

УДК 004.94:633/.635

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.008

## Алгоритм параметрического моделирования производства аграрной продукции с учетом предшественников

Иваньо Ярослав Михайлович, Полковская Марина Николаевна,  
Сеницын Максим Николаевич

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,  
Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, *iytex@rambler.ru*

**Аннотация.** В статье приведена параметрическая модель оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом многоуровневых трендов урожайности сельскохозяйственных культур и разных предшественников. Предложен алгоритм решения параметрической задачи, апробированный на данных о производстве растениеводческой продукции муниципального района и сельскохозяйственной организации. Применение разработанной модели позволяет оценивать перспективу производственной деятельности предприятий при усредненных, благоприятных и неблагоприятных условиях с разным сочетанием предшественников.

**Ключевые слова:** алгоритм, параметрическая модель, многоуровневое моделирование, аграрное производство

**Цитирование:** Иваньо Я.М. Алгоритм параметрического моделирования производства аграрной продукции с учетом предшественников / Я.М. Иваньо, М.Н. Полковская, М.Н. Сеницын // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – №1(37). – С. 80-91. – DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.008.

**Введение.** Производство продукции растениеводческой отрасли в Иркутской области подвержено значительному влиянию метеорологических, агротехнических, экономических, социальных факторов. При этом в регионе выделяются сельскохозяйственные товаропроизводители и муниципальные районы со стабильным производством. Поэтому актуальным является применение при оптимизации производства растениеводческой продукции задач параметрического программирования, которые позволяют оценить возможный экономический эффект деятельности предприятия с учетом тенденций ее показателей [1-4].

Особый интерес для моделирования производства аграрной продукции, а также ее переработки и сбыта представляют разные виды параметрических моделей [5-8]. При этом подобные модели затрагивают разные уровни деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей: организации, муниципальные образования, агроклиматические территории.

Математические модели могут описывать сложные системы взаимодействия технических, технологических, экономических, климатических и экологических факторов, многие из которых являются неопределенными [8-10]. Для эффективного решения задач оптимизации получения, переработки и сбыта растениеводческой продукции необходимы создание и использование специализированного программного обеспечения. Программные комплексы моделирования производства сельскохозяйственной продукции могут включать в себя следующие математические модели: планирования структуры посевов с учетом предшественников и неопределенности характеристик; планирования производства растениеводческой продукции в различных условиях ведения сельского хозяйства; планирования производства и реализации продукции с учетом предшественников и сезонности цен [5-7, 11, 12, 13]. При этом в зависимости от неопределенности характеристик для решения различных задач применимы модели параметрического, стохастического программирования и их сочетание.

В приведенном исследовании для получения плана производства на среднесрочную многолетнюю перспективу определены две стадии моделирования. Вначале определяется некоторое множество оптимальных решений в зависимости от предшественников и условий аграрного производства на среднесрочную перспективу. Затем формируется производственный план из полученных вариантов оптимальных решений на первой стадии. При этом следующая стадия предполагает корректировку плана в зависимости от полученных результатов хозяйства или сельскохозяйственных товаропроизводителей муниципального района.

**Целью исследования является** разработка модели и алгоритма планирования производства растениеводческой продукции на основе задачи параметрического программирования с учетом многоуровневых прогнозов характеристик, входящих в оптимизационную модель, и влияния предшественников на урожайность сельскохозяйственных культур.

**Материалы и методы.** При выборе моделей прогнозирования использованы результаты научных исследований различных авторов, посвященные моделированию характеристик, описывающих аграрное производство. В статье использованы трендовые модели, описывающие разные иерархические структуры временного ряда характеристики – все уровни, локальные минимумы и максимумы [6].

Методика выделения локальных минимумов и максимумов из многолетних временных рядов приведена в работе [14]. Она использована для описания тенденций, характеризующих усредненные, благоприятные и неблагоприятные условия производства. Тренд всего временного ряда характеризует некоторые усредненные условия, а тренды последовательностей локальных максимумов и минимумов – благоприятные и неблагоприятные ситуации. Для построения многоуровневых трендов использован корреляционно-регрессионный анализ для определения наиболее качественных по статистическим критериям функций. На основании опыта моделирования трендов в качестве функций чаще для задач, связанных с аграрным производством, применимы линейные, степенные, экспоненциальные и логистические выражения [13].

В основу предложенного алгоритма положены модели планирования производства аграрной продукции, приведенные в работах [6, 8]. Применение предлагаемых параметрических моделей с учетом времени позволяет осуществлять планирование на определенную многолетнюю перспективу [6]. Вместе с тем они только частично снимают неопределенность ввиду сильного влияния на производство экстремальных климатических событий, поэтому их можно использовать, прежде всего, для планирования деятельности устойчиво развивающихся сельскохозяйственных организаций.

Учет предшественников влияет на урожайность последующих посевов сельскохозяйственных культур. Большое количество их сочетаний предполагает выбор наилучших решений. При этом на этот выбор влияют возможности сельскохозяйственного товаропроизводителя: технологии, технические средства, климатические условия, квалификация трудовых ресурсов.

Таким образом, в работе сделана попытка сформулировать и решить задачу планирования производства растениеводческой продукции на основе многоуровневой задачи параметрического программирования с учетом разного сочетания предшественников. Алгоритм параметрического моделирования производства растениеводческой продукции реализован для одного из хозяйств Черемховского района и для самого муниципального образования.

В качестве исходной информации взяты официальные статистические данные об урожайности сельскохозяйственных культур за 1996-2023 гг. по Черемховскому району. При решении задачи параметрического программирования использованы данные бухгалтерской отчетности ООО «Новогромовское».

**Алгоритм параметрической оптимизации производства растениеводческой продукции.** Алгоритм включает в себя две стадии (рис. 1), первая из которых состоит из семи операций.



**Рис. 1.** Алгоритм многоуровневой параметрической оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом предшественников

На первой стадии определяются целевая функция и ограничения модели. В качестве целевой функции использован максимальный доход. Вторая операция связана с оценкой значимых многоуровневых трендов в многолетних рядах коэффициентов, входящих в левую часть ограничений. На третьем шаге определяются стохастические ряды и оцениваются вероятности усредненных уровней всего ряда и локальных экстремумов. На четвертом шаге на основании полученных многоуровневых трендов осуществляется прогнозирование производственно-экономических характеристик. При этом в частном случае некоторые характеристики принимаются в качестве усредненных [7]. Следующая операция позволяет оценивать влияние предшественников на урожайность сельскохозяйственных культур, осуществляется корректировка значений прогнозов в зависимости от схемы севооборота.

После получения прогнозных значений и оценки влияния предшественников формулируются варианты входных данных. Седьмой операцией является определение оптимальных решений параметрической задачи с учетом прогнозов для усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий и влияния различных сочетаний предшественников. На второй стадии осуществляется выбор наилучшего оптимального решения из результатов решения параметрической задачи для планирования производства продукции на среднесрочную перспективу.

**Реализация алгоритма параметрической оптимизации производства растениеводческой продукции.** В качестве объектов исследования согласно алгоритму, приведенному на рисунке 1, взяты Черемховский район и ООО «Новогромовское». Выбор обусловлен тем, что сельскохозяйственное производство в районе является стабильным, что обусловлено, в том числе, наличием крупных сельскохозяйственных товаропроизводителей, использующих современные технологии производства.

На первой стадии сформулирована параметрическая оптимизационная модель, параметром которой является время  $t$  (годы). Целевая функция модели направлена на максимизацию дохода

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{is}^{hk} y(t)_{is}^{hk} x_{is}^{hk} \rightarrow \max (i \in I, s \in S, h \in H, k \in K), \quad (1)$$

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} v(t)_{is}^{hk} x_{is}^{hk} \leq V_{li} \quad (l \in L), \quad (2)$$

ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n} \leq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} (1 + \eta_s^{hk}) x_{is} \leq \bar{n}, \quad (3)$$

производства конечной продукции не ниже заданного объема

$$\sum_{i \in I} y(t)_{is}^{hk} x_{is}^{hk} \geq Y_s, \quad (4)$$

ограниченности вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} w_{mis}^{hk} x_{is}^{hk} \leq W_{mi}, \quad (5)$$

неотрицательности переменных

$$x_{is}^{hk} \geq 0. \quad (6)$$

В (1)-(6):

$d_{is}^{hk}$  – цена реализации  $s$ -культуры  $i$ -поля (руб./ц);

$y(t)_{is}^{hk}$  – выход продукции с единицы площади  $s$ -культуры  $i$ -поля (ц/га), зависящий от параметра  $t$ , изменяющегося от  $\alpha$  до  $\beta$ ;

$x_{is}^{hk}$  – искомая площадь возделывания  $s$ -культуры на  $i$ -поле (га);

$v(t)_{is}^{hk}$  – расход  $l$ -ресурса на единицу площади  $s$ -культуры  $i$ -поля (чел.-ч/га, руб./га),

связанный с параметром  $t$ ;

$V_{li}$  – наличие ресурса  $l$ -вида для  $i$ -поля;

$Y_s$  – гарантированный (минимальный) объем производства продукции  $s$ -культуры (ц);

$\bar{n}$ ,  $\underline{n}$  – максимально и минимально возможная площадь возделывания культур (га);

$\eta_s^{hk}$  – коэффициент, учитывающий площадь посевов семян  $s$ -культуры;

$w_{mis}^{hk}$  – расход  $m$ -удобрения (средства защиты растений) на единицу площади  $i$ -поля  $s$ -культуры (ц/га);

$W_{mi}$  – наличие удобрения  $m$ -вида  $i$ -поля (ц),

$I$  – количество полей,

$S$  – число видов культур,

$h$  – вариант сочетания предшественников,

$k$  – уровень тренда,

$H$  – количество вариантов сочетания предшественников,

$K$  – число уровней, равное трем.

Помимо оптимизации площадей посевов при решении задачи (1)-(6) рассчитываются объемы произведенной продукции:

$$z_{is}^{hk} = y(t)_{is}^{hk} \cdot x_{is}^{hk}. \quad (7)$$

На следующей стадии для выделенных из многолетнего временного ряда производственно-экономических характеристик последовательностей верхних (локальные максимумы) и нижних (локальные минимумы) уровней строятся тренды. При этом в качестве функций, характеризующих динамику исследуемых показателей, могут применяться линейные и нелинейные (асимптотические, логистические, степенные, линейные, экспоненциальные) выражения. Одной из характеристик, обладающих динамико-стохастическими свойствами, является урожайность сельскохозяйственных культур.

Модель (1)-(7) может быть использована для оптимизации производства растениеводческой продукции для сельскохозяйственных организаций и муниципальных районов. В качестве примера реализации алгоритма оптимизации производства растениеводческой продукции, как отмечалось ранее, рассмотрена деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей в Черемховском районе и предприятия ООО «Новогромовское». Характеристикой модели, зависящей от параметра  $t$ , является урожайность некоторых сельскохозяйственных культур. Остальные характеристики, модели представляют собой усредненные значения.

В таблице 1 приведены тренды, усредненные значения рядов урожайности, их локальных минимумов и максимумов, статистические критерии для многолетних рядов урожайности сельскохозяйственных культур в рассматриваемом районе за 1996-2023 гг. и прогнозы для разных уровней ряда.

**Таблица 1.** Характеристики трендов всего ряда, локальных минимумов и максимумов урожайности сельскохозяйственных культур в Черемховском районе за 1996-2023 гг. и прогностические значения

Культура	Уравнение	$R^2$	$F$ -критерий Фишера	$t$ -статистика Стьюдента	Прогноз, ц/га		
					2024	2025	2026
Все уровни ряда							
Пшеница	$y=31,1/(1+e^{-0,0776t})$	0,62	43,8	-6,62	28,0	28,2	28,4
Ячмень	$y=11,1t^{0,275}$	0,64	46,8	-6,84	31,0	31,1	31,1
Овес	$y=13,7+0,51t$	0,56	33,2	-7,13	28,5	29,1	29,6
Картофель	средние значения				159,4	159,4	159,4
Свекла	средние значения				225,9	225,9	225,9
Морковь	$y=135,6+7,63t$	0,67	51,5	-5,88	356,8	364,5	372,1

Последовательность локальных максимумов							
Пшеница	$y=31,1/(1+e^{-0,13t})$	0,68	12,97	-3,60	30,3	30,4	30,5
Ячмень	$y=12,3t^{0,286}$	0,81	17,26	-4,15	32,2	32,5	32,8
Овес	$y=16,91+0,51t$	0,75	17,77	-3,53	31,6	32,1	32,6
Картофель	средние значения				172,4	172,4	172,4
Свекла	средние значения				269,2	269,2	269,2
Морковь	$y=171,9+6,58t$	0,66	9,48	-2,84	362,6	369,2	375,8
Последовательность локальных минимумов							
Пшеница	$y=23,4/(1+e^{-0,151t})$	0,73	13,23	-3,64	23,0	23,0	23,1
Ячмень	$y=10,9t^{0,226}$	0,52	8,62	-2,94	23,2	23,4	23,6
Овес	$y=9,51+0,53t$	0,73	19,29	-3,62	24,8	25,3	25,9
Картофель	средние значения				150,0	150,0	150,0
Свекла	средние значения				212,3	212,3	212,3
Морковь	$y=96,4+7,41t$	0,89	40,73	-4,33	311,3	318,7	326,1

Следует отметить, что для рядов картофеля и свеклы значимых трендов не найдено, поэтому при решении задачи оптимизации использованы средние значения всего ряда, локальных минимумов и максимумов.

Для определения влияния на урожайность сельскохозяйственных культур предшественников необходимо сформировать схемы севооборотов. При этом рассматривались три варианта севооборота. Оценка влияния предшественников на урожайность сельскохозяйственных культур осуществляется с помощью экспертных оценок или справочной литературы. В качестве экспертов привлекались специалисты-агрономы. Влияние предшественников на урожайность оценивалось с помощью коэффициентов.

После получения схем севооборота и прогнозов (табл. 1) решена параметрическая оптимизационная задача (1)-(7), параметром которой является время  $t$ . При этом оптимизирован доход от производства зерновых (пшеница, ячмень, овес), картофеля и овощей (свеклы, моркови). Задача решалась с учетом влияния на урожайность предшественников.

В таблице 2 приведены результаты решения параметрической задачи с учетом влияния на урожайность предшественников и прогноза на 2024, 2026 гг. Для уменьшения громоздкости таблицы 2 прогностические данные за 2025 год не приведены.

**Таблица 2.** Результаты решения параметрической задачи с учетом различных вариантов севооборота и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур для Черемховского района Иркутской области

Год	Объемы произведенной продукции, т						Целевая функция, млн руб.
	Пшеница, $z_1$ [т]	Ячмень, $z_2$ [т]	Овес, $z_3$ [т]	Картофель, $z_4$ [т]	Свекла, $z_5$ [т]	Морковь, $z_6$ [т]	
Прогноз урожайности по всем значениям многолетнего ряда							
Первый вариант севооборота							
2024	68033,6	58753,4	20364,5	21763,1	367,5	640,6	975,0
2026	71765,1	61419,2	21949,3	22642,3	382,3	695,0	1024,7
Второй вариант севооборота							
2024	61848,7	53412,1	18513,2	19784,6	334,1	582,4	886,4
2026	65241,0	55835,7	19953,9	20583,9	347,6	631,8	931,6

Третий вариант севооборота							
2024	55663,9	48070,9	16661,9	17806,2	300,6	524,1	797,7
2026	58716,9	50252,1	17958,5	18525,5	312,8	568,6	838,4
Прогноз урожайности по всем значениям последовательности локальных максимумов							
Первый вариант севооборота							
2024	73522,7	61060,1	22554,6	23542,2	437,9	651,0	1046,0
2026	76941,0	64751,1	24218,5	24493,4	455,6	701,9	1099,9
Второй вариант севооборота							
2024	66838,8	55509,2	20504,2	21402,0	398,1	591,8	950,9
2026	69946,4	58864,6	22016,8	22266,6	414,2	638,1	999,9
Третий вариант севооборота							
2024	60154,9	49958,2	18453,7	19261,8	358,2	532,6	855,8
2026	62951,7	52978,2	19815,2	20040,0	372,8	574,3	899,9
Прогноз урожайности по всем значениям последовательности локальных минимумов							
Первый вариант севооборота							
2024	55735,5	44055,8	17707,8	20479,4	345,4	558,8	815,2
2026	58325,9	46557,5	19207,1	21306,7	359,4	609,0	857,1
Второй вариант севооборота							
2024	50668,7	40050,7	16098,0	18617,6	314,0	508,0	741,1
2026	53023,6	42325,0	17461,0	19369,8	326,7	553,7	779,2
Третий вариант севооборота							
2024	45601,8	36045,6	14488,2	16755,8	282,6	457,2	667,0
2026	47721,2	38092,5	15714,9	17432,8	294,0	498,3	701,7

Полученные результаты характеризуют объем продукции, который можно произвести при различных условиях, и возможный доход, согласно прогнозам значений верхнего уровня исходного ряда, характеризующего благоприятные ситуации, и нижнего уровня ряда, описывающего неблагоприятные условия производства.

При этом потеря дохода при неблагоприятных условиях относительно усредненных условий составляет около 20 %. Увеличение этой характеристики при благоприятных условиях – более 7 %.

Следует отметить, что использование севооборота и подбор хороших предшественников сельскохозяйственных культур позволяет увеличить доход примерно на 10%.

Таким образом, из трех вариантов предшественников наилучшим является тот, который связан с первым вариантом севооборота по произведенной продукции и доходам.

Вместе с тем сельскохозяйственные товаропроизводители не всегда имеют возможность соблюдать схему севооборота ввиду ограниченности финансовых и материальных ресурсов. Поэтому различные варианты сочетания позволяют выбирать наиболее приемлемый из них для управления процессом получения необходимых объемов продукции.

Помимо исследования потенциала развития растениеводства в Черемховском районе задача (1) - (7) решена для ООО «Новогромовское», расположенного в этом районе. При решении задачи значения урожайности пшеницы, ячменя и овса спрогнозированы, а однолетних трав на зеленый корм и многолетних трав на сено усреднены ввиду отсутствия во временных рядах значимых трендов (табл. 3).

**Таблица 3.** Результаты решения параметрической задачи с учетом различных вариантов севооборота и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур для ООО «Новогромовское» Черемховского района Иркутской области

Год	Объемы произведенной продукции, т					
	Пшеница, $z_1$ [т]	Ячмень, $z_2$ [т]	Овес, $z_3$ [т]	Однолетние травы на зеленый корм, $z_4$ [т]	Многолетние травы на сено, $z_5$ [т]	Целевая функция, тыс. руб.
Прогноз урожайности по всем значениям многолетнего ряда						
Первый вариант севооборота						
2024	2776,7	1704,2	314,0	17631,5	177,1	39509,6
2026	2929,0	1781,5	338,4	18343,8	184,2	41105,8
Второй вариант севооборота						
2024	2524,3	1549,3	285,4	16028,7	161,0	35917,9
2026	2662,7	1619,6	307,6	16676,2	167,5	37368,9
Третий вариант севооборота						
2024	2271,8	1394,3	256,9	14425,8	144,9	32326,1
2026	2396,5	1457,6	276,9	15008,6	150,7	33632,0
Прогноз урожайности по всем значениям последовательности локальных максимумов						
Первый вариант севооборота						
2024	3000,7	1771,1	347,7	20149,3	211,3	43423,1
2026	3140,2	1878,2	373,4	20963,4	219,8	45177,4
Второй вариант севооборота						
2024	2727,9	1610,1	316,1	18317,6	192,1	39475,5
2026	2854,8	1707,4	339,4	19057,6	199,9	41070,3
Третий вариант севооборота						
2024	2455,2	1449,1	284,5	16485,8	172,9	35528,0
2026	2569,3	1536,7	305,5	17151,8	179,9	36963,3
Прогноз урожайности по всем значениям последовательности локальных минимумов						
Первый вариант севооборота						
2024	2274,8	1277,9	273,0	14480,6	150,1	31966,0
2026	2380,5	1350,4	296,1	15065,6	156,1	33257,5
Второй вариант севооборота						
2024	2068,0	1161,7	248,2	13164,1	136,4	29060,0
2026	2164,1	1227,7	269,2	13696,0	141,9	30234,1
Третий вариант севооборота						
2024	1861,2	1045,5	223,4	11847,7	122,8	26154,0
2026	1947,7	1104,9	242,3	12326,4	127,7	27210,7

Согласно расчетам, приведенным в таблице 3, потеря дохода при низкой урожайности составляет около 24% относительно средних значений. При благоприятных условиях увеличение дохода по сравнению с усредненными условиями составит около 10%.

Для рассматриваемого хозяйства наилучшим результатов для разных условий производства является первый вариант севооборота.

Приведенные расчеты позволяют сельскохозяйственному товаропроизводителю оценивать доход при благоприятных и неблагоприятных условиях. Поскольку в примере осуществлялся прогноз урожайности, полученные результаты отражают увеличение дохода за

счет ее повышения, которое возможно при использовании оптимальных севооборотов, использовании высокоурожайных районированных сортов, качественной обработке почвы, внесении необходимого количества удобрений и средств защиты растений. Низкий доход отражает неблагоприятные условия, влияние которых на рентабельность предприятия может быть уменьшено, например, с помощью диверсификации производства.

**Основные результаты и обсуждение.** Планирование производства растениеводческой продукции является сложной задачей, поскольку требует прямого или косвенного учета влияния множества факторов. К ним можно отнести: разнообразие природно-климатических, почвенно-биологических, агроландшафтных и организационно-экономических условий [15]; вариацию основных агротехнологических параметров; отсутствие общепринятых нормативов для точного определения уровня урожайности; необходимость учета неблагоприятных событий и пр. [6-8]. Моделирование таких ситуаций и их влияния на производственные процессы позволяет определить стратегию деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя, направленную на повышение прибыли. Для решения этой задачи используются различные подходы, например, применение многоуровневого параметрического программирования, позволяющего планировать объёмы производства с учетом максимизации прибыли или дохода. При этом предлагается учитывать прогнозные значения производственно-экономических показателей и влияние на урожайность сельскохозяйственных культур предшественников. Авторами предложен и реализован алгоритм параметрической оптимизации производства растениеводческой продукции, разделенный на две стадии. В качестве параметра оптимизационной модели предлагается использовать время. При этом для прогнозирования производственно-экономических показателей рекомендуется применять многоуровневые тренды, позволяющие осуществлять прогноз по значениям всего многолетнего ряда, его локальных минимумов и максимумов. С помощью алгоритма реализована многоуровневая параметрическая модель планирования структуры посевов с учетом влияния на урожайность предшественников и прогнозов для разных условий деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей.

**Заключение.** Предложенный алгоритм апробирован на данных о производстве растениеводческой продукции в Черемховском районе и в ООО «Новогромовское» для трех вариантов севооборота. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур осуществлялось с помощью многоуровневых трендов, построенных для всех значений исходного ряда, а также выделенных последовательностей локальных минимумов и максимумов. Алгоритм может применяться на уровне сельскохозяйственных предприятий, муниципальных и агроландшафтных районов. Для реализации приведенного алгоритма с использованием результатов моделирования производства аграрной продукции предлагается создание программного комплекса с интерфейсом системы на основе интегрированной среды разработки Embarcadero Verlin 10.1. Хранение данных предполагается осуществлять с помощью СУБД PostgreSQL. Для выгрузки результатов работы статистической обработки данных, формирования отчетов и графического материала применимо приложение MS Excel. Решение задач линейного программирования осуществимо с помощью программного продукта lp\_solve.

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

#### Список источников

1. Буховец А.Г. Прогнозирование урожайности зерновых культур с помощью динамической модели нормализованного относительного индекса растительности, учитывающей физиологические особенности развития сельскохозяйственных растений / А.Г. Буховец, М.В. Кучеренко, Е.А. Семин // Вестник Воронежского ГАУ, 2021 – № 3 (70). – С. 93-104.

2. Касимова Т.М. Экономико-математическое моделирование и прогнозирование развития регионального агропромышленного комплекса: монография / Т.М. Касимова. – Махачкала: ДГУ, 2017. – 136 с.
3. Обыденнов А.Ю. Параметрическое управление поведением хозяйствующих субъектов в условиях ограниченной рациональности / А.Ю. Обыденнов // Эффективное антикризисное управление, 2017. – № 3(102). – С. 58-67.
4. Рудой Е.В. Прогнозирование научно-технологического развития отрасли растениеводства / Е.В. Рудой // Участие аграрных вузов в научно-техническом обеспечении развития сельского хозяйства: Материалы Всероссийского семинара совещания проректоров по научной работе вузов Минсельхоза России, Курск, 26–29 июня 2018 года. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2018. – С. 48-55.
5. Гордеев А.С. Оптимизация в сельскохозяйственных технологиях / А.С. Гордеев, Б.С. Мишин, Н.П. Гордеева. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 260 с.
6. Барсукова М.Н. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях / М.Н. Барсукова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2020. – № 3 (19). – С. 73-85
7. Иванько Я.М. Многоэтапные модели математического программирования и их приложения в сельском хозяйстве / Я.М. Иванько, М.Н. Полковская, М.Н. Сеницын // System analysis and mathematical modeling, 2024. – Т. 6. – № 1. – С. 47-59. – DOI:10.17150/2713-1734.2024.6(1).47-59.
8. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции. Монография / Я.М. Иванько и др.; под ред. Я.М. Иванько. – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021. – 219 с.
9. Антонова Н.Н. Алгоритм решения двухэтапной минимаксной задачи с линейными ограничениями / Н.Н. Антонова, Л.М. Шевчук // Приближенные методы анализа и их приложения. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1990. – С. 5-10.
10. Зоркальцев В.И. Равновесные модели в экономике и энергетике / В.И. Зоркальцев, О.В. Хамисов // Новосибирск: Наука, 2006. – 221 с.
11. Зайцев А.М. Теоретические основы полевых севооборотов и методология их проектирования в агроландшафтных системах земледелия / А.М. Зайцев, В.И. Солодун // Монография. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2016. – 256 с.
12. Суворова М.А. Исследование многоэтапных стохастических задач принятия решений: дисс. канд. физ. - мат. наук. – СПб, 2004. – 108 с.
13. Бендик Н.В. Математическое и алгоритмическое обеспечение программного комплекса «Многоуровневые модели прогнозирования и планирования аграрного производства» / Н.В. Бендик, Я.М. Иванько, В.В. Цыренжапова // Комплексное развитие территорий в условиях цифровой трансформации: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, Иркутск, 13–14 марта 2024 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 28-34.
14. Дружинин И.П. Динамика многолетних колебаний речного стока. / И.П. Дружинин, В.Р. Смага, А.Н. Шевнин. – М.: Наука, 1991. – 176 с.
15. Тюпаков К.Э. Особенности эффективного формирования и воспроизводства технико-технологической базы растениеводства: монография / К.Э. Тюпаков. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 274 с.

**Иванько Ярослав Михайлович.** Доктор технических наук, профессор, проректор по цифровой трансформации, профессор кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. Основные научные интересы: математическое моделирование разных аспектов получения продовольственной продукции с учетом климатических, техногенных и биологических рисков. AuthorID: 106394, SPIN: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iasa\_econ@rambler.ru. 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный.

**Полковская Марина Николаевна.** Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского, ORCID: 0000-0002-9646-1818, SPIN: 4833- 9212, polk\_mn@mail.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный.

**Сеницын Максим Николаевич.** Аспирант кафедры информатики и математического моделирования, институт экономики, управления и прикладной информатики Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского, SPIN: 8214-2809, AuthorID: 1135605, maks.sinitsyn.94@mail.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный.

UDC 004.94:633/.635

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.008

## **The algorithm of parametric modeling of agricultural production, taking into account the predecessors**

**Yaroslav M. Ivanyo, Marina N. Polkovskaya, Maxim N. Sinitsyn**

Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky,

Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, *iy mex@rambler.ru*

**Abstract.** The article presents a parametric model for optimizing the production of crop products taking into account multi-level trends in crop yields and different predecessors. An algorithm for solving a parametric problem is proposed, which is tested on data on the production of crop products of a municipal district and an agricultural organization. The application of the developed model allows us to assess the prospects of production activities of enterprises under average, favorable and unfavorable conditions with different combinations of predecessors.

**Keywords:** algorithm, parametric model, multilevel modeling, agricultural production

**Acknowledgements:** The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 24-21-00502.

### **References**

1. Bukhovets A.G., Kucherenko M.V., Semin E A. Prognozirovaniye urozhaynosti zernovykh kul'tur s pomoshch'yu dinamicheskoy modeli normalizovannogo otnositel'nogo indeksa rastitel'nosti, uchityvayushchey fiziologicheskoye osobennosti razvitiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy [Forecasting the yield of grain crops using a dynamic model of the normalized relative vegetation index, taking into account the physiological characteristics of the development of agricultural plants]. Vestnik Voronezhskogo GAU [Bulletin of the Voronezh state agrarian university], 2021, no. 3 (70), pp. 93-104.
2. Kasimova T.M. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye i prognozirovaniye razvitiya regional'nogo agropromyshlennogo kompleksa [Economic and mathematical modeling and forecasting the development of the regional agro-industrial complex]. Makhachkala, DSU, 2017, 136 p.
3. Obydenov A.Yu. Parametricheskoye upravleniye povedeniyem khozyaystvuyushchikh sub'yektov v usloviyakh ogranichennoy ratsional'nosti [Parametric control of the behavior of economic entities in conditions of limited rationality]. Effektivnoye antikrizisnoye upravleniye [Effective anti-crisis management], 2017, no. 3(102), pp. 58-67.
4. Rudoy Ye.V. Prognozirovaniye nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya otrasli rasteniyevodstva [Forecasting the scientific and technological development of the crop production industry]. Uchastiye agrarnykh vuzov v nauchno-tekhnicheskoy obespechenii razvitiya sel'skogo khozyaystva: Materialy Vserossiyskogo seminarov soveshchaniya prorektorov po nauchnoy rabote vuzov Minsel'khoza Rossii [Participation of agricultural universities in scientific and technical support for the development of agriculture: Proceedings of the All-Russian seminar of the meeting of vice-rectors for scientific work of universities of the Ministry of Agriculture of Russia]. Kursk: Kurskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya im. professora I.I. Ivanova [Kursk: Kursk state agricultural academy named after Professor I.I. Ivanov], 2018, pp. 48-55.
5. Gordeyev A.S., Mishin B.S., Gordeyeva N.P. Optimizatsiya v sel'skokhozyaystvennykh tekhnologiyakh [Optimization in agricultural technologies]. St. Petersburg, Lan, 2024, 260 p.
6. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Ob odnoy modeli optimizatsii proizvodstva agrarnoy produktsii v blagopriyatnykh i neblagopriyatnykh vneshnikh usloviyakh [On one model of optimization of agricultural production in favorable and unfavorable external conditions]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2020, no. 3 (19), pp. 73-85.
7. Ivanyo Ya.M., Polkovskaya M.N., Sinitsyn M.N. Mnogoetapnyye modeli matematicheskogo programmirovaniya i ikh prilozheniya v sel'skom khozyaystve [Multi-stage models of mathematical programming and their applications in agriculture]. System analysis and mathematical modeling [System analysis and mathematical modeling], 2024, vol. 6, no. 1, pp. 47-59, DOI:10.17150/2713-1734.2024.6(1).47-59.
8. Matematicheskiye i tsifrovyye tekhnologii optimizatsii proizvodstva prodovol'stvennoy produktsii [Mathematical and digital technologies for optimizing food production]. Ivanyo Ya.M. et al.; edited by Ivanyo Ya.M. Molodezhny, Molodezhnyy: Izd-vo Irkutskiy GAU [Irkutsk state agrarian university publishing house], 2021, 219 p.

9. Antonova N.N., Shevchuk L.M. Algoritm resheniya dvukhetapnoy minimaksnoy zadachi s lineynymi ogranicheniyami [Algorithm for solving a two-stage minimax problem with linear constraints]. Ariblizhennyye metody analiza i ikh prilozheniya. Irkutsk: SEI SO AN SSSR [Approximate methods of analysis and their applications. Irkutsk: SEI SB RAS USSR], 1990, pp. 5-10.
10. Zorkal'tsev V.I., Khamisov O.V. Ravnovesnyye modeli v ekonomike i energetike [Equilibrium models in economics and energy]. Novosibirsk, Nauka, 2006, 221 p.
11. Zaytsev A.M., Solodun V.I. Teoreticheskiye osnovy polevykh sevooborotov i metodologiya ikh proyektirovaniya v agrolandshaftnykh sistemakh zemledeliya [Theoretical foundations of field crop rotations and methodology of their design in agro-landscape farming systems]. Irkutsk, LLC "Megaprint", 2016, 256 p.
12. Suvorova M.A. Issledovaniye mnogoetapnykh stokhasticheskikh zadach prinyatiya resheniy: dissertatsiya kand. fiz. - mat. nauk [Study of multi-stage stochastic decision-making problems: dissertation of candidate of physical and mathematical sciences], St. Petersburg, 2004, 108 p.
13. Bendik N.V., Ivanyo Ya.M., Tsyrenzhapova V.V. Matematicheskoye i algoritmicheskoye obespecheniye programmnoy kompleksa "Mnogourovnevnyye modeli prognozirovaniya i planirovaniya agrarnogo proizvodstva" [Mathematical and algorithmic support of the software package "Multi-level models of forecasting and planning of agricultural production"]. Kompleksnoye razvitiye territoriy v usloviyakh tsifrovoy transformatsii : Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu FGBOU VO Irkutskiy GAU [Integrated development of territories in the context of digital transformation: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Irkutsk state agrarian university]. Molodezhnyy: Irkutskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. A.A. Ezhevskogo, 2024, pp. 28-34.
14. Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevchin A.N. Dinamika mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka [Dynamics of long-term fluctuations in river runoff]. Moscow, Nauka, 1991, 176 p.
15. Tyupakov K.E. Osobennosti effektivnogo formirovaniya i vosproizvodstva tekhniko-tekhnologicheskoy bazy rasteniyevodstva [Features of effective formation and reproduction of the technical and technological base of plant growing]. Krasnodar, KubGAU, 2016, 274 p.

**Ivanyo Yaroslav Mikhailovich.** Doctor of technical sciences, professor. Position: vice-rector for Digital transformation, professor of the Department of informatics and mathematical modeling, Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky. Main scientific interests: mathematical modeling of various aspects of obtaining food products, taking into account climatic, technogenic and biological risks. AuthorID: 106394, SPIN: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iasa\_econ@rambler.ru, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny.

**Marina Nikolaevna Polkovskaya.** Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of informatics and mathematical modeling Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky, AuthorID: 712959, SPIN: 4833-9212, ORCID: 0000-0002-9646-1818, polk\_mn@mail.ru, Russia, Irkutsk Region, Irkutsk region, Molodezhny.

**Sinitsyn Maxim Nikolaevich.** Postgraduate student of the Department of informatics and mathematical modeling, institute of economics, Management and applied informatics. Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky. SPIN: 8214-2809, AuthorID: 1135605, maks.sinitsyn.94@mail.ru, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny.

Статья поступила в редакцию 02.09.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 11.02.2025.

The article was submitted 09/02/2024; approved after reviewing 11/22/2024; accepted for publication 02/11/2025.