

**Я.М. Иваньо***Иркутский государственный аграрный университет  
имени А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация***И.М. Колокольцева***Иркутский государственный аграрный университет  
имени А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация***С.А. Петрова***Иркутский государственный аграрный университет  
имени А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

## **Моделирование аграрного производства в условиях влияния климатических, экологических и биологических событий**

**Аннотация.** В работе приведены математические модели для оптимизации производства аграрной продукции в условиях потерь от климатических, экологических и биологических событий. Рассмотрены три модели линейного программирования в условиях неопределенности. Первая модель параметрического программирования позволяет оптимизировать производство аграрной продукции с учетом климатических событий. События получены на основе анализа значимых «многоуровневых» трендов для рядов разных характеристик модели, описывающих все уровни, а также их верхние (максимальные) и нижние (минимальные) уровни. Такое деление ряда основано на работе [1], в которой многолетний ряд речного стока рассматривается в виде «системы уровней», представляющих собой «иерархическую структуру». Вторая модель параметрического программирования описывает аграрное производство для экологически неблагоприятных условий и влияния климатических событий. В этой модели в качестве экологических характеристик рассматриваются загрязнители почвы и воды, эрозионные процессы. Модель может быть использована для оптимизации производства растениеводческой и животноводческой продукции и их сочетания. Третья модель с вероятностными оценками отражает ситуацию оптимизации производства аграрной продукции при потерях, связанных с саранчовыми вредителями. В этой модели вероятностными оценками являются урожайности сельскохозяйственных культур и потери урожая на землях, подвергшихся нашествию вредителей. Приведены примеры решения прикладных экстремальных задач, которые описывают ситуации производства продукции в неблагоприятных условиях.

**Ключевые слова.** Оптимизация, климатическое событие, экологический фактор, биологический фактор, аграрное производство, ущерб.

**Информация о статье.** Дата поступления: 15 августа 2023 г.; дата принятия к публикации: 20 ноября 2023 г.; дата онлайн-размещения: 12 декабря 2023 г.

Original article

**Ya.M. Ivanyo**

*Irkutsk State Agrarian University  
named after A.A. Ezhevsky,  
Irkutsk, Russian Federation*

**I.M. Kolokoltseva**

*Irkutsk State Agrarian University  
named after A.A. Ezhevsky,  
Irkutsk, Russian Federation*

**S.A. Petrova**

*Irkutsk State Agrarian University  
named after A.A. Ezhevsky,  
Irkutsk, Russian Federation*

## **Simulation of Agricultural Production Under the Influence of Climatic, Environmental, and Biological Events**

**Abstract.** The paper presents mathematical models for optimizing the production of agricultural products in terms of losses from climatic, environmental and biological events. Three models of linear programming under uncertainty are considered. The first model of parametric programming makes it possible to optimize the production of agricultural products, taking into account climatic events. Events are obtained based on the analysis of significant “multilevel” trends for a series of different characteristics of the model, describing all levels, as well as their upper (maximum) and lower (minimum) levels. This division of the series is based on work [1], in which the long-term series of river flow is considered in the form of a “system of levels”, which represent a “hierarchical structure”. The second parametric programming model describes agricultural production for environmentally unfavorable conditions and the impact of climatic events. In this model, soil and water pollutants and erosion processes are considered as ecological characteristics. The model can be used to optimize the production of crop and livestock products and their combination. The third model with probabilistic estimates reflects the situation of optimizing the production of agricultural products with losses associated with locust pests. In this model, the probabilistic estimates are crop yields and losses of crop on lands affected by pests invasion. Examples of solving applied extreme problems are given, which describe situations of production in adverse conditions.

**Keywords.** Optimization, climatic event, ecological factor, biological factor, agricultural production, damage.

**Article info.** Received 15 August, 2023; Accepted 20 November, 2023; Available online 12 December, 2023.

---

## **Введение**

Большое число литературных источников посвящено описанию различных рисков, которые необходимо учитывать при решении многих задач в экономике регионов и страны [2–8]. В наибольшей степени рискам подвержено сельское хозяйство с огромными площадями земельных ресурсов, которые затапливаются, разрушаются ветровой и водной эрозией, загрязняются промышленными объектами, средствами защиты от вредителей.

При этом свой вклад в потери урожая вносят климатические изменения. Немаловажное значение имеют пандемии и эпидемии,

способствующие падежу сельскохозяйственных животных, а также влияющие на здоровье работников, обслуживающих животноводство. Большие потери урожая несут сельскохозяйственные товаропроизводители от вредителей и болезней растений. Здесь можно особо выделить ущербы от нашествия саранчи как наибольшие в сравнении с потерями от других вредителей или болезней [2].

В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации выделены категории рисков и угроз<sup>1</sup>. Обратим внимание на некоторые категории рисков, которые характерны для сельскохозяйственного производства Иркутской области.

Прежде всего, выделим из них климатические [5; 7; 9; 10] и агроэкологические риски [4; 11], а также биологические риски [2, 3], которые обусловлены возникновением и распространением ранее не зарегистрированных на территории Российской Федерации массовых заразных болезней животных, а также распространением болезней и вредителей растений.

Одной из главных задач производства аграрной продукции является минимизация потерь, связанных с рисками разного происхождения [9; 11–13]. Для ее решения эффективно использование задач математического программирования в условиях неопределенности с адекватными критериями оптимальности [14; 15]. При этом следует иметь в виду сложность задачи оптимизации получения продовольственной продукции, учитывая большое число факторов, иерархию управления, существование различных связей аграрной сферы с другими отраслями экономики. Поэтому для решения сложных задач разрабатываются специальные инструментари, один из которых, в частности, приведен в работе [16].

*Целью работы* является определение возможностей применения разработанных математических моделей для оптимизации производства аграрной продукции в условиях климатических, экологических и биологических рисков.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- обобщить вероятностные и детерминированные модели оценки изменчивости климатических, экологических и биологических событий;
- рассмотреть математические модели оптимизации производства аграрной продукции в условиях рисков.

### Материалы и методы

В работе использованы материалы об экстремальных климатических явлениях за многолетие. Кроме того, для решения задач оптимизации производства аграрной продукции привлечены дан-

<sup>1</sup> Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента РФ от 21 янв. 2020 г. // Собрание законодательства РФ. 2020. № 4. Ст. 345. С. 2183–2193.

ные о суточных температурах и осадках за вегетационный период. Территория исследования охватывает сельскохозяйственные районы Иркутской области.

Для решения поставленных задач применены методы теории вероятностей и математической статистики, математического программирования [17], методики оценки потерь как результата воздействия экстремального события<sup>2</sup>. При выделении последовательностей верхних (максимальных) и нижних (минимальных) уровней использован метод, предложенный в работах [1; 18].

### Основные результаты

Неблагоприятные экстремальные явления оказывают сильное влияние на сельское хозяйство. Например, вспышка африканской чумы свиней в 2017 г. в одном из муниципальных районов региона, редкий дождевой паводок 2019 г. в бассейне реки Ия, засуха 2015 г. нанесли непоправимые ущербы экономике региона и сельскому хозяйству.

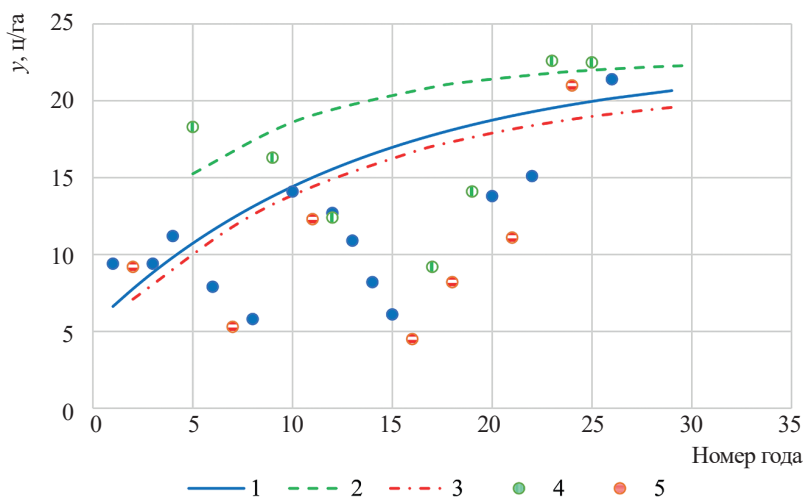
Для оценки лучших и худших вариантов развития событий в ряде случаев предлагается использовать многоуровневые тренды временного ряда [9; 19]. Другими словами, из исходного ряда выделяют последовательность пиков (максимумов) и ложбин (минимумов). При этом значения исходного числового ряда, располагающиеся ниже линии тренда минимальных уровней, являются событиями. Эти события характеризуют потери при производстве сельскохозяйственной продукции. На рисунке 1 для примера показан временной ряд урожайности ячменя для Качугского района с выделением максимумов (4) и минимумов (5) и значимыми логистическими трендами, характеризующими весь ряд (1) и последовательности верхних (2) и нижних (3) уровней.

На рис. 2 показано распределение Пирсона III типа, описанное в работе [20], для оценки вероятности потерь урожайности ячменя в Качугском районе по данным за 1996-2021 гг. Потери урожайности представляют собой разности фактических уровней исходного ряда и значений тренда нижних уровней (рис. 1, линия 3).

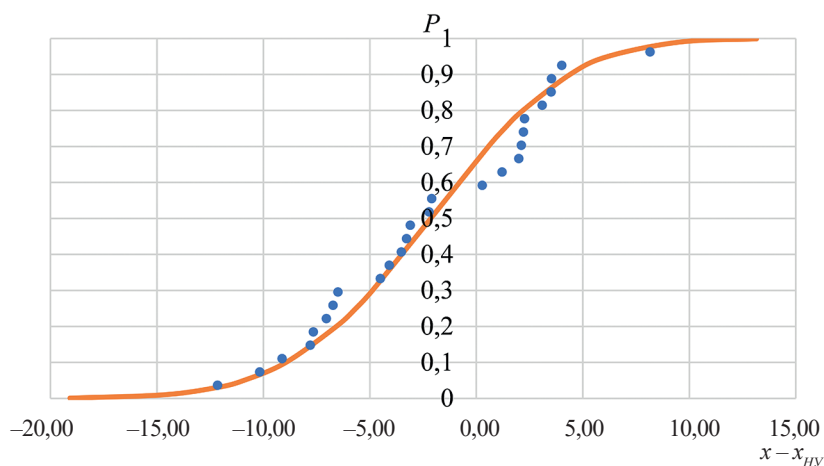
Наибольшие потери урожая для сельскохозяйственных товаропроизводителей характеризуются отрицательными значениями распределения (неблагоприятные события).

При наличии значимых трендов, характеризующих весь ряд, минимальные и максимальные уровни, можно использовать сле-

<sup>2</sup> Об утверждении методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) урожая сельскохозяйственной культуры и посадок многолетних насаждений и методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) сельскохозяйственных животных : Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 1 марта 2019 г. № 87 : (с изм. на 8 сент. 2021 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru).



**Рис. 1. Временной ряд урожайности ячменя для Качугского района (данные 1996–2021 гг.) с выделением локальных максимумов (4), минимумов (5) и логистическими трендами, характеризующими весь ряд (1) и последовательности верхних (максимальных) (2) и нижних (минимальных) (3) уровней**



**Рис. 2. Распределение Пирсона III типа для оценки вероятностей потерь урожайности ячменя в Качугском районе по данным за 1996–2021 гг.**

дующую модель для оптимизации производства аграрной продукции в условиях проявления экстремальных событий.

Целевая функция характеризует максимум прибыли сельскохозяйственного предприятия:

$$f = \sum_{s \in S} c_s^z x_s \rightarrow \max \quad (1)$$

при условиях:

– ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} a_{ls}^z x_s \leq A_l^z, l \in L; \quad (2)$$

– ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S} (1 + \beta_s) x_s \leq \bar{n}_r, r \in R; \quad (3)$$

– производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} v_{qs}^{zp} x_s \geq V_q, q \in Q; \quad (4)$$

– определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms}^z x_s \leq B_m^z, m \in M; \quad (5)$$

– неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0, \quad (6)$$

где  $x_s$  — искомая переменная, характеризующая площадь сельскохозяйственных культур  $s$ ;  $z$  — номер уровня тренда (усредненные условия — 1, благоприятные условия — 2, неблагоприятные условия — 3);  $c_s^z$  — прибыль от единицы площади посева сельскохозяйственных культур  $s$ ;  $a_{ls}^z$  — расход ресурса  $l$  на единицу площади культуры  $s$ ;  $A_l^z$  — наличие ресурса  $l$ -вида;  $V_q$  — гарантированный (обязательный объем) производства продукции вида  $q$ ;  $\bar{n}_r$ ,  $\underline{n}_r$  — максимальная и минимальная возможная площадь культур группы  $r$ ;  $v_{qs}^{zp}$  — выход товарной продукции  $q$ -вида с единицы площади культуры  $s$ ;  $p$  — вероятность события;  $\beta_s$  — коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры  $s$ ;  $b_{ms}^z$  — расход удобрений видов  $m$  и средств защиты на единицу площади культуры  $s$  или вида кормовых угодий;  $B_m^z$  — необходимый объем удобрений вида  $m$ .

Для решения задачи (1)–(6) необходимо оценить вероятности экстремальных событий (в данном случае низких урожайностей сельскохозяйственных культур) на основе построения законов распределения вероятностей для разностей фактических событий и значений трендов последовательности нижних уровней. Отдельно можно рассмотреть очень неблагоприятную ситуацию для товаропроизводителя, когда потери достигают наибольших значений при наименьших значениях фактической урожайности сельскохозяйственных культур.

Приведенная модель реализована для оптимизации производства основных сельскохозяйственных культур (пшеница, яч-

мень, овес, картофель, свекла и морковь) в Иркутском районе. В обычных условиях производства растениеводческой продукции прогностическое значение дохода в 2023 г. составило более 1 млрд р., а прибыль свыше 257 млн р.

Для очень неблагоприятной ситуации средняя вероятность, которая определялась по вероятностям наименьших биопродуктивностей сельскохозяйственных культур, составила 0,0169 (табл.). В этом случае доход соответствует около 699, а прибыль немногим более 181 млн р. Потери прибыли относительно смоделированной величины для 2023 г. составили 29,5 а урожая 29 %.

Средняя вероятность для урожайностей сельскохозяйственных культур, полученных в засушливый 2015 г., составила 0,0963 (табл.). В этом случае прибыль, которая соответствует около 187 млн р., по сравнению с очень неблагоприятной ситуацией немного выше - почти на 3 %.

К этому добавим, что при оценке вероятностей рассмотренных ситуаций с учетом весовых коэффициентов (таблица), характеризующих площади посевов сельскохозяйственных культур, их значения соответствуют 0,0120 и 0,0367. Уменьшение средних вероятностей связано с большими весовыми коэффициентами для зерновых культур (табл.).

**Вероятности низких урожайностей сельскохозяйственных культур  
Иркутского района согласно распределению Пирсона III типа  
по данным 1996–2021 гг.**

Культура	$p$	Год	Урожайность, ц/га	$p$	Год	Урожайность, ц/га	Наличие тренда	Весовой коэффициент
Пшеница	0,00872	2015	11,1	0,00872	2015	11,1	Да	0,340
Ячмень	0,0131	2015	6,7	0,0131	2015	6,7	Нет	0,182
Овес	0,0138	2015	8,8	0,0138	2015	8,8	Да	0,149
Картофель	0,0128	1998	135,4	0,0774	2015	139	Нет	0,304
Свекла	0,0213	2011	137,3	0,273	2015	182,6	Да	0,011
Морковь	0,0317	2018	217,7	0,192	2015	229,9	Да	0,014

В работе [21] рассмотрено влияние метеорологических факторов (суточные температуры и осадки вегетационного периода) на разные уровни сельскохозяйственных культур. Поэтому параметр характеризующий время может быть заменен на метеорологические факторы. Между тем опыт показывает, что такие модели имеют больше ограничений в применении по сравнению с использованием в экстремальных задачах трендов.



Помимо влияния экстремальных событий на производство аграрной продукции, наблюдается воздействие других — экологических факторов, загрязнения почвы, воды, эрозионные процессы. В работе [11] приведена модель оптимизации производства аграрной продукции на орошаемых и неорошаемых землях. Рассматривается сочетание отраслей растениеводства и животноводства. Модель описывает деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей на частично загрязненных промышленными объектами сельскохозяйственных территориях, подверженных в разной степени эрозионным процессам.

Предложено такую ситуацию описать с помощью задачи параметрического программирования с вероятностными коэффициентами, характеризующими влияние на производство климатических событий. В этой задаче значимые тренды описывают урожайность сельскохозяйственных культур и поголовье разных видов животных. В качестве ограничений использовались:

- трудовые ресурсы;
- объемы производства товарной растениеводческой и животноводческой продукции;
- потребности животноводства в производстве растениеводческой продукции;
- условия по предельно допустимым концентрациям некоторых вредных веществ в почве и воде;
- почвенные потери от водной и ветровой эрозии;
- объемы водозабора на орошение;

Результатом решения этой задачи является максимизация прибыли от полученной продукции с учетом ущерба окружающей среде и соответствующие им оптимальные объемы производства сельскохозяйственной продукции [11].

В частности, для СХЗАО «Приморский» дополнительные потери от влияния засухи с повторяемостью один раз в 23 года составят 15,7 % относительно среднего значения прибыли, соответствующей 22,0 млн р. Ущерб окружающей среде превысит 2,4 млн р. При этом сокращение площадей зерновых и некоторых кормовых культур может составить 24–100 %.

Предложенные модели позволяют лицу, принимающее решение использовать результаты для повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством с учетом загрязнения почв, водных объектов и эрозионных процессов.

Сельскохозяйственные товаропроизводители получают дополнительно ущербы от разных вредителей, увеличивающих потери урожая различных сельскохозяйственных культур [22].

Преобразуем модель (1)–(6), исключив параметр  $t$ , уровни  $z$  и добавив вероятностные оценки, характеризующие влияние вредителей на урожай.



Критерий оптимальности в виде прибыли имеет вид:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s \rightarrow \max \quad (7)$$

при условиях:

– ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} a_{ls} x_s + \sum_{s \in S} \beta_{ls}^p x_s \leq A_l, \quad l \in L; \quad (8)$$

– ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{n}_r, \quad r \in R; \quad (9)$$

– производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} v_{qs}^p x_s \geq V_q, \quad q \in Q; \quad (10)$$

– определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms} x_s + \sum_{s \in S} \varphi_{ms}^p x_s \leq B_m, \quad m \in M; \quad (11)$$

– неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0, \quad (12)$$

где  $x_s$  — искомая переменная, характеризующая площадь сельскохозяйственных культур  $s$ ;  $c_s$  — прибыль от полученной продукции с единицы площади посева сельскохозяйственных культур  $s$ ;  $a_{ls}$  — расход ресурса  $l$  на единицу площади культуры  $s$ ;  $A_l$  — наличие ресурса  $l$ -вида;  $\beta_{ls}^p$  — дополнительный расход ресурса  $l$ -вида, связанный с восстановлением потерь, нанесенных вредителями и зависящий от вероятности  $p$ ;  $V_q$  — гарантированный (обязательный) объем производства продукции вида  $q$ ;  $V_{qs}^p$  — продукции  $q$ -вида с единицы площади  $s$ -культуры (случайная величина);  $\bar{n}_r$ ,  $\underline{n}_r$  — максимально и минимально возможная площадь культур группы  $r$ ;  $\alpha_s$  — коэффициент, учитывающий дополнительные площади для получения семян культуры  $s$ ;  $b_{ms}$  — расход  $m$ -удобрений и средств защиты на единицу площади культуры  $s$ ;  $\varphi_{ms}^p$  — дополнительный расход  $m$ -удобрений и средств защиты на единицу площади культуры  $s$ , связанный с восстановлением потерь, нанесенных вредителями, соответствует вероятности  $p$ ;  $B_m$  — необходимый объем удобрений вида  $m$ .

В результате решения задачи по оптимизации производства аграрной продукции в условиях заселения сельскохозяйственных земель саранчовыми на примере предприятия ЗАО «Иркутские семена» потери доходов могут составить 2 % относительно усредненного значения целевой функции, составившей около 7,4 млн р.

Учитывая тот факт, что во многих случаях урожайность сельскохозяйственных культур можно описать с помощью трендов, задачу (7)–(12) можно преобразовать, введя в условие (10) параметр  $t$ . В этом случае оцениваются потери уменьшения урожайности от прогностического значения.

### Заключение

Рассмотрены три вида ущербов, получаемые сельскохозяйственными товаропроизводителями. Потери урожая связаны с климатическими событиями, экологическими факторами и вредителями.

Для управления процессами производства аграрной продукции приведены три модели оптимизации.

Первая модель параметрического программирования с вероятностными оценками позволяет оптимизировать получение продукции с учетом влияния климатических событий.

Приведены результаты реализации второй модели параметрического программирования в условиях проявления экстремальных климатических событий с целевой функцией в виде максимальной прибыли с учетом экологических ущербов, которая описана в работе [11], для СХЗАО «Приморский».

Третья модель с вероятностными оценками описывает ситуацию оптимизации производства продукции с учетом заселения земель саранчовыми вредителями.

### Список использованной литературы

1. Дружинин И.П. Динамика многолетних колебаний речного стока / И.П. Дружинин, В.Р. Смага, А.Н. Шевнин. — Москва : Наука, 1991. — 176 с.
2. Иванько Я.М. Риски производства аграрной продукции в Предбайкалье: классификация, моделирование, управление / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, И.М. Колокольцева. — DOI 10.53954/9785604607893\_365. — EDN BBSTRX // Труды II Гранберговской конференции : сб. докладов Всерос. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 11-15 окт. 2021 г. — Новосибирск, 2021. — С. 365–375.
3. Котар О.К. Риски сельскохозяйственного производства и пути их преодоления / О.К. Котар. — EDN SEPAVB // Новый университет. Серия: Экономика и право. — 2014. — № 4 (38). — С. 34–40.
4. Панов А.В. Методология оценки рисков для агроэкосистем в условиях техногенного загрязнения / А.В. Панов, Т.В. Переволоцкая. — DOI 10.15389/agrobiology.2020.3.468rus. — EDN THQINI // Сельскохозяйственная биология. — 2020. — Т. 55, № 3. — С. 468–480.

5. Пряхина С.И. Климатические риски в сельскохозяйственном производстве и некоторые пути их преодоления / С.И. Пряхина, Е.И. Гужова, М.М. Смирнова. — EDN TBRXKJ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. — 2011. — Т. 11, № 2. — С. 35–41.

6. Скульская Л.В. Риски в сельскохозяйственном производстве и пути нейтрализации их негативного воздействия / Л.В. Скульская, Т.К. Широкова. — EDN MUMJH // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. — 2010. — Т. 8. — С. 478–501.

7. Assessment of the impact of climate risks on agriculture in the context of global warming / A.A. Dubovitski, M.E. Kononova, T.D. Strelnikova [et al.]. — DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012145. — EDN MLNSQX // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — Michurinsk, 2021. — P. 012145.

8. Деградация горных черноземов северного склона джигальского хребта (Центральный Кавказ) и ее экологоэкономические последствия / Э.Н. Молчанов, И.Ю. Савин, В.В. Разумов [и др.]. — DOI 10.19047/0136-1694-2017-87-86-99. — EDN XVFQUJ // Dokuchaev Soil Bulletin. — 2017. — № 87. — С. 86–88.

9. Иванько Я.М. Об одном алгоритме оптимизации производства аграрной продукции в условиях рисков / Я.М. Иванько, А.А. Ромме. — EDN TQZXLC // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 28-29 апр. 2022 г. — Молодежный, 2022. — С. 176–185.

10. Романенко И.А. Теоретические основы адаптации аграрного производства к климатическим изменениям с учетом природно-территориального фактора / И.А. Романенко. — EDN UWASKZ // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. — 2018. — № 5 (38). — С. 45–50.

11. Ковалева Е.А. Программный комплекс для эколого-математического моделирования производства сельскохозяйственной продукции / Е.А. Ковалева, Я.М. Иванько. — DOI 10.38028/ESI.2020.18.2.008. — EDN EWXLHI // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2020. — № 2 (18). — С. 94–106.

12. Пчелинцева Н.В. Методические аспекты количественной оценки риска в аграрной сфере производства / Н.В. Пчелинцева. — EDN QAAYEG // Наука и образование. — 2019. — Т. 2, № 3. — С. 37.

13. Ivanyo Ya.M. Optimization models of food processing wild-growing products with expert assessments / Ya.M. Ivanyo, S.A. Petrova. — DOI 10.2991/iwci-19.2019.19 // Critical infrastructures: contingency management, intelligent, agent-based, cloud computing and cyber security (IWCI 2019) : proceedings of the VI International workshop. — 2019. — P. 108–113.

14. Губий Е.В. Методические подходы к анализу экономической эффективности вариантов энергоснабжения с учетом экологических и случайных факторов / Е.В. Губий, В.И. Зоркальцев. — DOI 10.17150/2713-1734.2022.4(3).208-217. — EDN KZKHIL // System Analysis and Mathematical Modeling. — 2022. — Т. 4, № 3. — С. 208–217.

15. Смагин Б.И. Эффективность и оптимизация функционирования аграрной сферы производства / Б.И. Смагин. — EDN ABVQVB // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. — 2019. — № 4 (59). — С. 141–147.

16. Смягчение неопределенности при разработке научных приложений в интегрированной среде / А.Н. Черных, И.В. Бычков, А.Г. Феоктистов [и др.]. — DOI 10.15514/ISPRAS-2021-33(1)-11. — EDN HGZFYU // Труды Института системного программирования РАН. — 2021. — Т. 33, № 1. — С. 151–172.

17. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства / Л.В. Канторович // Применение математики в экономических исследованиях / под ред. В.С. Немчинова. — Москва, 1959. — С. 251–271.

18. Иваньо Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. — EDN MLJYDV // Актуальные вопросы аграрной науки. — 2022. — № 42. — С. 48–57.
19. Барсукова М.Н. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. — DOI 10.38028/ESI.2020.19.3.008. — EDN CJQQHD // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2020. — № 3 (19). — С. 73–85.
20. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик / А.В. Рождественский. — Ленинград : Гидрометеоиздат, 1977. — 272 с.
21. Колокольцева И.М. Влияние метеорологических факторов на разные уровни урожайности сельскохозяйственных культур / И.М. Колокольцева, Я.М. Иваньо. — EDN TBPZDA // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, п. Молодежный, 16-17 марта 2023 г. — Молодежный, 2023. — С. 520–527.
22. Барсукова М.Н. О некоторых моделях оптимизации производства растениеводческой продукции в условиях биологических рисков / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, И.М. Колокольцева. — DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-17-23. — EDN NBGJHS // Моделирование систем и процессов. — 2022. — Т. 15, № 4. — С. 17–23.

## References

1. Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevnin A.N. *Dynamics of long-term fluctuations in river flow*. Moscow, Nauka Publ., 1991. 176 p.
2. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A., Kolokoltseva I.M. Risks of Agricultural Production in Pre-Baikal: Classification, Modeling, Management. *Proceedings of the II Granberg Conference. Collection of Reports of the All-Russian Conference with International Participation, Novosibirsk, October 11-15, 2021*. Novosibirsk, 2021, pp. 365–375. (In Russian). EDN: BBCTRX. DOI: 10.53954/9785604607893\_365.
3. Kotar O.K. Agricultural Production Risks and Ways to Overcome. *Novyi universitet. Seriya: Ekonomika i pravo = New University. Series: Economics and Law*, 2014, no. 4, pp. 34–40. (In Russian). EDN: SEPAVB.
4. Panov A.V., Perevolotskaya T.V. Risk Assessment Methodology for Agroecosystems in the Conditions of Technogenic Pollution. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2020, vol. 55, no. 3, pp. 468–480. (In Russian). EDN: THQIHI. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.468rus.
5. Pryakhina S.I., Gugova E.I., Smirnova M.M. Climatic Risk in Agricultural Production and Some Ways Their Overcome. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Nauki o Zemle = Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2011, vol. 11, no. 2, pp. 35–41. (In Russian). EDN: TBRXKJ.
6. Skulskaya L.V., Shirokova T.K. The System of Risks in Agricultural Production and the Ways of Neutralization Their Negative Influence. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaistvennogo prognozirovaniya RAN = Scientific Articles — Institute of Economic Forecasting Russian Academy of Sciences*, 2010, vol. 8, pp. 478–501. (In Russian). EDN: MUMJJH.
7. Dubovitski A.A., Konovalova M.E., Strelnikova T.D., Pilipchuk N.V., Shvetsova I.N. Assessment of the Impact of Climate Risks on Agriculture in the Context of Global Warming. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Michurinsk, 2021, pp. 012145. EDN: MLNSQX. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012145.

8. Molchanov E.N., Savin I.Yu., Razumov V.V., Makarov O.A., Tsvetnov E.V., Ermiyaev Ya.R., Shishkonakova E.A., Harzinov S.M. The Degradation of the Mountain Chernozems of the Slope of Djinal Ridge (Central Caucasus) and its Ecologic and Economic Consequences. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2017, no. 87, pp. 86–99. (In Russian). EDN: XVFQUJ. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-87-86-99.

9. Ivanyo Ya.M., Romme A.A. About One Algorithm for Optimizing Agricultural Production under Risks. *Climate, Ecology, Agriculture of Euroasia. Materials of the 11<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference, Irkutsk, April 28-29, 2022*. Molodezhny, 2022, pp. 176–185. (In Russian). EDN: TQZXLC.

10. Romanenko I.A. Theoretical foundations of adaptation of agricultural production to climate change, taking into account the natural-territorial factor. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaistve = Economy, Labor, Management in Agriculture*, 2018, no. 5, pp. 45–50. (In Russian). EDN: UWASKZ.

11. Kovaleva E.A., Ivanyo Ya.M. Software Complex for Ecological and Mathematical Modeling of Agricultural Production. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2020, no. 2, pp. 94–106. (In Russian). EDN: EWXLHI. DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.008.

12. Pchelintseva N.V. Methodological Aspects of Quantitative Risk Assessment in the Sphere of Agricultural Production. *Nauka i obrazovanie = Science and Education*, 2019, vol. 2, no. 3, pp. 37. (In Russian). EDN: QAAYEG.

13. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimization Models of Food Processing Wild-Growing Products with Expert Assessments. Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security (IWCI 2019). Proceedings of the VI International Workshop. 2019, pp. 108–113. DOI: 10.2991/iwci-19.2019.19.

14. Gubiy E.V., Zorkaltsev V.I. Methodological Approaches to the Analysis of the Economic Efficiency of Energy Supply Options, Taking into Account Environmental and Random Factors. *System Analysis and Mathematical Modeling*, 2022, vol. 4, no. 3, pp. 208–217. (In Russian). EDN: KZKHIL. DOI: 10.17150/2713-1734.2022.4(3).208-217.

15. Smagin B.I. Efficiency and Optimization of Functioning of Agrane Sphere of Production. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, 2019, no. 4, pp. 141–147. (In Russian). EDN: ABVQVB.

16. Tchernykh A.N., Bychkov I.V., Feoktistov A.G., Gorsky S.A., Sidorov I.A., Kostromin R.O., Edelev A.V., Zorkalzev V.I., Avetisyan A.I. Mitigating Uncertainty in Developing Scientific Applications in Integrated Environment. *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN = Proceedings of the Institute for System Programming of The RAS*, 2021, vol. 33, no. 1, pp. 151–172. (In Russian). EDN: HGZFYL. DOI: 10.15514/ISPRAS-2021-33(1)-11.

17. Kantorovich L.V. Mathematical methods of organizing and planning production. In Nemchinov V.S. (ed.). *Application of mathematics in economic research*. Moscow, 1959, pp. 251–271. (In Russian).

18. Ivanyo YA.M., Petrova S.A. About One Algorithm for Selecting Anomal Levels of a Time Series for Risk Assessment. *Aktual'nye voprosy agrarnoi nauki = Actual Issues of Agrarian Science*, 2022, no. 42, pp. 48–57. (In Russian). EDN: ML-JYDV.

19. Barsukova M.N., Ivanyo YA.M., Petrova S.A. About One Model of Optimization of Agricultural Production in Favorable and Unfavorable External Conditions. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2020, no. 3, pp. 73–85. (In Russian). EDN: CJQQHD. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.008.

20. Rozhdestvenskii A.V. *Assessing the accuracy of distribution curves of hydrological characteristics*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977. 277 p.

21. Kolokoltseva I.M., Ivanyo Ya.M. Influence of Meteorological Factors on Different Levels of Crop Yield. *Scientific Research and Development for Implementation in Agro-Industrial Complex. Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Molodezhnyi, March 16-17, 2023*. Molodezhnyi, 2023, pp. 520–527. (In Russian). EDN: TBPZDA.

22. Barsukova M.N., Ivano Ya.M., Kolokolceva I.M. On Some Models of Optimization of Crop Production under Conditions of Biological Risks. *Modelirovanie sistem i protsessov = Modeling of Systems and Processes*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 17–23. (In Russian). EDN: NBGJHS. DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-4-17-23.

### Информация об авторах

**Иваньо Ярослав Михайлович** — доктор технических наук, профессор, проректор по цифровой трансформации, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: iasa\_econ@rambler.ru.

**Колокольцева Ирина Михайловна** — аспирант, кафедра информатики и математического моделирования, Институт экономики, управления и прикладной информатики, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: 89025190281@yandex.ru.

**Петрова Софья Андреевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Институт экономики, управления и прикладной информатики, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: sofia.registration@mail.ru.

### Information about the Authors

**Yaroslav M. Ivanyo** — D.Sc. in Technical Sciences, Vice-Rector for Digital Transformation, Full Professor, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: iasa\_econ@rambler.ru.

**Irina M. Kolokoltseva** — PhD Student, Department of Computer Science and Mathematical Modeling, Institute of Economics, Management and Applied Informatics, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: 89025190281@yandex.ru.

**Sofya A. Petrova** — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Science and Mathematical Modeling, Institute of Economics, Management and Applied Informatics, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: sofia.registration@mail.ru.

### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

**Для цитирования**

Иваньо Я.М. Моделирование аграрного производства в условиях влияния климатических, экологических и биологических событий / Я.М. Иваньо, И.М. Колокольцева, С.А. Петрова. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(4).442-456. — EDN XPFPQB // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2023. — Т. 5, № 4. — С. 442–456.

**For Citation**

Ivanyo Ya.M., Kolokoltseva I.M., Petrova S.A. Simulation of Agricultural Production Under the Influence of Climatic, Environmental, and Biological Events. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2023, vol. 5, no. 4, pp. 442–456. (In Russian). EDN: XPFPQB. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(4).442-456.