

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ УГОДИЙ
ПОД ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

ЖЕР АЛҚАПТАРЫН ДӘНДІ ДАҚЫЛДАРҒА БӨЛҮДІҢ ОҢТАЙЛАНДЫРУ МОДЕЛЬДЕРІ

OPTIMIZATION MODELS OF DISTRIBUTION OF LAND PLOTS FOR GRAIN CROPS

А.Д. САПАРБАЕВ^{*1}

д.э.н., профессор

А.Т. МАКУЛОВА²

д.э.н., профессор

Э.А. САПАРБАЕВА³

магистр экономики

¹ Академия «Кайнар», Алматы, Казахстан

² Университет Нархоз, Алматы, Казахстан

³ Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

*sad171@mail.ru

Ә.Д. САПАРБАЕВ¹

э.ғ.д., профессор

А.Т. МАКУЛОВА²

э.ғ.д., профессор

Э.Ә. САПАРБАЕВА³

экономика магистрі

¹ «Кайнар» академиясы, Алматы, Қазақстан

² Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан

³ М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,
Шымкент, Қазақстан

A.D. SAPARBAEV¹

Dr.E.Sc., Professor

A.T. MAKULOVA²

Dr.E.Sc., Professor

E.A. SAPARBAEVA³

Master of Economics

¹ «Kainar» Academy, Almaty, Kazakhstan

² Narхоз University, Almaty, Kazakhstan

³ M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

Аннотация. В данном исследовании в качестве цели рассмотрены теоретические и практические аспекты оптимизации управления сельскохозяйственным производством в системе рыночного хозяйствования на основе экономико-математического моделирования. Актуальность темы – в предложенных авторами теоретико-методологических положениях совершенствования аграрной отрасли с учетом современных тенденций. Построены и реализованы оптимизационные модели специализации в сельском хозяйстве в условиях орошаемого земледелия в детерминированной и стохастической постановках на основе их технологической специфики в практике планирования зернового производства СНП «Акжар» Сарыагашского района Туркестанской области. Целевой функцией выбрана максимизация его суммарного дохода. Исследовалась специализация выращивания шести зерновых культур на орошаемых землях. Выявлены зависимости их урожайности, учитывающие влагу под полив и минеральные удобрения на основе многофакторных регрессионных моделей. Представлены экономико-математические модели определения оптимальных размеров сельскохозяйственных предприятий на орошении, которые позволяют рационально использовать природно-производственные ресурсы и принимать обоснованные управленческие

Введение. Нужно в полной мере реализовать потенциал агропромышленного комплекса. Основная задача – увеличить в 2,5 раза производительность труда и экспорт переработанной продукции сельского хозяйства к 2022 году. Все меры господдержки необходимо направить на масштабное привлечение современных агротехнологий в страну. Мы должны поэтапно увеличить количество орошаемых земель до 3 млн га к 2030 году. Это позволит обеспечить рост объема сельхозпродукции в 4,5 раза. Нужно отходить от сырьевой направленности экспорта сельхозпродукции, которая достигла 70%, в то время как перерабатывающие предприятия загружены всего на 40%. Вопрос неэффективного использования земельных ресурсов становится все более актуальным [1].

В зерновом хозяйстве рост и развитие всех отраслей в большей мере зависит от рационального использования земельных угодий, их химизации и мелиорации. Научно обоснованная структура посевных площадей, внесение органических и минеральных удобрений способствуют повышению интенсивного использования и улучшению качества продукции зернового хозяйства.

Анализируя результаты, полученные от внедрения известных в литературе оптимизационных моделей развития зернового производства [2, 3, 4], можем сделать вывод о том, что до настоящего времени в основном используются модели линейного типа, для которых разработаны достаточно эффективные программные средства, тем не менее эти модели не могут рассматриваться как аппарат принятия решения. Они не позволяют получить решения для хозяйств, в которых используется технология программирования урожая, а возделывание зерновых культур существенно зависит от выделяемых ресурсов.

Материал и методы исследования. Важным вопросом повышения эффективности сельскохозяйственного производства является выбор рационального сочетания отраслей, т.е. специализация с учетом экономических и природных условий. Главная задача специализации сельскохозяйственного производства – определение вида и объема производства продукции, позволяющего наиболее эффективно использовать земельные и другие виды ресурсов в условиях использования технологии программированного урожая. Особую актуальность для регионов с засушливым климатом представляет проблема специализации

сельскохозяйственного производства с учетом влаги под полив, необходимой хозяйству в году планирования [5,6].

Сельскохозяйственное предприятие определяет в планах экономически целесообразную структуру производства, обеспечивающую наибольший выход продукции с наименьшими затратами и получение доходов, необходимых для развития хозяйства и удовлетворения материальных и социальных потребностей его членов.

Эффективное использование сельскохозяйственных угодий определяется научно обоснованной структурой посевных площадей, разработанной в каждом подразделении сельскохозяйственного производства в соответствии с его специализацией и договорными обязательствами покупателей сельскохозяйственных продуктов [7, 8].

Результаты и их обсуждение. Нами разработана экономико-математическая модель по определению структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур с ограничениями:

по использованию земельных угодий

$$\sum_{j \in J} x_j \leq S; \quad (1)$$

использованию водных ресурсов

$$\sum_{j \in J} w_j x_j \leq W; \quad (2)$$

обеспечению гарантированных размеров посевных площадей сельскохозяйственных культур по соблюдению севооборота

$$\sum_{j \in J} x_j \leq B_j; \quad (3)$$

обеспечению гарантированного объема производства продукции по договорам

$$y_j x_j \geq D_j, \quad j \in J; \quad (4)$$

условиям неотрицательности

$$x_j \geq 0, \quad j \in J; \quad (5)$$

при которых максимизируется суммарный доход сельскохозяйственного производства в денежном выражении, т.е. функция

$$F(x) = \sum_{j \in J} c_j y_j x_j. \quad (6)$$

В условиях рынка сельскохозяйственное производство может иметь договорной план по реализации каждого j -го вида сельскохозяйственных культур в объеме – D_j , $j \in J$. На основе установленных договорных цен за центнер j -й культуры – c_j , сельскохозяйственному производству предоставляется право распределить орошаемые земли величины S под определенные сельскохозяйственные культуры так, чтобы

максимизировать суммарный доход хозяйства в денежном выражении. При этом строго соблюдать агротехнические требования – V_j при заданных севооборотах, зная расход водных ресурсов на 1 га сельхозкультуры – w_j с ограниченным количеством W воды, выделяемой хозяйству для полива в целом. Если y_j – урожайность по j -й культуре, получаемая с гектара поливных земель, детерминирована, то задача состоит в определении количества гектаров земли, отводимой над j -ю культуру – x_j . Для численного решения задачи линейного программирования (1) – (6) нами использован пакет прикладных программ QSB.

Если количество водных ресурсов, выделяемых хозяйству, не позволяет применить технологию программированного урожая по всем культурам, то урожайность является случайной величиной, зависящей от уровня полива. Поэтому нами была использована стохастическая постановка [9], которой соответствует экономико-математическая модель:

$$F(x) = M \left(\frac{\min_j (y_j(\theta)x_j)}{D_j} \right) \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq S, \quad (8)$$

$$x_j \geq 0, j \in J. \quad (9)$$

Здесь $y_j(\theta)$ – урожайность j -й культуры, соответствующая θ случайному проявлению состояния Природы.

Задача состоит в разработке такого плана распределения ограниченных сельскохозяйственных угодий (8), при котором максимизируется количество производимой продукции (7) в заданном ассортименте.

Для решения задачи (7) – (9) был использован метод стохастической линейзации.

В условиях орошаемого земледелия, когда сельскохозяйственное производство приобретает все более индустриальный характер, а возделывание сельскохозяйственных культур осуществляется по технологии программированного урожая, величина урожайности y_j является не случайной величиной, а функционально зависящей от своевременного полива и проведения комплекса мелиоративных мероприятий. В этих условиях специализация сельскохозяйственного производства зависит не столько от характера земельных угодий, сколько от уровня полива, централизован-

но выделяемого хозяйству в заданный период.

С учетом сказанного, нами разработана соответствующая модель нелинейного программирования, включающая оба фактора: земельные угодья и водный ресурс в области, определяемой условиями:

$$\text{по земельным угодьям} \\ \sum_{j \in J} x_j \leq S; \quad (10)$$

$$\text{по водным ресурсам} \\ \sum_{j \in J} w_j x_j \leq W; \quad (11)$$

по обеспечению гарантированных размеров посевных площадей сельскохозяйственных культур

$$-\sum_{j \in J} \alpha_j x_j + \sum_{j \in J \setminus \{j\}} \alpha_j x_j = 0, \quad (12)$$

$$\text{по соблюдению севооборота} \\ \sum_{j \in J} x_j \leq B_j; \quad (13)$$

$$\text{по производству продукции} \\ y_j(w_j)x_j \geq D_j, \quad j \in J. \quad (14)$$

$$\text{Требуется найти} \\ x_j \geq 0, \quad j \in J, \quad (15)$$

$$w_j^{\max} k_j^0 \leq w_j \leq w_j^{\max}, \quad j \in J, \quad (16)$$

при которых максимизируется суммарный доход в денежном выражении, т.е. функция

$$F(x, w) = \sum_{j \in J} c_j y_j(w_j) x_j \rightarrow \max. \quad (17)$$

При этом для определения урожайности сельскохозяйственных культур использована эмпирическая функция – от количества полива [10]:

$$y_j(w_j) = y_j^{\max} \left\{ a_j \left[\frac{w_j}{w_j^{\max}} - K_j^0 \right]^{\eta_j} - b_j \left[\frac{w_j}{w_j^{\max}} - K_j^0 \right]^{m_j} \right\}, \quad (18)$$

где w_j^{\max} – максимальное количество полива, соответствующего наивысшему урожаю y_j^{\max} для j -й культуры; a_j, b_j, K_j^0 – константы, определяющие влияние поливов на урожайность соответствующих культур; $\eta_j < 1, m_j > 1$.

Задача состоит в распределении пашни под j -ю культуру и количества влаги на гектар земли, занятой j -й культурой, при котором максимизируется суммарный доход хозяйства в денежном выражении.

Далее рассмотрим стохастический аналог нелинейной задачи (10) – (18), когда урожайность y_j является случайной величиной, зависящей от централизованно получаемой влаги и влаги, поступающей в

виде осадков θ .

Целевая функция (17) принимает вид:

$$F(x, z(\theta)) = \sum_{j \in J} c_j y_j(z_j(\theta)) \rightarrow \max. \quad (19)$$

Ограничение (10) остается без изменений. Ограничение (11) принимает вид:

$$P \left\{ \sum_{j \in J} z_j((\theta)x_j - w) \geq 0 \right\} \geq P_0, \quad (20)$$

при естественном предположении неотрицательности искомых переменных

$$x_j \geq 0, \quad z_j(\theta) \geq 0, \quad j \in J, \quad (21)$$

где

$$y_j(z_j(\theta)) = y_j^{\max} \left\{ a_j \left[\frac{z_j(\theta)}{w_j^{\max}} - K_j^0 \right]^{n_j} - b_j \left[\frac{z_j(\theta)}{w_j^{\max}} - K_j^0 \right]^{m_j} \right\}. \quad (22)$$

Здесь $z_j(\theta) = w_j + \theta$, θ – влага, поступающая в виде осадков; P_0 – заданная вероятность выполнения условия по водораспределению.

В приведенных моделях предполагалось, что урожайность зависит от одного фактора – влаги.

В последние годы все больше внимания уделяется анализу негативных явлений, связанных с чрезмерной химизацией в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур. С учетом негативного влияния данного процесса на организм потребителей конечной продукции необходимо вырабатывать меры, которые гарантируют получение продуктов с количеством нитратов, не превышающим допустимые нормы.

Поэтому нами была разработана экономико-математическая модель, включающая три фактора: земельные угодья, водный ресурс и минеральные удобрения.

Пусть $y_j(w_j; z_{ij})$ – прогнозная урожайность по j -й культуре; w_j – количество влаги, необходимое для одного гектара земли, занятой j -й культурой; z_{ij} – количество минеральных удобрений i -го вида, необходимое для одного гектара земли, занятой j -й культурой; Z_i – общее количество минеральных удобрений i -го вида покупаемых хозяйством.

Запишем экономико-математическую модель. В области, определяемой условиями:

$$\text{по земельным угодьям} \quad \sum_{j \in J} x_j \leq S; \quad (23)$$

$$\text{по водным ресурсам} \quad \sum_{j \in J} w_j x_j \leq W; \quad (24)$$

по обеспечению гарантированных размеров посевных площадей сельскохозяй-

ственных культур, по соблюдению севооборота

$$\sum_{j \in J} x_j \leq b_j; \quad (25)$$

по использованию азотных удобрений

$$\sum_{j \in J} z_{1j} x_j \leq Z_1; \quad (26)$$

по использованию фосфорных удобрений

$$\sum_{j \in J} z_{2j} x_j \leq Z_2; \quad (27)$$

по использованию калийных удобрений

$$\sum_{j \in J} z_{3j} x_j \leq Z_3; \quad (28)$$

по выполнению договорных поставок j -й сельскохозяйственной культуры

$$y_j(w_j, z_{ij}) x_j \geq D_j, \quad j \in J. \quad (29)$$

Требуется найти

$$x_j \geq 0, \quad w_j^{\max} K_j^0 \leq w_j \leq w_j^{\max}, \quad (30)$$

$$z_{ij} \geq 0, \quad z_{ij}^{\min} \leq z_{ij} \leq z_{ij}^{\max}, \quad i \in I, j \in J, \quad (31)$$

при которых максимизируется суммарный доход хозяйства в денежном выражении, т.е. функция

$$F(x, w, z) = \sum_{j \in J} c_j y_j(w_j, z_{ij}) x_j. \quad (32)$$

В модели выделены три вида минеральных удобрений (азотные, фосфорные, калийные), так как они оказывают наиболее существенное влияние на формирование конечных свойств сельскохозяйственных культур. Ограничения (26)–(28) позволяют регулировать количество минеральных удобрений, попадающих в почву. Модель (23)–(32) относится к классу существенно нелинейных задач математического программирования, где нелинейными являются ограничения (24), (26)–(29), а также целевая функция (32). Для решения задачи используется пакет прикладных программ ЛП АСУ.

Исследовалась специализация зернового производства в условиях орошаемого земледелия шести культур – озимой пшеницы, яровой пшеницы, кукурузы на силос, многолетних трав, кукурузы на зерно и другие полевые культуры.

Анализ статистической информации о динамике урожайности этих культур за 2013-2019гг. показал, что урожайность, подверженная влиянию большого количества факторов, существенно колеблется вокруг средних величин и в каждом году может рассматриваться как реализация случайной величины. Данные об урожайности за 7-летний период легли в основу метода моделирования этих показателей на плановый период [11].

Разработанные модели (1) – (6) и (7) – (9) были реализованы в практике планирования специализации сельскохозяйствен-

ного предприятия «Аюкар» Сарыагашского района Туркестанской области на 2019г. (таблица).

Таблица – Сравнительные данные использования ресурсов в сельскохозяйственном предприятии «Аюкар» Южно-Казахстанской области на 2019г. с вариантными оптимальными решениями

Показатель	По расчетам предприятия		Результаты, полученные при реализации			
			детерминированный вариант		стохастический вариант	
	натур. показ.	%	натур. показ.	%	натур. показ.	%
Посевная площадь-(всего), га:	4 520	100	4 520	100	4 520	100
озимая пшеница	505	11,2	-	-	693	15,3
яровые зерновые	1494	33,1	2157	47,7	1 705	37,7
кукуруза на силос	203	4,5	399	8,8	360	8,0
многолетние травы	1833	40,5	1368	30,3	817	18,1
кукуруза на зерно	207	4,5	-	-	344	7,6
другие полевые культуры	278	6,2	596	13,2	601	13,3
Использование мин. удобрений, ц:						
азотных	5 920	100	5 689	96,1	5 920	100
фосфорных	5 200	100	5 200	100	5 200	100
Использование влаги, тыс. м ³	28 486	100	16 813	59,1	24 06	87,4
Доход, тыс. тг.	135 790	100	143 565	105	162 180	119,4

Примечание: составлена авторами.

В результате применения оптимизационных моделей получены решения, обеспечивающие доход выше, чем при традиционных методах решения задачи специализации. Существенное значение в этих моделях имеет прогнозирование урожайности зерновых культур.

Заключение

1. На величину урожая оказывают влияние, с одной стороны, социально-экономические и организационные аспекты, а с другой – физико-химические и биологические процессы в почве, в самом растении, агрометеорологические условия и т.д.

2. В результате реализации линейной модели получено оптимальное решение: площадь яровых зерновых – 2 157 га, кукурузы на силос – 399 га, многолетних трав – 1 368 га, других полевых культур – 596 га. Этому решению соответствует доход, равный 143 565 тыс. тенге. Остальные зерновые культуры не вошли в оптимальное решение.

3. По стохастической модели было получено оптимальное решение: площадь озимой пшеницы – 693 га, яровых зерновых – 1 705 га, кукурузы на силос – 360 га, многолетних трав – 817 га, кукурузы на зерно – 344 га, других полевых культур – 601 гектар. Этому решению соответствует доход, равный 162 180 тыс. тг, т.е. на 14,4% выше, чем при реализации линейной модели, т.е. на 19,4% выше, чем при традиционном методе.

4. Следует отметить, что сельскохозяйственное предприятие определяет в планах экономически целесообразную структуру производства, обеспечивающую наибольший выход продукции с наименьшими затратами и получение доходов, необходимых для развития хозяйства и удовлетворения материальных и социальных потребностей его членов. Оно может на добровольных началах заключать с предприятиями, осуществляющими заготовку и переработку сельскохозяйственной продукции, договоры на ее продажу, а также реализовывать ее по собственному усмотрению на рынках.

5. В целом результатами исследования явились новые методологии построения комплекса моделей оптимизации управления деятельностью сельскохозяйственного производства, направленные на повышение уровня эффективного использования материальных и трудовых ресурсов.

Список литературы

1 Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017-2021 годы [Электронный ресурс].- 2017.- URL: <http://www.moa.gov.kz/ru/> (дата обращения: 23.04.2020).

2 Курносова А.П., Улезько А.В. Прикладные аспекты использования методов микро-математического моделирования и информационных технологий в исследовании агроэкономических систем // Развитие агро-

продовольственного комплекса: экономика, моделирование и информационное обеспечение: сборник научных трудов.- Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016.- С. 7–26.

3 Ганичева, А.В. Математические методы и модели в агропромышленном комплексе: монография / А.В. Ганичева, А.В. Ганичев.-Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – 188 с.

4 Бережная, Е.В. Методы и модели принятия управленческих решений: учебное пособие / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Инфра-М, 2017. – 384 с.

5 Мухаметжанова, Ж.С. Алматы облысының нан және нан-тоқаш өнімдері / Ж.С. Мухаметжанова // Проблемы агрорынка. – 2018. №2. – С. 225-237.

6 Керимова, У.К. Специализация в сельском хозяйстве Казахстана / У.К. Керимова, С.А. Турекулов, Ж.Е. Есильбаева // Проблемы агрорынка. –2020. №1. – С. 81-87.

7 Makulova, A.T. Forecasting production output of JSC RG BRANDS on the basis of the econometric modeling / A.T. Makulova, Z.S. Mukhametzhanova, G.K. Zhanibekova // International Journal of Applied Engineering Research. – India.- 2015. -Vol. 10, No 20.- P. 40976-40982.

8 Изтаев, А.И. Инновационные технологии и логистики перерабатывающих производств АПК: монография/ А.И. Изтаев, Т.К. Кулажанов, А.Д. Сапарбаев. – Алматы: ТОО «Фортуна Полиграф», 2019. – 752 с.

9 Ермольев, Ю.М. Стохастические модели и методы в экономическом планировании / Ю.М. Ермольев, А.И. Ястремский. – М.: Наука, 2015. – 278 с.

10 Макулова, А.Т. Модельная оценка управления сельскохозяйственным производством / А.Т. Макулова. – Алматы: ТОО «Фортуна Полиграф», 2019.-296 с.

11 Оперативные данные Комитета по статистике МНЭ РК «Сельское, лесное и рыбное хозяйство в Республике Казахстан» за 2019 г. по Туркестанской области [Электронный ресурс].- 2019.- URL: <http://www.stat.gov.kz> (дата обращения: 24.06.2020).

References

1 State program on development of the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2017-2021 [Electronic re-

source].- 2017.- URL: <http://www.moa.gov.kz/ru/> (date of access: 23.04.2020).

2 Kurnosova A.P., Ulezko A.V. Applied aspects of using methods of economic and mathematical modeling and information technologies in the study of agroeconomic systems // Development of agri-food complex: economics, modeling and information support: collection of scientific papers. – Voronezh: FSBEI, Voronezh SAU, 2016.- P. 7-26.

3 Ganicheva, A.V. Mathematical methods and models in agroindustrial complex: monograph / A.V. Ganicheva, A.V. Ganichev.-Tver: Tver State Agricultural Academy, 2019. - 188 p.

4 Berezhnaya, E.V. Methods and models for making managerial decisions: textbook / E.V. Berezhnaya, V.I. Berezhnaya. - M.: Infra-M, 2017.- 384 p.

5 Mukhametzhanova, Zh.S. Bread and bakery products of Almaty region / Zh.S. Mukhametzhanova // Problems of AgriMarket. - 2018. №2. - P. 225-237.

6 Kerimova, U.K. Specialization in agriculture of Kazakhstan/ U.K. Kerimova, S.A. Turekulov, Zh.E. Esilbayeva // Problems of AgriMarket. –2020. №1. - P. 81-87.

7 Makulova, A.T. Forecasting production output of JSC RG BRANDS on the basis of the econometric modeling / A.T. Makulova, Z.S. Mukhametzhanova, G.K. Zhanibekova // International Journal of Applied Engineering Research. – India.- 2015.–Vol. 10, No 20. – P. 40976-40982.

8 Iztaev, A.I. Innovative technologies and logistics of processing businesses in AIC: monograph / A.I. Iztaev, T.K. Kulazhanov, A.D. Saparbayev. - Almaty: Fortuna Polygraph LLP, 2019. - 752 p.

9 Ermolyev, Yu.M. Stochastic models and methods in economic planning / Yu.M. Ermolyev, A.I. Yastremsky.-M.: Nauka, 2015.- 278 p.

10 Makulova, A.T. Model assessment of agricultural production management / A.T. Makulova. - Almaty: Fortuna Polygraph LLP, 2019.- 296 p.

11 Operational data of the Statistics Committee of the MNE RK "Agriculture, forestry and fisheries in the Republic of Kazakhstan" for 2019 in Turkestan region [Electronic resource] .- 2019.- URL: <http://www.stat.gov.kz> (date of access: 24.06.2020).

Информация об авторах:

Сапарбаев Абдижапар Джуманович, доктор экономических наук, профессор, директор института экономических исследований, Академия «Кайнар», Алматы, Казахстан, sad171@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4494-7568>

Макулова Айымжан Тулегеновна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Общественнообразовательные дисциплины», Университет Нархоз, Алматы, Казахстан, aymzhan.makulova@narhoz.kz, <http://orcid.org/0000-0003-0144-0844>

Сапарбаева Эльмира Абтихаймовна, магистр экономики, старший преподаватель, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, saparbaeva_e@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7801-403X>