

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ В БЛАГОПРИЯТНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ

Барсукова Маргарита Николаевна

к.т.н., доцент кафедры информатики и математического моделирования,

e-mail: margarita1982@bk.ru,

Иваньо Ярослав Михайлович

д.т.н., профессор, проректор по научной работе,

e-mail: rector@igsha.ru,

Петрова Софья Андреевна

к.т.н., доцент кафедры информатики и математического моделирования,

e-mail: sofia.registration@mail.ru,

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
664038, Иркутский р-он, п. Молодежный.

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования многолетних временных рядов с использованием метода многоуровневого деления последовательностей. Верхний уровень выделенного ряда отражает благоприятные условия получения продукции, нижний – характеризует неблагоприятную ситуацию, а промежуточный – свидетельствует о некотором усредненном варианте деятельности аграрного предприятия. При этом использованы линейные и нелинейные тренды с уровнем насыщения, позволяющие прогнозировать показатели биопродуктивности сельскохозяйственных культур в благоприятных, неблагоприятных и усредненных условиях на среднесрочную и долгосрочную перспективы. Предложенные многоуровневые тренды применены в модели параметрической оптимизации производства аграрной продукции. Модели реализованы на реальных объектах и могут быть использованы для управления аграрным производством.

Ключевые слова: оптимизация, многоуровневая модель, тренд, прогнозирование, аграрное производство, управление.

Цитирование: Барсукова М.Н., Иваньо Я.М., Петрова С.А. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 73-85. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.008.

Введение. Статистический анализ производственно-экономических показателей деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей показывает, что значения многих из них могут быть описаны с помощью трендов, факторных, авторегрессионных и смешанных моделей [2-7, 11, 18-20]. При этом в рядах, характеризующих урожайность сельскохозяйственных культур, трудозатраты на производство сельскохозяйственной продукции и цены на продовольственную продукцию, можно обнаружить аномальные значения [18, 19 и др.].

При описании рядов с аномальными значениями применимы два варианта их математического описания. В первом случае подбирается модель, описывающая всю последовательность. Чаще всего подобные модели представлены стохастическими или случайными рядами с малыми значимыми первыми коэффициентами автокорреляции [11]. Во втором случае предлагается аномальные значения выделять из ряда и рассматривать причинно-следственные связи их формирования [12]. Другая же часть последовательности, как правило, может быть описана значимыми регрессионными выражениями.

В работе предлагается несколько другой подход. При большом ряде значений производственно-экономического показателя его можно разделить на три группы уровней – низкие, высокие и средние. Подобная градация временного ряда была предложена в работах [8, 9] при исследовании изменчивости средних годовых температур воздуха и расходов воды рек. Низкие значения ряда характеризуют работу сельскохозяйственного товаропроизводителя в неблагоприятных (благоприятных) условиях. При высоких значениях показателя деятельность хозяйства осуществляется в благоприятных (неблагоприятных) условиях. Эти два случая можно использовать для моделирования выделенных последовательностей, характеризующих хорошие и плохие условия производства.

Таким образом, определяется диапазон изменчивости показателей деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей с учетом непредсказуемой вариации внешних условий в эпоху изменения климата [11, 13, 21]. Предложенный метод градаций временных рядов можно использовать для планирования производства сельскохозяйственной продукции на различную перспективу: краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную. В частности, в Иркутской области разрабатываются программы социально-экономического и сельскохозяйственного развития на многолетнюю перспективу [15, 16], требующие прогностических оценок с учетом рисков, вызванных непредсказуемыми внешними факторами. Управление рисками является отдельной задачей любой отрасли экономики и требует разностороннего изучения [11, 12, 14 и др.].

Цель данной работы состоит в разработке и реализации модели параметрического программирования для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить две задачи: 1) спрогнозировать производственно-экономические параметры аграрного производства на основе многоуровневой модели; 2) построить модели параметрического программирования для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с использованием среднесрочного и долгосрочного прогноза.

Материалы и методы. В работе использованы многолетние данные об урожайности сельскохозяйственных культур в Иркутском районе и сведения о метеорологических параметрах. Для определения экстремальных точек применен метод многоуровневой иерархии. Прогнозирование параметров осуществлено при помощи корреляционно-регрессионного анализа. Прогностические значения производственно-экономических показателей использованы для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции. Для решения экстремальной задачи применены методы параметрического программирования с детерминированными и неопределенными показателями [1, 2, 5, 6, 10, 17].

Основные результаты. В работе использован подход, когда большой ряд значений показателя разделяется на низкие, высокие и средние уровни [8, 9]. Последовательность значений нижнего и верхнего уровня характеризует некоторые пиковые ситуации негативного и позитивного характера, связанные с производством. Точки, находящиеся между пиковыми значениями, описывают некоторые усредненные условия производства. На основании этого метода построены линейные и нелинейные аналитические функции урожайности зерновых культур для Иркутской области и Иркутского района (рис. 1, 2 и 4). При этом исходные данные урожайности зерновых культур содержат сведения за период 1950 - 2018 гг., а аналитические прямые - дополнительно 6 прогнозных точек до 2024 г.

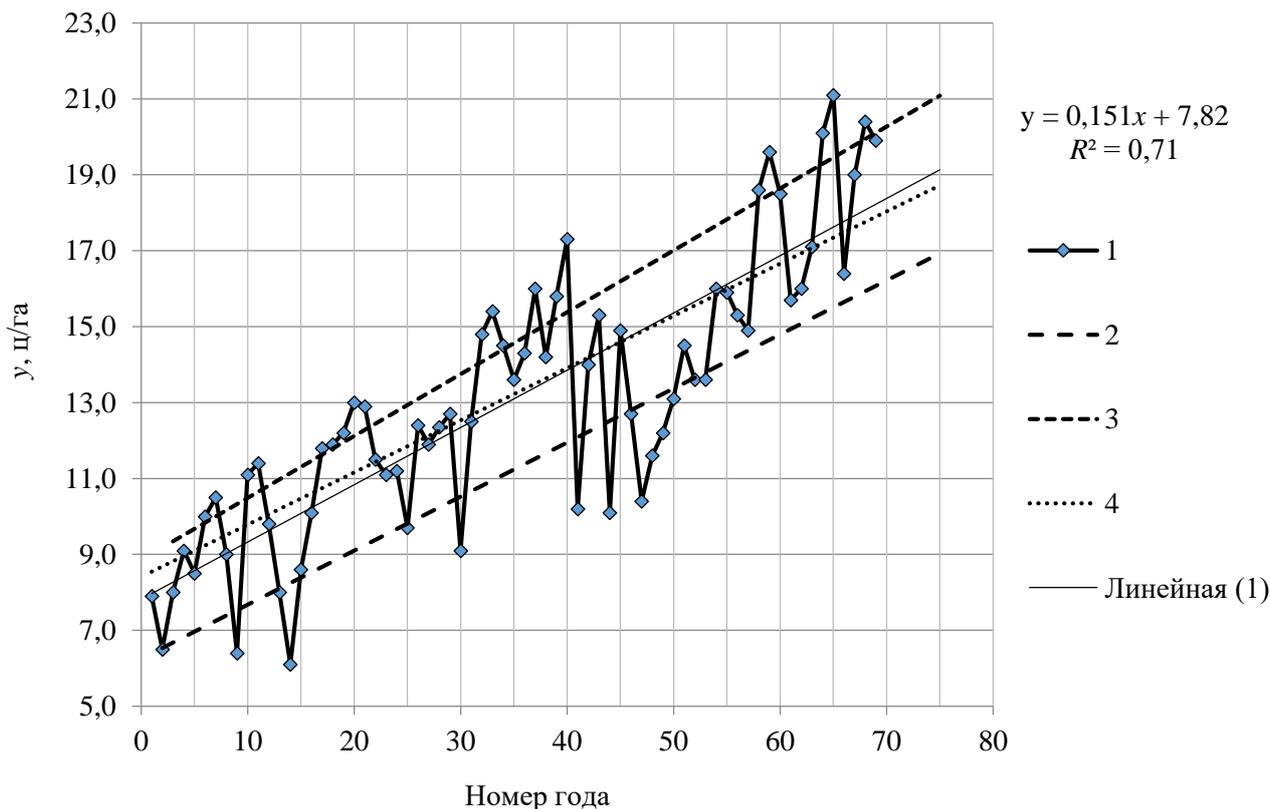


Рис. 1. Линейные тренды урожайности зерновых культур в Иркутской области с прогнозными значениями по данным за 1950 - 2024 гг.

1 – исходный ряд урожайности зерновых культур за 1950 - 2018 гг.

2 – тренд нижнего уровня урожайности зерновых за период 1950 - 2024 гг.

3 – тренд верхнего уровня урожайности зерновых.

4 – тренд среднего уровня урожайности зерновых.

Линейная (1) – тренд, построенный по данным исходного ряда урожайности зерновых.

В отличие от линейной зависимости, значения которой не ограничены по оси ординат, при построении нелинейной функции использована формула, учитывающая ограничение роста:

$$y = y_{\max} - (y_{\max} - y_{\min})e^{-kt}, \quad (1)$$

где y_{\min} , y_{\max} - минимальное и максимальное значение ряда, k - скорость роста, t - время.

Для использования формулы (1) необходимо знать минимальное и максимальное значения функции. В приведенном примере (рис. 2) экстремальные значения определены

как наименьшие и наибольшие значения выделенных трех эмпирических последовательностей, характеризующих благоприятные, неблагоприятные и усредненные условия аграрного производства. Очевидно, что величины y_{min} и y_{max} помимо гидрометеорологических условий связаны с уровнем технологии производства, который планирует сельскохозяйственное предприятие на некоторую перспективу. Поэтому экстремальные показатели могут быть заданы экспертной оценкой. При этом максимальное значение связано с периодом планирования. Нет сомнения, что для долгосрочного периода y_{max} будет выше, чем для краткосрочного отрезка времени.

На рис. 2 показаны худший, лучший и промежуточный варианты получения урожайности зерновых культур до 2024 г. по данным Иркутской области.

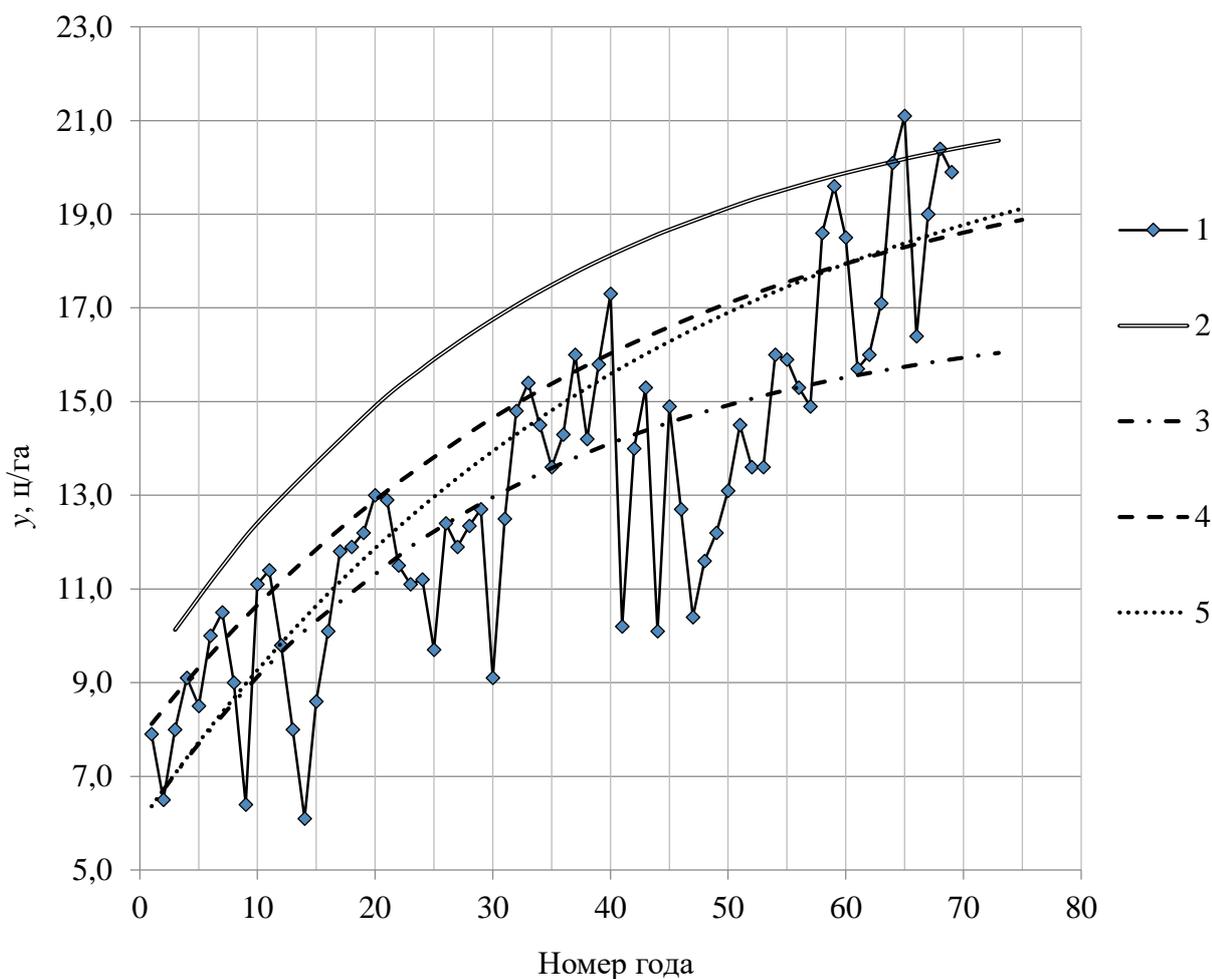


Рис. 2. Нелинейные аналитические кривые урожайности зерновых культур в Иркутской области за период 1950 - 2024 гг.

- 1 – исходный ряд урожайности зерновых культур за 1950 - 2018 гг.
- 2 – аналитическая кривая верхнего уровня урожайности зерновых.
- 3 – аналитическая кривая нижнего уровня урожайности зерновых.
- 4 – аналитическая кривая среднего уровня урожайности зерновых.
- 5 – аналитическая кривая, построенная по параметрам общего ряда урожайности зерновых.

В дополнение к рис. 2 построена разностная интегральная кривая урожайности зерновых культур для региона (рис. 3). Здесь ψ – модульный коэффициент, равный отношению каждого значения урожайности к среднему за рассматриваемый период.

Нетрудно заметить, что рассматриваемую кривую можно охарактеризовать четырьмя периодами с разными трендами: 1) 1950 - 1980 гг.; 2) 1981 - 1989 гг.; 3) 1990 - 1999 гг.; 4) 2000 - 2018 гг.

Для четвертого периода характерно заметное увеличение урожайности. Вместе с тем наблюдается тенденция замедления роста и увеличение колебаний рассматриваемого показателя.

В дополнение к результатам моделирования урожайности зерновых для региона на рис. 4 приведены аналитические функции урожайности пшеницы, ячменя и овса в Иркутском районе с прогнозными значениями до 2024 г.

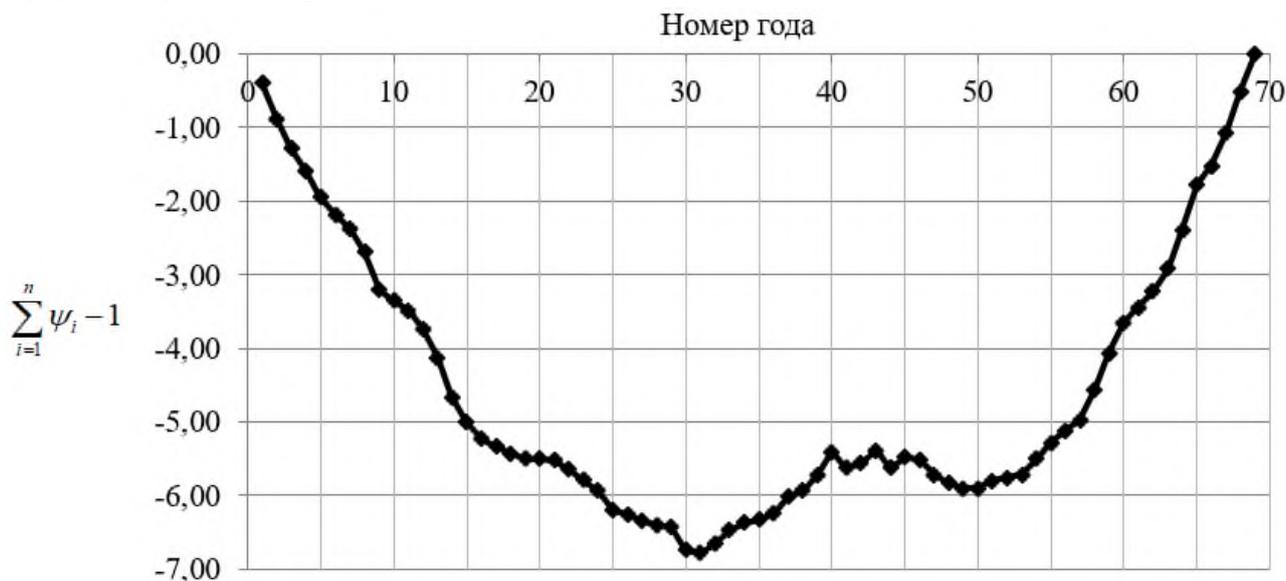


Рис. 3. Разностная интегральная функция модульных коэффициентов урожайности зерновых культур в Иркутской области за период 1950 - 2024 гг.

По аналогии с результатами моделирования по данным региона имеют место сильные колебания показателя. Максимальные значения урожайности получены по эмпирическим данным. В табл. 1 приведены нелинейные модели динамики урожайности пшеницы, ячменя и овса для трех уровней ряда по сведениям Иркутского района.

Таблица 1. Модели с насыщением для трех уровней ряда урожайности зерновых в Иркутском районе, построенные по данным 1996 - 2018 гг.

Зерновая культура	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации (R^2)	Модуль t -статистики
Нижний уровень урожайности			
Пшеница	$y = 18 - 7,5e^{-0,108t}$	0,71	4,16
Ячмень	$y = 17 - 10,5e^{-0,137t}$	0,67	3,49
Овес	$y = 17 - 9,5e^{-0,128t}$	0,73	4,00
Средний уровень урожайности			
Пшеница	$y = 20,5 - 9e^{-0,107t}$	0,86	7,54
Ячмень	$y = 20 - 8,5e^{-0,100t}$	0,78	6,24
Овес	$y = 19 - 7e^{-0,0912t}$	0,54	3,58
Верхний уровень урожайности			
Пшеница	$y = 25 - 12e^{-0,109t}$	0,75	4,59
Ячмень	$y = 25 - 10,5e^{-0,0959t}$	0,47	2,29
Овес	$y = 21 - 4,5e^{-0,0799t}$	0,66	3,42

Согласно табл. 1, уравнения регрессии значимы. Исключение составляет верхний уровень урожайности ячменя. Тем не менее, результаты моделирования с использованием трехуровневой оценки динамики производственно-экономических показателей можно применить для построения моделей параметрического программирования при определении оптимальных планов объемов производства аграрной продукции. Подобная экстремальная задача позволяет оценивать деятельность товаропроизводителя в разных условиях: худших, усредненных и лучших на перспективу.

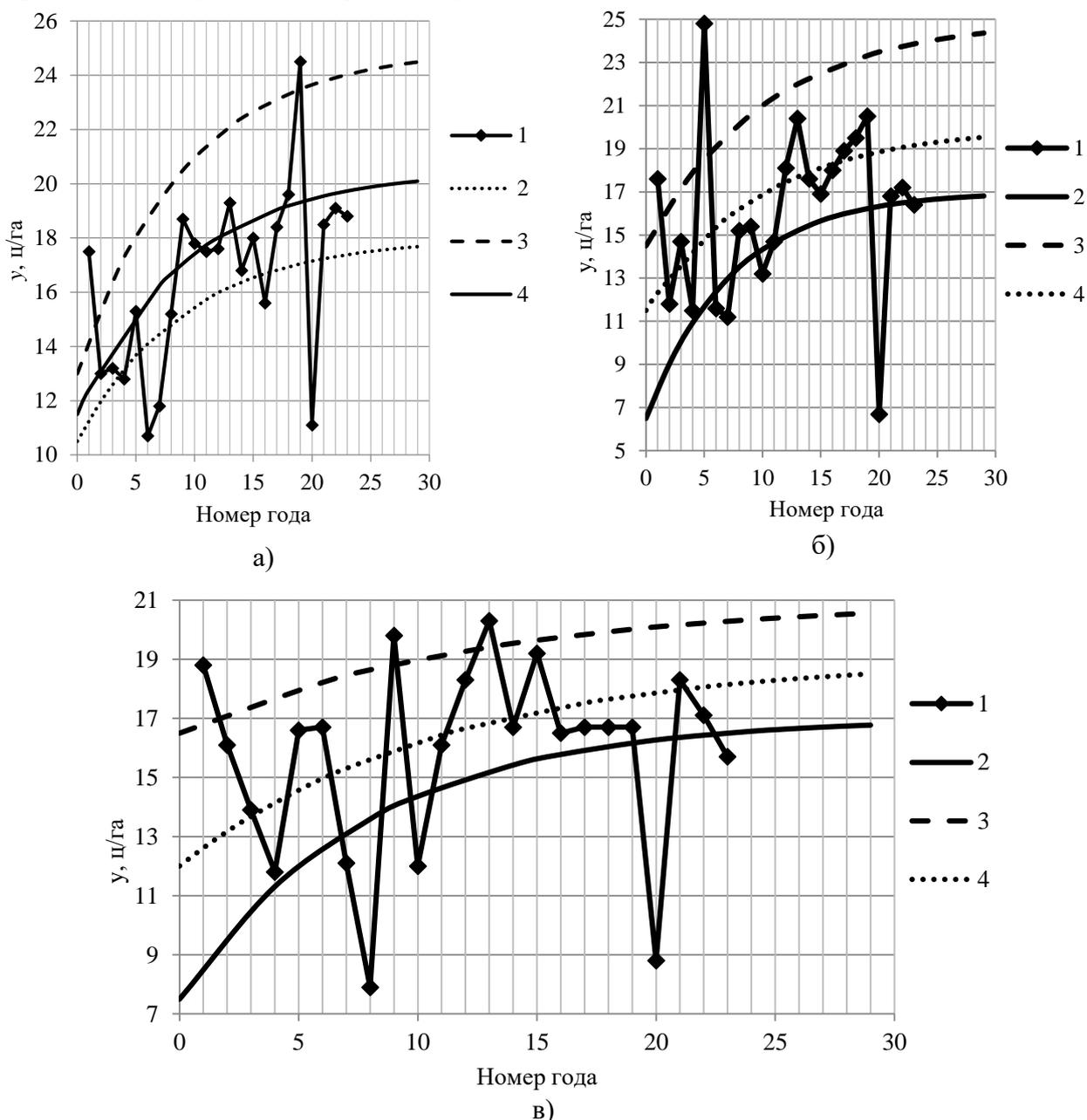


Рис. 4. Тренды урожайности зерновых культур в Иркутском районе с прогнозными значениями до 2024 г. по данным за 1996-2018 гг.:
а – пшеница; б – ячмень; в – овес;

- 1 – исходный ряд урожайности определенного вида зерновых (за период 1996 - 2018 гг.).
- 2 – тренд нижнего уровня урожайности (за период 1996 - 2024 гг.).
- 3 – тренд верхнего уровня урожайности (за период 1996 - 2024 гг.).
- 4 – тренд среднего уровня урожайности (за период 1996 -2024 гг.).

Математическая модель оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом параметра в левой части ограничений записывается в следующем виде.

Целевая функция характеризует максимум дохода сельскохозяйственного предприятия:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s \rightarrow \max, \quad (2)$$

при условиях:

1) ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} f_{ls} x_s \leq F_l, \quad l \in L \quad (3)$$

2) ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{n}_r, \quad r \in R \quad (4)$$

3) производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(t) x_s \geq V_q, \quad q \in Q_1 \quad (5)$$

4) определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms} \leq B_m, \quad m \in M \quad (6)$$

5) неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0 \quad (7)$$

где x_s - искомая переменная, площадь культуры s или вида кормовых угодий; c_s - затраты на 1 га s -культуры или вида кормовых угодий; f_{ls} - расход ресурса l на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; F_l - наличие ресурса l -вида; V_q - гарантированный (обязательный) объем производства продукции вида q ; \bar{n}_r \underline{n}_r - максимально и минимально возможная площадь культур группы r ; $v_{qs}(t)$ - соответственно выход товарной продукции q -вида с единицы площади культуры s ; α_s - коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры s ; b_{ms} - расход m -удобрений и средств защиты на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; B_m - необходимый объем удобрений вида m .

В модели (2) – (7) левая часть ограничения (5) зависит от параметра t , который представляет собой время. При этом функция $v_{qs}(t)$ может быть описана в виде линейного и нелинейного выражения. В частности, для рассмотренных выше ситуаций (рис. 1 и 2) показатель выхода товарной продукции примет вид:

$$v_{qs} = \alpha_{0qs} + \alpha_{1qs} t, \quad (8)$$

$$\text{или } v_{qs} = v_{qs}^{\max} - (v_{qs}^{\max} - v_{qs}^{\min}) e^{-\alpha_{qs} t}, \quad (9)$$

где v_{qs}^{\max} , v_{qs}^{\min} - верхняя и нижняя оценки выхода продукции вида q с единицы площади культуры s ; α_{0qs} , α_{1qs} , α_{qs} - коэффициенты выражений (8) и (9).

Следует отметить, что часть показателей предложенной модели могут представлять собой интервальные или вероятностные оценки, что усложняет решение задачи [22-24].

Между тем, в предложенном варианте задача математического программирования (2) – (9) позволяет получать решения в некоторых диапазонах, характеризующих плохие и хорошие результаты.

Для примера, модель (2) – (9) реализована применительно к сельскохозяйственному предприятию Иркутского района для трех случаев: благоприятный, неблагоприятный и усредненный или промежуточный (табл. 2).

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

Год	Урожайность сельскохозяйственной культуры, ц/га			Оптимальный план, т						Значение целевой функции, тыс. руб.
				Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Многолетние травы на семена	Рапс	
	Пшеница	Ячмень	Овес	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	
При низкой урожайности (наихудшие условия, прогноз урожайности)										
2020	17,5	16,7	16,6	3675,6	809,5	332,2	9008,16	170,14	183,6	149 890,8
2022	17,6	16,7	16,7	3696,0	813,5	334,0	9931,50	177,01	191,0	160 566,5
2024	17,7	16,8	16,8	3712,4	816,5	335,4	10949,47	184,16	198,7	172 249,7
При высокой урожайности (наилучшие условия, прогноз урожайности)										
2020	24,2	24,0	20,4	5085,3	1168,6	407,7	9008,16	170,14	183,6	167 293,3
2022	24,4	24,2	20,5	5117,6	1176,7	409,5	9931,50	177,01	191,0	178 120,4
2024	24,5	24,4	20,6	5143,5	1183,4	411,1	10949,47	184,16	198,7	189 929,7
При усредненной урожайности (прогноз урожайности)										
2020	19,9	19,3	18,3	4174,9	938,2	365,6	9008,16	170,14	183,6	156 130,7
2022	20,0	19,4	18,4	4199,9	944,3	368,0	9931,50	177,01	191,0	166 876,4
2024	20,1	19,5	18,5	4220,2	949,3	370,0	10949,47	184,16	198,7	178 620,1

В табл. 2 приведены варианты развития предприятия. Расхождения между низкими и высокими значениями целевой функции составляют 10 – 11%, а динамика увеличения дохода соответствует 13,5 – 14,9%.

Заключение. Предложена методика среднесрочного и долгосрочного прогнозирования производственно-экономических показателей сельскохозяйственного производства на основе деления временного ряда на нижний, верхний и промежуточный уровни.

В качестве моделей прогнозирования использованы линейные и нелинейные зависимости. Нелинейный тренд представляет собой аналитическое выражение с управляемой верхней оценкой, которая характеризует ограничение уровня роста. При этом модели прогнозирования использованы для описания различных ситуаций – благоприятных, неблагоприятных и усредненных.

Предложена модель параметрического программирования для планирования производства аграрной продукции на среднесрочную и долгосрочную перспективу в благоприятных, неблагоприятных и усредненных условиях деятельности аграрного предприятия. Оптимизационная модель применена для сельскохозяйственной организации Иркутского района ЗАО «Иркутские семена».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисян А.Г., Гюльзадян Л.С. Метод решения задач параметрического линейного программирования, основанный на дифференциальных преобразованиях // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 324. № 2. С. 25-30.
2. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. Пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк. 1993. 336 с.
3. Астафьева М.Н., Иваньо Я.М., Петрова С.А. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири // Экологический вестник. 2013. № 3 (25). С. 13-18.
4. Барсукова М.Н., Иваньо Я.М. Приложения параметрического программирования для решения задач оптимизации получения продовольственной продукции // Вестник ИрГТУ. 2017. Т.21. № 4. С. 57-66.
5. Барсукова М.Н., Петрова С.А. О возможностях приложения задач параметрического программирования с авторегрессионными моделями // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых (5 апреля 2017 года). Иркутск: Издательство Иркутского ГАУ. 2017. С. 14-23.
6. Беякова А.Ю., Иваньо Я.М., Петрова С.А. Об одной модели параметрического программирования производства аграрной продукции с учетом проявления гидрологического события // Актуальные вопросы аграрной науки. Иркутск: Издательство Иркутского ГАУ. 2016. Вып. 19. С. 41-49.
7. Болгов М.В. Современное состояние теории корреляции для гидрологических расчетов и стохастического моделирования // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 7-20.
8. Дружинин И.П. Долгосрочный прогноз и информация. М.: Изд-во Наука. 1987. 255 с.
9. Дружинин И.П., Смага В.Р., Шевнин А.Н. Динамика многолетних колебаний речного стока. М: Наука. 1991. 176 с.
10. Елохин В.Р. Об оптимизационных моделях планирования сельскохозяйственного производства // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2009. № 3. С. 137-141.
11. Иваньо Я.М. Изменчивость климатических характеристик и аграрное производство // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Сб. статей международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования ИрГСХА (25-29 мая 2009 г.). Иркутск: НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2009. С.31-38.
12. Иваньо Я.М., Петрова С.А. О двух алгоритмах оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом оценок редких природных событий // Научно-практический и информационно-аналитический журнал «Экологический вестник». Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова. 2013. №2 (24). С. 91-97.
13. Катцов В.М., Мелешко В.П., Хлебникова Е.И., Школьник И.М. Оценка климатических воздействий на сельское хозяйство России в первой половине XXI века: современные возможности физико-математического моделирования // Агрофизика. 2011. № 3. С. 22-30.

14. Массель Л.В., Гергет О.М., Массель А.Г., Мамедов Т.Г. Использование машинного обучения в ситуационном управлении применительно к задачам электроэнергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2019. № 3 (15). С. 5-17.
15. Постановление правительства Иркутской области от 26 октября 2018 г. N 772-пп Об утверждении государственной программы Иркутской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» на 2019 - 2024 годы.
16. Проект стратегии социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года. Режим доступа: <https://irkobl.ru/sites/economy/socio-economic/project2036> (дата обращения: 04.06.2020)
17. Салимоненко Д.А. Способ решения задачи линейного программирования с переменными коэффициентами в виде параметрических функций // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 1. С. 25-29.
18. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография /под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. Иркутск: Изд-во ООО «Мегапринт», 2019. Ч. 1. 319 с.
19. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография / под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. Иркутск: Изд-во ООО «Мегапринт». 2019. Ч. 2. 321 с.
20. Суховольский В.Г. Экономика живого: Оптимизационный подход к описанию процессов в экологических сообществах и системах / Отв. ред. Р.Г. Хлебопрос. Новосибирск: Наука. 2004. 140 с.
21. Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Салль И.А., Ефимов С.В., Школьник И.М. Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 11-23.
22. Chiadamrong N., Piyathanavong V. Optimal design of supply chain network under uncertainty environment using hybrid analytical and simulation modeling approach // Journal of Industrial Engineering International. 2017. vol. 13. pp. 465-478.
23. Domptail Stephanie, Nuppenau Ernst-August The role of uncertainty and expectations in modeling (range) land use strategies: An application of dynamic optimization modeling with recursion // Ecological Economics. Elsevier. 2010. vol. 69 (12). Pp. 2475-2485.
24. Sahinidis Nikolaos V. Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities // Computers and Chemical Engineering. 28 (2004). Pp. 971-983.

UDK 004.94:633/635

ABOUT ONE MODEL OF OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN FAVORABLE AND UNFAVORABLE EXTERNAL CONDITIONS

Margarita N. Barsukova

candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of informatics and mathematical modeling,
e-mail: margarita1982@bk.ru,

Sofia A. Petrova

candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of informatics and mathematical modeling,
e-mail: sofia.registration@mail.ru,

Yaroslav M. Ivanyo

doctor of technical sciences, Professor, Vice-Rector for Research
e-mail: rector@igsha.ru,
Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
664038, Irkutsk district, n Molodezhnyy.

Abstract. In the article, the results of modeling of long standing time series with using the method of multilevel division of sequences were presented. The upper level of the selected series reflects favorable conditions of obtaining products, the lower one characterizes an unfavorable situation, and the intermediate one indicates a certain averaged version of the activity of an agricultural enterprise. At same time, linear and nonlinear trends with saturation level were used, which make it possible to predict indicators of biological productivity of agricultural crops in favorable, unfavorable and average conditions for medium and long term perspectives. The proposed multilevel trends in the parametric model of optimizing of production of agricultural products were applied. The models on real objects were implemented. These models can be used to management agricultural production.

Keywords: optimization, multilevel model, trend, forecasting, agricultural production, management.

References

1. Avetisyan A.G., Gyul'zadyan L.S. Metod resheniya zadach parametriceskogo lineynogo programmirovaniya, osnovanny na differentsial'nykh preobrazovaniyakh [The method of solving parametric linear programming problems, based on differential transformations] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Tomsk Polytechnic University. 2014. T. 324. № 2. Pp. 25-30. (in Russian).
2. Akulich I.L. Matematicheskoye programmirovaniye v primerakh i zadachakh [Mathematical programming in examples and problems]: Ucheb. Posobiye. 2-ye izd., ispr. i dop. M.: Vyssh. shk. 1993. 336 p. (in Russian).
3. Astaf'yeva M.N., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti izmenchivosti klimaticheskikh parametrov i produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na yuge Vostochnoy Sibiri [Spatio-temporal regularities of variability of the climatic and production parameters in the south of Eastern of Siberia] // Ekologicheskiy vestnik = Ecological bulletin. 2013. № 3 (25). Pp. 13-18. (in Russian).
4. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M. Prilozheniya parametriceskogo programmirovaniya dlya resheniya zadach optimizatsii polucheniya prodovol'stvennoy produktsii [Applications of

- parametric programming for solving problems of optimizing of obtaining of food products] // Vestnik IrGTU = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2017. Volume 21. № 4. Pp. 57-66. (in Russian).
5. Barsukova M.N., Petrova S.A. O vozmozhnostyakh prilozheniya zadach parametricheskogo programmirovaniya s avtoregressionnymi modelyami [About the possibilities of application of problems of parametric programming with autoregression models] // Nauchnyye issledovaniya i razrabotki k vnedreniyu v APK: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh (Irkutsk, April 5, 2017). Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskogo GAU=Publishing house of Irkutsk GAU. 2017. Pp. 14-23. (in Russian).
6. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Ob odnoy modeli optimizatsii proizvodstva agrarnoy produktsii v blagopriyatnykh i neblagopriyatnykh vneshnikh usloviyakh // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii / Tezisy XXV Baykal'skoy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii» i molodezhnoy shkoly-seminara (Irkutsk, July 01-09, 2020). Irkutsk: ISEM SO RAN = ESI SB RAS. 2020. 61p. (in Russian).
7. Bolgov M.V. Sovremennoye sostoyaniye teorii korrelyatsii dlya gidrologicheskikh raschetov i stokhasticheskogo modelirovaniya [Contemporary state of the correlation theory for hydrological computations and stochastic simulation] // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye = Water industry of Russia: problems, technologies, management. 2012. № 4. Pp. 7-20. (in Russian).
8. Druzhinin I.P. Dolgosrochnyy prognoz i informatsiya [Long-term forecast and information]. M.: Izd-vo Nauka= Publishing house Science. 1987. 255 p. (in Russian).
9. Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevnin A.N. Dinamika mnogoletnykh kolebaniy rechnogo stoka [Dynamics of long-term fluctuations of river flow]. M: Nauka= Publishing house Science. 1991. 176 p. (in Russian).
10. Yelokhin V.R. Ob optimizatsionnykh modelyakh planirovaniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [About optimization models of planning of agricultural production] // Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy. 2009. № 3. Pp. 137-141. (in Russian).
11. Ivanyo Ya.M. Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik i agrarnoye proizvodstvo [Variability of climatic characteristics and agricultural production] // Klimat, ekologiya, sel'skoye khozyaystvo Yevrazii: Sb. statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu obrazovaniya IrGSKHA ((Irkutsk, May 25-29, 2009). Irkutsk: NTS RVKH VSNTS SO RAMN. 2009. Pp.31-38. (in Russian).
12. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. O dvukh algoritmakh optimizatsii proizvodstva rasteniyevodcheskoy produktsii s uchetom otsenok redkikh prirodnykh sobyitiy [About two algorithms of optimization of crop production considering rare natural events] // Nauchno-prakticheskii i informatsionno-analiticheskii zhurnal «Ekologicheskii vestnik» = Scientific-practical and information-analytical journal "Ecological Bulletin". Minsk: MGEU im. A.D. Sakharova. 2013. № 2 (24). Pp. 91-97. (in Russian).
13. Kattsov V.M., Meleshko V.P., Khlebnikova Ye.I., Shkol'nik I.M. Otsenka klimaticheskikh vozdeystviy na sel'skoye khozyaystvo Rossii v pervoy polovine XXI veka: sovremennyye vozmozhnosti fiziko-matematicheskogo modelirovaniya [Assessment of climatic impacts on agriculture in Russia in the first half of the XXI century: modern possibilities of physical-mathematical modeling] // Agrofizika = Agrofizika. 2011. № 3. Pp. 22-30. (in Russian).

14. Massel L.V., Gerget O.M., Massel A.G., Mamedov T.G. Ispol'zovaniye mashinnogo obucheniya v situatsionnom upravlenii primenitel'no k zadacham elektroenergetiki [The use of machine learning in situational management in relation to the tasks of the power industry] // *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management*. Irkutsk: ISEM SO RAN. 2019. № 3 (15). Pp. 5-17. (in Russian).
15. Postanovleniye pravitel'stva Irkutskoy oblasti ot 26 oktyabrya 2018 g. N 772-pp Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Irkutskoy oblasti «Razvitiye sel'skogo khozyaystva i regulirovaniye rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya» na 2019 - 2024 gody [On approval of state program of Irkutsk region "Development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food" for 2019 - 2024]. (in Russian).
16. Proyeckt strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Irkutskoy oblasti na period do 2036 goda [Draft strategy of socio-economic development of Irkutsk region for the period up to 2036]. Available at: <https://irkobl.ru/sites/economy/socio-economic/project2036> (accessed 04.06.2020) (in Russian).
17. Salimonenko D.A. Sposob resheniya zadachi lineynogo programmirovaniya s peremennymi koeffitsiyentami v vide parametricheskikh funktsiy [Way of the solution of the problem of linear programming with variable coefficients in the form of parametrical functions] // *Vestnik Bashkirskogo universiteta = Bulletin of Bashkir University*. 2015. Volume. 20. № 1. Pp. 25-29. (in Russian).
18. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti [The system of do for of agricultural of the Irkutsk region]: V2 ch. Monografiya /pod redaktsiyey Ya.M. Ivanyo, N.N. Dmitriyeva. Irkutsk: Izd-vo OOO «Megaprint»= Publishing house of LLC "Megaprint". 2019. Part. 1. 319 p. (in Russian).
19. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti [The system of do for of agricultural of the Irkutsk region]: V2 ch. Monografiya /pod redaktsiyey Ya.M. Ivanyo, N.N. Dmitriyeva. Irkutsk: Izd-vo OOO «Megaprint»= Publishing house of LLC "Megaprint".. 2019. Part. 2. 321 p. (in Russian).
20. Sukhovol'skiy V.G. Ekonomika zhivogo: Optimizatsionnyy podkhod k opisaniyu protsessov v ekologicheskikh soobshchestvakh i sistemakh [Economics of living: optimization approach to description of processes in ecological communities and systems] / Otv. red. R.G. Khlebopros. Novosibirsk: Nauka. 2004. 140 p. (in Russian).
21. Khlebnikova Ye.I., Rudakova Yu.L., Sall' I.A., Yefimov S.V., Shkol'nik I.M. Izmeneniye pokazateley ekstremal'nosti termicheskogo rezhima v XXI v.: ansamblevyue otsenki dlya territorii Rossii [Changes in Parameters of Temperature Extremes in the 21st Century: Ensemble Projections for the Territory of Russia] // *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2019. № 3. Pp. 11-23. (in Russian).
22. Chiadamrong N., Piyathanavong V. Optimal design of supply chain network under uncertainty environment using hybrid analytical and simulation modeling approach // *Journal of Industrial Engineering International*. 2017. vol. 13. Pp. 465-478.
23. Domptail Stephanie, Nuppenau Ernst-August The role of uncertainty and expectations in modeling (range) land use strategies: An application of dynamic optimization modeling with recursion // *Ecological Economics*. Elsevier. 2010. vol. 69 (12). Pp. 2475-2485.
24. Sahinidis Nikolaos V. Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities // *Computers and Chemical Engineering*. 28 (2004). Pp. 971-983.