РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА/REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2024.45.1

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Научная статья

Деревенец Д.К.[1, *], Барсукова Г.Н.[2]
[1] ORCID : 0000-0003-2308-1838;
[2] ORCID : 0000-0002-2730-5475;
[1, 2] Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (dianochka_ne[at]mail.ru)

Аннотация

Перспективным направлением научных исследований, согласно Распоряжению президента РФ от 18.05.2017 № 163-РП «Об утверждении плана перехода на использование отечественных геоинформационных технологий», является разработка экономико-математической модели программирования урожайности сельскохозяйственных культур. Цель исследования – усовершенствовать экономико-математическую модель программирования урожаев сельскохозяйственных культур, выполненную на основе биоклиматического потенциала агроландшафта, потенциалов земельных ресурсов и сортов сельскохозяйственных культур, использующую в качестве критерия оптимальности максимум чистого дохода. Модель дополнена переменными и ограничениями, позволяющими определять параметры посева и дозы внесения минеральных удобрений, необходимые для формирования действительно возможной урожайности сельскохозяйственных культур, обозначающими стоимостные показатели, и ограничениями, связывающими затраты материальных средств с их стоимостной оценкой. Целенаправленно задавая параметры модели, можно управлять уровнем урожайности. Определены параметры посева определенного сорта сельскохозяйственной культуры при неблагоприятных, средних, благоприятных климатических условиях и по трем вариантам изменения величины фотосинтетической активной радиации – 3, 3,5 и 4%. Модель апробирована в подзоне г. Краснодара, входящей в состав Центральной почвенно-климатической зоны Краснодарского края по двум сортам озимой пшеницы – Юка и Гром. Установлено, что при существующей агротехнике выращивания, основанной на усредненных биологических характеристиках культуры, потенциально высокая сортовая урожайность озимой пшеницы не реализуется полностью. Моделирование урожайности озимой пшеницы сорта Гром при существующей влагообеспеченности и 3,5% использования фотосинтетической активной радиации показывает, что действительно возможная урожайность больше на 38,2 ц/га или 39,8%, чем фактическая, прибавка чистого дохода составила 35,3 тыс. руб./га. Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что почвенно-климатические условия агроландшафта (подзоны) города Краснодара позволяют получать урожаи озимой пшеницы на 30–40% выше, чем при выращивании без использования метода программирования урожайности, за счет соблюдения нормы высева семян и внесения удобрений.

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, сельскохозяйственная культура, сорт, ресурсный и биоклиматический потенциалы, эффективность, земельные ресурсы, агроландшафт.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELLING OF CROP YIELDS

Research article

Derevenets D.K.[1, *], Barsukova G.N.[2]
[1] ORCID : 0000-0003-2308-1838;
[2] ORCID : 0000-0002-2730-5475;
[1, 2] Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (dianochka_ne[at]mail.ru)

Abstract

A promising area of scientific research, according to the Order of the President of the Russian Federation dated 18.05.2017 No. 163-RP "On approval of the plan of transition to the use of domestic geoinformation technologies", is the development of an economic-mathematical model of crop yield programming. The aim of the study is to improve the economic-mathematical model of crop yield programming made on the basis of bioclimatic potential of agrolandscape, land resource potentials and crop varieties, using maximum net income as the optimality criterion. The model is supplemented with variables and constraints that allow determining sowing parameters and doses of mineral fertilizers necessary for the formation of really possible crop yields, denoting cost indicators, and constraints linking material inputs with their cost estimation. By purposefully setting the parameters of the model, it is possible to control the level of crop yield. Sowing parameters of a certain crop variety under unfavourable, average, favourable climatic conditions and for three variants of photosynthetic active radiation value change – 3, 3.5 and 4% were determined. The model was tested in the subzone of Krasnodar, which is part of the Central Soil and Climate Zone of Krasnodar Krai on two varieties of winter wheat – Yuka and Grom. It was found that under the existing agrotechnics of cultivation, based on the average biological characteristics of the crop, the potentially high varietal yield of winter wheat is not fully implemented. Modelling of winter wheat yield of Grom variety under the existing moisture availability and 3.5% use of photosynthetic active radiation shows that really possible yield is 38.2 kg/ha or 39.8% higher than the actual one, net income increase was 35.3 thousand rubles/ha. The results of modelling allow to conclude that

soil and climatic conditions of agrolandscape (subzone) of Krasnodar allow to obtain winter wheat yields 30–40% higher than when growing without using the method of yield programming, due to compliance with seed sowing rates and fertilizer application.

Keywords: economic and mathematical modelling, crop, variety, resource and bioclimatic potentials, efficiency, land resources, agrolandscape.

Введение

Одним из важнейших направлений повышения эффективности использования земельных ресурсов является программированное выращивание сельскохозяйственных культур, которое предусматривает разработку оптимальной программы развития растений и системы ее реализации, что позволяет управлять урожаем по заранее спланированному технологическому процессу. При этом обеспечивается эффективное использование природно-климатических факторов, генетического потенциала растений, естественного плодородия и материально-технических ресурсов.

В 1970–80-х гг. XX в. вопросы программирования изучали М. К. Каюмов, И. С. Шатилов, А. И. Симакин. По мнению М. К. Каюмова, программирование урожайности отражает закономерный процесс логического развития учения об урожае как сложной функции многих процессов и факторов, определяющих его количественные и качественные характеристики [6], [10].

В большинстве агроландшафтов главными факторами, лимитирующими урожайность сельскохозяйственных культур, являются влагообеспеченность, ФАР и уровень минерального питания растений. Определение величины программируемого урожая описывается функциональными зависимостями от почвенно-климатических условий, биологических и сортовых особенностей культуры.

Экономико-математическое моделирование для расчета параметров программируемого урожая выполнено на примере выращивания озимой пшеницы с использованием линейной оптимизационной модели. Основой является модель, разработанная в 1990–1993 гг. Г. Н. Барсуковой, Т. Р. Толорая, Л. А. Мироненко на кафедре экономической кибернетики КубГАУ, апробированная в КНИИСХ им. Лукьяненко [1], [3], [11].

Усовершенствованная нами модель, в отличие от предшествующих, включает переменные, характеризующие параметры посевов озимой пшеницы сортов Юка и Гром, которые необходимо обеспечить ресурсами для получения уровня действительно возможной урожайности (ДВУ). В ранее разработанных моделях использовались усредненные данные по культуре, предложенная модель учитывает особенности и потенциал сортов, то есть их биологические характеристики.

Предшествующие модели программирования урожаев сельскохозяйственных культур позволяли определить величину действительно возможной урожайности при одном варианте климатических условий. Разработанная нами модель способна определять параметры посева определенного сорта сельскохозяйственной культуры при неблагоприятных, средних и благоприятных климатических условиях. Она дает возможность получать и анализировать варианты материально-технического обеспечения агротехнологий при управлении процессами выращивания урожая в соответствии с реально складывающимися условиями.

Методы и принципы исследования

Математическая модель представляет функциональные зависимости урожая от конкретных почвенно-климатических факторов в агроландшафте, включая:

– биологический потенциал продуктивности культуры (сорта, гибрида) и структуры посевов (густота стояния растений, размещение их по площади, коэффициент кустистости);

– агрофизические свойства почвы и влагообеспеченность растений;

– наличие в почве доступных питательных веществ, ресурсов органических и минеральных удобрений (NPK, микроэлементы);

– поступление фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР), коэффициент ее использования в зависимости от биологических и сортовых особенностей культуры, калорийности ее биомассы;

– тепловые ресурсы и температурный режим территории (продолжительность периодов со среднесуточной температурой воздуха выше 0 °С, +5 °С, +10 °С);

– коэффициент водопотребления, биоклиматический потенциал (БКП);

– способ и глубину обработки почвы;

– концентрацию углекислого газа (CO_2) в приземном слое атмосферы (активная зона посева) [7], [8].

Определение программируемой урожайности при помощи экономико-математической модели содержит следующие этапы:

– анализ взаимосвязи факторов и определение возможных вариантов формирования урожайности;

– расчет вариантов действительно возможной урожайности;

– анализ вариантов действительно возможной урожайности, выбор и теоретическое обоснование нормативной урожайности;

– оптимизация ресурсного обеспечения программируемой урожайности [2], [4], [9], [14].

Исследования выполнены для подзоны г. Краснодара, входящей в состав Центральной почвенно-климатической зоны Краснодарского края по двум сортам озимой пшеницы – Юка и Гром, их характеристика предоставлена отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (см. таблица 1).

Таблица 1 - Характеристика сортов озимой пшеницы Юка и Гром

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2024.45.1.1

Показатель	Сорт	
	Юка	Гром
Внесен в Госреестр РФ	2012 г.	2010 г.
Гибрид зерен пшеницы	Половчанка и Руфа	Высокоморозостойкая полукарликовая линия 2919к3 и линия Ц1171-95
Высота растений, м	до 1	0,8
Продолжительность вегетационного периода, дн.	227–286	250
Урожайность, ц/га	55–90	60–90
Зона возделывания, регион	Северо-Кавказский	Северо-Кавказский
Масса 1000 зерен, г	36–47	33–48
Норма высева, кг/га	160–250	230
Засухоустойчивость	Высокая	Высокая
Устойчивость к болезням	Высокая	Высокая
Предшественники	Любые	Картофель, кукуруза, подсолнечник

Примечание: составлено по [13]

Усовершенствованная модель дополнена переменными и ограничениями, позволяющими определять параметры посева, необходимые для формирования действительно возможной урожайности сельскохозяйственных культур. Действительно возможная урожайность – это урожай, который может быть обеспечен генетическим потенциалом сорта и основным лимитирующим фактором – влагообеспеченностью.

Внешние и внутренние взаимосвязи элементов программируемого урожая отражаются в следующей системе ограничений, показанной в сокращенном виде (см. таблица 2).

Таблица 2 - Условия, вид и объем ограничений экономико-математической модели (сокращенный вид)

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2024.45.1.2

№ пп	Наименование и формулировка ограничений	Вид и объем ограничений
Ограничения по агроклиматическим ресурсам		
1	Приход ФАР за период вегетации, КДж/См², (∑Q)	$X_1 \leq \sum Q$
2	Запас влаги в слое почвы 0–100см, при посеве, мм/га, (Wo)	X_2=Wo
3	Прогнозируемая сумма осадков от посева до окончания формирования урожая мм/га, (Wср)	X3= Wср
4	Использование влаги сорняками, мм/га	X_{17}=Wc, Wc – величина, зависящая от уровня агротехники, при высоком уровне агротехники, Wc = 0
5	Продуктивная влага, мм/га, ($W_{пр}$)	Баланс продуктивной влаги слагается из следующих источников: $X_4 = W_{пр}$ $X_4=X_2+K_{5,3}X_3-X_{17}$ $K_{5,3}$ – коэффициент использования осадков (0,8)
Ограничения по определению параметров посева		
34	Определение количества	Количество зерна во всех

№ пп	Наименование и формулировка ограничений	Вид и объем ограничений
	колосьев, млн/га	колосьях должно быть не менее или равно ДВУ: $q_{36} \cdot X_{36}$ {≥,=} X_{29} где q_{36} – масса зерна колоса исследуемого сорта, г.
35	Определение количества растений, млн/га	Количество колосьев на всех растениях должно быть не менее или равно количеству колосьев достаточному для получения ДВУ $V_{37} \cdot X_{37}$ {≥,=} X_{36}, где V_{37} – коэффициент, характеризующий кустистость сорта культуры.
36	Определение нормы высева всхожих семян, млн/га	$X_{38}=k_{37} \cdot X_{37}$, где k_{37} – коэффициент сохранности семян растений к уборке, $k_{37} < 1$.
37	Определение нормы высева, ц/га	$X_{39}=k_{38} \cdot X_{38}$, где k_{38} – вес 1000 зерен, ц.
Ограничения по определению финансовых результатов при выращивании на уровне действительно возможной урожайности, тыс. руб.		
38	Расчет стоимости удобрений	$X_{40}=\sum(j \in J)\ C_j \cdot X_j$, где J = 30–35; C_j – цена одного центнера удобрений j-го вида, тыс. руб.
39	Расчет затрат на внесение удобрений	$X_{41}=Z_{40} \cdot X_{40}$, где Z40 – дополнительные затраты на внесение удобрений, руб./руб.
40	Стоимость семян	$X_{42}=C_{39} \cdot X_{39}$, где C_{39} – цена одного центнера семян, тыс. руб.
41	Затраты на уборку	$X_{43}=C_{29} \cdot X_{29}$, где C_{29} – норматив затрат в расчете на уборку одного центнера урожая, тыс. руб./ц
42	Затраты на обработку почвы и уход за посевами	$X_{44}=A_i$, где A_i – условно постоянные затраты на один гектар, тыс. руб.
43	Стоимость валовой продукции	$X_{45}=C_{ij} \cdot X_j$ $i = 43$ $j = 29$ где C_{ij} – цена реализации одного центнера пшеницы, тыс. руб.
Критерий оптимальности, тыс. руб. / га $F=X_j-\sum(j \in J)\ X_j$ j =45, J =40–44		Чистый доход → MAX

Примечание: составлено по [5], [7], [9]

Структура переменных и ограничений позволяет определить величину урожайности, обеспечиваемую нерегулируемыми или частично регулируемыми ресурсами. При выращивании полевых культур используются ресурсы, величина применения которых изменяется в соответствии с производственной необходимостью. К ним относятся удобрения, средства защиты от вредителей, болезней, затраты на уборку урожая и др. Структура переменных и ограничений позволяет установить количество недостающих питательных веществ, определить оптимальное количество и виды удобрений необходимых для их пополнения и получения действительно возможной

урожайности. Потребность в ресурсах для ухода за посевами, защиты их от вредителей и болезней отражается в стоимостной оценке. Величины этих ресурсов необходимы для планирования технологии и организации материально-технического обеспечения процесса выращивания урожая.

Для решения модели программирования урожайности использована программа «Optim 2», реализующая алгоритм симплексного метода, который является универсальным и позволяет решать задачи, условия которых выражены в различных единицах измерения.

Решение задачи симплексным методом позволило получить оптимальный вариант с точки зрения выбранного критерия оптимальности и поставленных условий задачи [4].

Предлагаемый критерий оптимальности – максимум чистого дохода, в условиях рыночных отношений именно он является одним из основных показателей эффективности сельскохозяйственного производства.

Основные результаты

Экономико-математическая модель составлена по 27 вариантам, включая 9 вариантов изменения природно-климатических условий по запасам влаги в почве при посеве от 126 до 228 мм, осадкам за период вегетации от 420,6 до 471 мм, продуктивной влаге от 430,4 до 567,6 мм и трем вариантам изменения величины ФАР – 3, 3,5 и 4%. Получены значения действительно возможной урожайности с учетом параметров посева двух сортов озимой пшеницы Гром и Юка.

Для реализации потенциальной урожайности сортов Гром и Юка при всех уровнях продуктивной влагой необходимо формировать посевы, обеспечивающие использование не менее 3,5 % ФАР (см. рисунок 1).

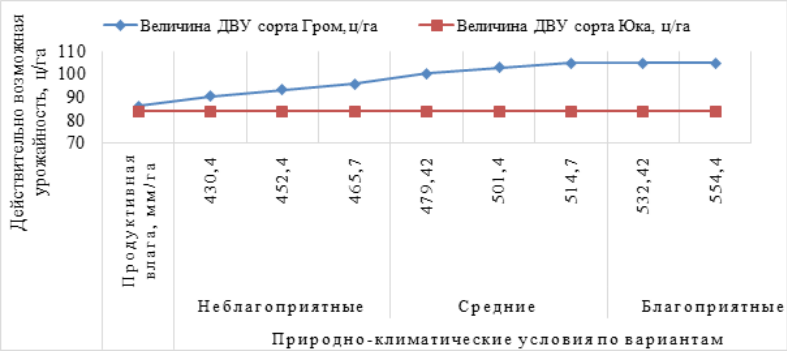

Рисунок 1 - Динамика величины действительно возможной урожайности сортов озимой пшеницы Гром и Юка при использовании ФАР 3,5 %, по вариантам обеспеченности влагой

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2024.45.1.3

Примечание: составлено по [5]

Сорт Гром имеет большую кустистость, чем сорт Юка, поэтому превышение его урожайности обусловлено лучшей реакцией на наличие продуктивной влаги в момент посева, при условии соблюдения нормы высева семян.

Одновременно экономико-математическая модель позволяет решать обратную задачу – рассчитать объем ресурсов, необходимых для достижения проектной урожайности. Можно определить оптимальные дозы минеральных удобрений в зависимости от их наличия, обеспеченности почв доступными для растений формами азота, фосфора и калия, выноса элементов минерального питания с урожаем, степени поглощения их почвой и поступления с пожнивными остатками.

Моделирование показало, что 80,7–84,3% программируемого уровня действительно возможной урожайности формируется за счет внесения минеральных удобрений.

Представлено сравнение фактически полученного урожая сорта Гром в соответствии с данными годовых отчетов сельскохозяйственных организаций г. Краснодара при сложившихся природно-климатических условиях – продуктивной влаге 479,0 мм с программируемым уровнем действительно возможной урожайности при величине использования ФАР 3,5% и норме высева семян 2,02 ц/га (см. таблица 3).

Таблица 3 - Сравнение фактической и действительно возможной урожайности озимой пшеницы сорта Гром при коэффициенте использования ФАР 3,5 %

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2024.45.1.4

Показатель	Значения показателей для получения ДВУ, 2018–2019 гг.	Фактические данные, 2018–2019 гг.	Разница между показателями фактической урожайности и действительно возможной	
			+/–	%
Натуральные показатели				

Показатель	Значения показателей для получения ДВУ, 2018–2019 гг.	Фактические данные, 2018–2019 гг.	Разница между показателями фактической урожайности и действительно возможной	
			+/–	%
Запас влаги при посеве, мм	175	146,90	–28,1	83,9
Осадки за период вегетации, мм	420	453,50	33,5	108,0
Продуктивная влага, мм	479	469,50	–9,5	98,0
Внесение мин. удобрений, ц/га N P K	5,5 3,0 1,2	6,5 3,5 0	1 0,5 –1,2	118,2 116,7 100
Урожайность, ц/га	95,98	57,71	–38,2	60,2
Стоимостные показатели				
Производственн ые затраты, тыс. руб./га	68,19	45,50	–22,7	66,7
в т. ч. семена	4,05	3,20	–0,9	79,0
удобрения	4,87	6,44	1,6	132,2
Стоимость валовой продукции, тыс. руб./га	145,58	87,63	–58,0	60,2
Чистый доход, тыс. руб./га	77,39	42,13	–35,3	54,4
Рентабельность, %	113,48	92,58	–20,9	–

Примечание: составлено по [5], [7], [12]

Фактическая урожайность озимой пшеницы сорта Гром в 2018–2019 гг. была ниже действительно возможного урожая на 38,2 ц/га или 39,8%, фактические затраты меньше на 22,7 тыс. руб./га, составляют 66,7% от полученных в результате моделирования.

Производственные затраты на семена в 2018–2019 гг. составили 3,2 тыс. руб./га или 79,0% от расчетного уровня, что на 0,9 тыс. руб./га или 21,0% меньше, чем требуется для получения действительно возможной урожайности по причине несоблюдения нормы высева семян.

В результате моделирования производственные затраты на минеральные удобрения для получения действительно возможной урожайности составили 4,87 тыс. руб./га, что на 1,6 тыс. руб./га или 32,2% меньше фактических затрат. Имеет место оптимизация размера затрат на минеральные удобрения, количество которых должно точно соответствовать величине действительно возможной урожайности. Недостаток удобрений вызовет снижение урожайности, превышение нормативной дозы их внесения приведет к угнетенному состоянию и снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Получение величины действительно возможной урожайности озимой пшеницы сорта Гром обеспечивает увеличение стоимости валовой продукции с одного гектара на 58,0 тыс. руб./га или 39,8% и чистого дохода на 35,3 тыс. руб./га или 45,6% [2].

Заключение

1. При существующей агротехнике выращивания, основанной на усредненных биологических характеристиках культуры, потенциально высокая сортовая урожайность озимой пшеницы не реализуется полностью.

2. Экономико-математическое моделирование показывает, что почвенно-климатические условия агроландшафта (подзоны) города Краснодара позволяют получать урожаи озимой пшеницы на 30-40% выше, чем при выращивании без использования метода программирования урожайности.

3. Урожайность, приближенную к действительно возможной, обеспечивает инновационная технология, создающая условия для формирования стеблестоя с высоким коэффициентом усвоения ФАР, разрабатываемая для конкретного сорта по результатам программирования.

4. Программирование урожайности оптимизирует материально-техническое обеспечение технологических операций по уходу за посевами для реализации потенциальной урожайности конкретного сорта, приближенную к действительно возможной в реально складывающихся природно-климатических условиях.

5. Урожайность в значительной степени зависит от количества внесенных минеральных удобрений, которое должно точно соответствовать величине проектируемой действительно возможной урожайности.

6. В современных условиях для сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств, имеющих ограниченное ресурсное обеспечение технологий выращивания зерновых культур из-за слабого экономического состояния, программирование урожаев следует рассматривать как одно из направлений более эффективного использования имеющегося ресурсного потенциала.

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность к.э.н., доценту Мироненко Л. А. за оказанную помощь при проведении данного исследования.

Acknowledgement

The authors express their special gratitude to L. A. Mironenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, for her assistance in conducting this research.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Барсукова Г. Н. Экономике-математическая модель программирования урожаев / Г. Н. Барсукова // Кукуруза и сорго. — 1993. — № 6. — С. 2.
2. Барсукова Г. Н. Основные направления повышения эколого-экономической эффективности использования земельных ресурсов в аграрном производстве Краснодарского края / Г. Н. Барсукова, Д. К. Деревенец. — Краснодар : КубГАУ, 2022. — 128 с.
3. Барсукова Г. Н. Повышение эффективности орошаемого земледелия (на материалах сельхозпредприятий Краснодарского края) : авт. дис. ... канд. экономических наук : 08.00.05 / Барсукова Галина Николаевна. — Краснодар, 1992. — 24 с.
4. Волков С. Н. Землеустройство, Т. 4 / С. Н. Волков. — Москва: Колос, 2001. — 696 с.
5. Декадный метеорологический бюллетень. Станция М-2 Краснодар, г. Краснодар, 2014-2019 гг. — Краснодар : КубГАУ. — 150 с.
6. Каюмов М. К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / М. К. Каюмов. — Москва : Агропромиздат, 1989. — 320 с.
7. Лосев А. П. Агрометеорология / А. П. Лосев, Л. Л. Журина. — Москва : КолоС, 2003. — 301 с.
8. Малышева Е. В. Программирование и урожайность – залог адаптивной интенсификации земледелия / Е. В. Малышева, И. Я. Пигорев, Н. В. Долгополова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 97–103. DOI: 10.36508/RSATU.2021.79.79.012
9. Каюмов М. К. Научные основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур: научные труды ВАСХНИЛ / М. К. Каюмов. — Москва : Колос, 1978. — 336 с.
10. Климов А. А. Программирование урожая: сущность метода / А. А. Климов, А. Ф. Иванов, Г. П. Устенко. — Волгоград : Труды Волгоградского СХИ, 1975. — Т. 55. — 367 с.
11. Рыбалкин А. П. Резервы повышения экономической эффективности производства зерна озимых культур в рыночных условиях (по материалам Краснодарского края) : дис. ... канд. экон. наук : 08:00:05 : защищена 19.06.1998 / Рыбалкин Андрей Петрович. — Краснодар, 1998. — 188 с.
12. Сельское хозяйство Краснодарского края : статистический сборник. — Краснодар, 2023. — 233 с.
13. Сорта и гибриды : каталог / ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко». — Краснодар : ЭДВИ. — 2022. — 152 с.
14. Шатилов И. С. Принципы программирования урожайности / И. С. Шатилов // Вестник с.-х. наук. — 1973. — № 3. — С. 8–14.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Barsukova G. N. Ekonomike-matematicheskaja model' programmirovanija urozhaev [Economics-mathematical model of crop programming] / G. N. Barsukova // Kukuruza i sorgo [Corn and sorghum]. — 1993. — №6. — P. 2. [in Russian]
2. Barsukova G. N. Osnovnye napravlenija povyshenija ekologo-ekonomicheskoj effektivnosti ispol'zovanija zemel'nyh resursov v agrarnom proizvodstve Krasnodarskogo kraja [The main directions for increasing the environmental and economic efficiency of the use of land resources in agricultural production in the Krasnodar Territory] / G. N. Barsukova, D. K. Derevenets. — Krasnodar : KubGAU, 2022. — 128 p. [in Russian]
3. Barsukova G. N. Povyshenie jeffektivnosti oroshaemogo zemledelija (na materialah sel'hozpredprijatij Krasnodarskogo kraja) [Improving the efficiency of irrigated agriculture (based on the materials of agricultural enterprises of the Krasnodar Territory)] : author. dis. ... Candidate of Economic Sciences : 08.00.05 / Barsukova Galina Nikolaevna. — Krasnodar, 1992. — 24 p. [in Russian]
4. Volkov S. N. Zemleustrojstvo, T. 4 [Land management, vol. 4] / S. N. Volkov. — Moscow : Kolos, 2001. — 696 p. [in Russian]

5. Dekadnyj meteorologicheskij byulleten' [Ten-day meteorological bulletin]. Station M-2 Krasnodar, Krasnodar, 2014-2019. — Krasnodar : KubSAU. — 150 [in Russian]

6. Kajumov M. K. Programmirovanie urozhaev sel'skohozjajstvennyh kul'tur [Programming crop yields] / M. K. Kajumov. — Moscow : Agropromizdat, 1989. — 320 p. [in Russian]

7. Losev A. P. Agrometeorologija [Agrometeorology] / A. P. Losev, L. L. Zhurina. — Moscow : KoloS, 2003. — 301 p. [in Russian]

8. Malysheva E. V. Programmirovanie i urozhajnost' – zalog adaptivnoj intensifikatsii zemledelija [Programming and productivity are the key to adaptive intensification of agriculture] / E. V. Malysheva, I. Ja. Pigorev, N. V. Dolgopolova // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after. P.A. Kostycheva. — 2021. — Vol. 13. — № 4. — P. 97–103. DOI: 10.36508/RSATU.2021.79.79.012 [in Russian]

9. Kajumov M. K. Nauchnye osnovy programmirovanija urozhaev sel'skohozjajstvennyh kul'tur: nauchnye trudy VASHNIL [Scientific basis for programming agricultural crop yields: scientific works of VASKhNIL] / M. K. Kajumov. — Moscow : Kolos, 1978. — 336 p. [in Russian]

10. Klimov A. A. Programmirovanie urozhaja: suschnost' metoda [Harvest programming: essence of the method] / A. A. Klimov, A. F. Ivanov, G. P. Ustenko. — Volgograd : Trudy Volgogradskogo SHI, 1975. — T. 55. — 367 p. [in Russian]

11. Rybalkin A.P. Rezervy povysheniya ekonomicheskoj effektivnosti proizvodstva zerna ozimyh kul'tur v rynochnyh usloviyah (po materialam Krasnodarskogo kraya) [Reserves for increasing the economic efficiency of grain production of winter crops in market conditions (based on materials from the Krasnodar Territory)] : dis. ... candidate of Economic Sciences : 08:00:05 : protected 06/19/1998 / Rybalkin Andrey Petrovich. — Krasnodar, 1998. — 188 p. [in Russian]

12. Sel'skoe hozyajstvo Krasnodarskogo kraya [Agriculture of the Krasnodar Territory] : statistical collection. — Krasnodar, 2023. — 233 p. [in Russian]

13. Sorta i gibridy : katalog [Varieties and hybrids: catalog] / Federal State Budgetary Institution "NHC named after P. P. Lukyanenko". — Krasnodar : EDVI. — 2022. — 152 p. [in Russian]

14. Shatilov I. S. Printsipy programmirovanija urozhajnosti [Principles of yield programming] / I. S. Shatilov // Bulletin of Agriculture Sciences. — 1973. — № 3. — P. 8–14. [in Russian]