4).
3. Ferster E., Renz B. Metody korrelyacionnogo i regressionnogo analiza [Methods of correlation and regression analysis]. Finansy i statistika [Moscow, Finance and Statistics], 1983, 304 p.
4. Robert C.P., George C. Monte Carlo statistical methods. Springer texts in statistics, 2005, DOI:10.1007/978-1-4757-4145-2.
5. Falin G.I. Analiz riskov s pomoshch'yu metoda Monte-Karlo [Risk analysis using the Monte Carlo method]. Upravlenie riskom [Risk management], 2017, no. 1, 20 p.
6. Buzina T.S., Belyakova A.Yu., Ivanyo Ya.M. Method of statistical tests in solving problems of food production management. IOP Conference series: Earth and environmental science. Krasnoyarsk, IOP Publishing Ltd, 2021, vol. 839, p. 32051, DOI:10.1088/1755-1315/839/3/032051, EDN KYPGSP.
7. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Metod statisticheskikh ispytaniy v modelirovanii urozhajnosti zernovykh kul'tur v zavisimosti ot meteorologicheskikh faktorov [The method of statistical tests in modeling the yield of grain crops depending on meteorological factors]. Aktual'nye voprosy inzhenerno-tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo obespecheniya APK. Molodyozhnyj: Irkutskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni A.A. Ezhevskogo [Actual issues of engineering, technical and technological support of the agro-industrial complex: Proceedings of the VIII National scientific and practical conference with international participation "Readings of I.P. Terskikh", dedicated to the 85th anniversary of Irkutsk State Agrarian University, Irkutsk, September 26-27, 2019, Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky], 2019, pp. 174-179.
8. Ivanyo Ya.M., Asalkhanov P.G., Polkovskaya M.N. et al. Reshenie zadach upravleniya agrarnym proizvodstvom v usloviyah nepolnoj informacii [Solving problems of agricultural production management in conditions of incomplete information]. Irkutsk, Irkutskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya [Irkutsk, Irkutsk state agricultural academy], 2012, 200 p.
9. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2017 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2018 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian Federation in 2017 and forecast of the development of harmful objects in 2018]. Filial FGBU Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2018.
10. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2018 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2019 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian Federation in 2018 and forecast of the development of harmful objects in 2019]. Filial FGBU Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2019.
11. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2019 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2020 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian Federation in 2019 and forecast of the development of harmful objects in 2020]. Filial FGBU Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2020.
12. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2020 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2021 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian Federation in 2020 and forecast of the development of harmful objects in 2021]. Filial FGBU Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2021.
13. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2021 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2022 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian Federation in 2021 and forecast of the development of harmful objects in 2022]. Filial FGBU Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2022.
14. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2022 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2023 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian Federation in 2022 and forecast of the development of harmful objects in 2023]. Filial FGBU Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2023.
15. Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skohozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2023 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2024 godu. [Overview of the phytosanitary condition of crops in the Russian

- Federation in 2023 and forecast of the development of harmful objects in 2024]. Filial FGBU Rossijskij sel'skokhozyajstvennyj centr po Irkutskoj oblasti, 2024.
16. Kolokoltseva I.M., Ivanyo Ya.M. Ocenka vliyaniya meteorologicheskikh faktorov na chislennost' saranchovyh [Assessment of the influence of meteorological factors on the number of locusts]. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh "Nauchnye issledovaniya i razrabotki k vnedreniyu v APK". Molodezhnyj, Irkutskij GAU [Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists "Scientific research and development for implementation in the agro-industrial complex" – Youth, Publishing house of Irkutsk State Agrarian University], 2024, pp. 105-110.
 17. Alyokhin V.T., Mikhaylikova V.V., Mikhina N.G. Ekonomicheskiye porogi vredonosnosti vreditel'nykh i bolezney i sornykh rasteniy v posevakh sel'skokhozyaystvennykh kultur: spravochnik [Economic thresholds of harmfulness of pests, diseases and weeds in crops: handbook]. Rosinformagrotekh, 2016.
 18. Kolokoltseva I.M., Ivanyo Ya.M. Gruppyrovaniye vreditel'nykh i bolezney sel'skokhozyaystvennykh kultur po vliyaniyu na ushcherby [Grouping of pests and diseases of agricultural crops by their effect on damage]. Problemy i perspektivy ustoychivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa [Problems and prospects of sustainable development of the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the memory of Alexander Alexandrovich Ezhevsky, p. Molodezhny, November 16-17, 2023, p. Molodezhny, Irkutsk state agrarian university named after A.A. Ezhevsky], 2023, pp. 553-559, EDN WWOQLH.
 19. Mityushev I.M. Vrediteli sel'skokhozyaystvennykh rasteniy [Pests of agricultural plants]. Nauchno-obrazovatelnyy portal "Bolshaya rossiyskaya entsiklopediya" [Scientific and educational portal "Great Russian Encyclopedia"], 2023, no. 4, DOI:10.54972/00000001_2023_4_33, EDN DDMIBJ.
 20. Kritsky S.N., Menkel M.F. Gidrologicheskiye osnovy upravleniya vodokhozyaystvennyimi sistemami [Hydrological foundations of water management systems]. Moscow, Nauka [Science], 1982, 271 p.
 21. Korolyuk V.S., Portenko N.I., Skorokhod A.V., Turbin A.F. [Handbook of probability theory and mathematical statistics] Moscow, Nauka [Science], 1985, 640 p.

Ivanyo Yaroslav Mikhailovich. Doctor of technical sciences, professor, vice-rector for digital transformation, Irkutsk state agricultural university, AuthorID: 106394, SPIN: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iasa_econ@rambler.ru, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement.

Kolokoltseva Irina Mikhailovna. Postgraduate student of the department of computer science and mathematical modeling, Irkutsk state agricultural university, AuthorID: 1109185, SPIN: 9426-2093, ORCID: 0009-0008-5653-1800, 89025190281@yandex.ru, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement.

Статья поступила в редакцию 02.09.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 10.10.2024.

The article was submitted 09/02/2024; approved after reviewing 09/10/2024; accepted for publication 10/10/2024.