

УДК 004.9:631

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.60.9.017](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.60.9.017)

Интеграция ГИС-ориентированного и оптимизационного моделирования в практике управления аграрной организационной системой

А.В. Линкина✉

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. В статье обоснована экспертно-оптимизационная модель управления аграрной организационной системой с неоднородной пространственной структурой пространственных элементов с интеграцией пространственных данных. Предложенный алгоритм позволил формализовать гетерогенные признаки отдельных территориально-распределенных подсистем, трансформировав их из факторов неопределенности в детерминированные параметры целевой функции многокритериальной оптимизации. Практическая реализация модели на базе действующего аграрного предприятия продемонстрировала высокую экономическую эффективность интеграции ГИС-данных и методов математического программирования. Применение генетического алгоритма обеспечило снижение суммарных затрат на материально-технические средства на 11,4 % при одновременном увеличении ожидаемого объема заготовки продукции на 7,1 %. Удельные логистические издержки сократились на 25 %, а коэффициент использования парка техники вырос с 0,68 до 0,92. Существенное сокращение площади неэффективно используемых угодий подтверждает гипотезу о наличии скрытых потерь ресурсов при игнорировании дискретности пространства. Анализ чувствительности подтвердил робастность разработанного алгоритма, продемонстрировав отсутствие чувствительности к субъективным ошибкам экспертов при оценке критериев. Таким образом, внедрение разработанного механизма подтверждает эффективность управления организационными системами на основе данных ГИС-ориентированного моделирования, создавая научно обоснованный базис для повышения стратегической устойчивости предприятий в условиях ограниченных ресурсов.

Ключевые слова: оптимизационное моделирование, организационная система, управление, ГИС-ориентированное моделирование, экспертная оценка.

Благодарности: Статья опубликована в рамках программы финансовой поддержки АО «АЛЬФА-БАНК» «Альфа-Будущее Гранты преподавателям».

Для цитирования: Линкина А.В. Интеграция ГИС-ориентированного и оптимизационного моделирования в практике управления аграрной организационной системой. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2026;14(9). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/article?id=2635> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.60.9.017

Integration of GIS-oriented and optimization modeling in the management practice of an agrarian organizational system

A.V. Linkina✉

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. This article substantiates an expert-optimization management model for an agricultural organizational system with a heterogeneous spatial structure of its elements and spatial data integration. The proposed algorithm formalized the heterogeneous characteristics of individual geographically distributed subsystems, transforming them from uncertainty factors into deterministic parameters of the objective function of multi-criteria optimization. Practical implementation of the model at an operating

agricultural enterprise demonstrated the high economic efficiency of integrating GIS data and mathematical programming methods. The use of a genetic algorithm reduced total material and technical costs by 11.4 % while increasing the expected harvest volume by 7.1 %. Specific logistics costs were reduced by 25 %, and the fleet utilization rate increased from 0.68 to 0.92. The significant reduction in the area of inefficiently used land confirms the hypothesis of hidden resource losses when ignoring spatial discreteness. A sensitivity analysis confirmed the robustness of the developed algorithm, showing no sensitivity to subjective expert errors in criterion evaluation. Thus, the implementation of the developed mechanism confirms the effectiveness of managing organizational systems based on data from GIS-oriented modeling, creating a scientifically sound basis for enhancing the strategic resilience of enterprises in resource-constrained environments.

Keywords: optimization modeling, organizational system, management, GIS-oriented modeling, expert assessment.

Acknowledgements: The article was published within the "Alfa-Future Grants for Academic Staff" program, a financial support initiative of Alfa-Bank.

For citation: Linkina A.V. Integration of GIS-oriented and optimization modeling in the management practice of an agrarian organizational system. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(9). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2635> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.60.9.017

Введение

Управление организационными системами аграрного профиля характеризуется высокой степенью неопределенности [1], обусловленной стохастической природой биологических процессов и неоднородностью пространственной структуры объектов управления [2]. Неотъемлемой характеристикой таких систем является гетерогенность входящих в них элементов: сочетание однородных производственных зон с фрагментированными участками с различными характеристиками (площади, рельефа, удаленности от логистических узлов и т. п.) [3]. Данная особенность формирует класс организационных систем с неоднородной структурой пространственных элементов (ОСНСПЭ).

В целях обеспечения задачи трансформации управления рисками [4] и повышения стратегической устойчивости необходим переход от традиционных иерархических моделей к управлению на основе данных, рассматриваемый в современных исследованиях как концепция data-driven-менеджмента. Одним из ключевых факторов эффективности в данном контексте выступает пространственная неоднородность сельскохозяйственных угодий, обусловленная вариативностью почвенных характеристик, рельефа и микроклимата. Интеграция геоинформационных систем (ГИС) [5] в контур управления позволяет формализовать эту неоднородность, однако простое картографирование территории не решает задачу оптимального распределения ресурсов. Кроме того, существующие методы структурной и параметрической оптимизации демонстрируют вычислительную трудоемкость при увеличении размерности задачи и не учитывают динамическую изменчивость внешних факторов в реальном времени. Применение современных интеллектуальных инструментов и предиктивной аналитики имеет решающую роль для достижения повышения эффективности управления подобного класса систем, однако, как было отмечено в работе [6], несмотря на определенный прогресс в этой области в последние годы, в России, по мнению большинства исследователей, наблюдается так называемая «глубокая цифровая асимметрия». Анализ современных источников [7, 8] показывает, что совершенствование управления в подобных системах требует перехода от экспертно-описательных моделей к формализованным алгоритмам поддержки принятия решений. По мнению некоторых

авторов [9], анализ структур систем управления основан на моделировании и ставит целью выявление качественно однородных или неоднородных частей, образующих структуру. Вместе с тем практическое применение существующих методов существенно осложняется отсутствием единого алгоритма, интегрирующего многокритериальную оптимизацию с экспертной оценкой значимости разнородных факторов (климатических, рыночных, агротехнических) [1]. Это порождает фундаментальное противоречие между сложностью объекта управления и недостаточной адекватностью применяемых математических аппаратов. Решение задачи интеграции ГИС-ориентированного моделирования и классических методов оптимизации способствовало бы повышению экономической устойчивости предприятий аграрного профиля [6]. Поскольку традиционные подходы к структурной и параметрической оптимизации зачастую игнорируют дискретную природу пространственных элементов, используя для расчетов усредненные показатели по предприятию в целом, это приводит к возникновению логистических издержек и неэффективному использованию материально-технических средств при реализации агротехнологических операций на участках с различной доступностью и продуктивностью.

Проблема исследования заключается в отсутствии необходимой методологической базы для интеграции разнородных массивов геопространственных данных в целевую функцию многокритериальной задачи распределения ресурсов. Существующие модели либо рассматривают территорию как гомогенную единицу, либо сводят задачу к переборным схемам стохастического поиска, обладающим высокой вычислительной сложностью и низкой интерпретируемостью результатов для лица, принимающего решения [10]. В настоящее время необходима разработка формализованного механизма трансформации качественных экспертных оценок значимости пространственно-распределенных факторов в количественные параметры целевой функции оптимизации ресурсораспределения в ОСНСПЭ.

Целью данного исследования является разработка и обоснование гибридного экспертно-оптимизационного алгоритма структуризации управления, обеспечивающего повышение эффективности использования ресурсов в организационных системах аграрного профиля с неоднородной пространственной структурой.

Для этого необходимо решить такие задачи, как декомпозиция структуры ОСНСПЭ и формализация задачи многокритериальной оптимизации распределения ресурсов с учетом заданных ограничений; разработка методики получения вектора весовых коэффициентов целевой функции на основе метода анализа иерархий с привлечением экспертной группы; а также проектирование архитектуры алгоритма поиска оптимального сценария распределения ресурсов, адаптированного под дискретную структуру пространственных элементов с целью дальнейшей программной реализации.

Материалы и методы

Решение первой из сформулированных задач требует определения границ исследуемого объекта, состава входных переменных и математического аппарата описания системы [1].

В качестве эмпирической базы исследования выбрана аграрная организационная система, являющаяся одной из крупнейших предприятий по переработке молочной продукции в Российской Федерации. Анализ подвергнуты исключительно те территориальные единицы агрохолдинга, которые функционально закреплены за выращиванием фуражных культур (кукуруза на силос, многолетние бобовые и злаковые травы, озимые зерновые на кормовые цели). Земельные угодья компании составляют

крупный кластер на территории Центрально-Черноземного региона, расположенного на территории свыше 56 тысяч гектаров преимущественно в Аннинском, Кантемировском и других районах Воронежской области.

Геоинформационная база данных исследования сформирована на основе банка геоданных Единой территориально-распределенной системы дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ) и ГИП «Геотрон», с использованием зарубежных спутниковых снимков Landsat и Sentinel, и отечественных «Канопус-В» и «Ресурс-П», а также внутрихозяйственных топографических карт масштаба 1:10 000 за вегетационный период с 2019 г. по 2025 г. Для устранения гетерогенности пространственных данных применена процедура регуляризации. В частности, исходные контуры земельных участков сельскохозяйственных угодий были разбиты на унифицированную сетку ячеек размером 100×100 м (выбор размера обусловлен имеющимися внутрихозяйственными топокартами и пространственным разрешением космоснимков). Каждая ячейка атрибутирована следующими параметрами: индекс NDVI (состояние посевов); тип почвы и содержание гумуса; уклон местности; удаленность от ближайшего заготовительного пункта (евклидово расстояние по дорожной сети графа).

Формальная постановка задачи и описание ограничений. Задача управления при интеграции оптимизационного и ГИС-ориентированного моделирования заключается в выработке и реализации программных решений для организационных систем с неоднородной структурой пространственных элементов на основе одновременного анализа геоданных и экспертных знаний. В качестве основных подзадач управления, таким образом, можно выделить:

- синхронизацию картографических данных с правилами и логикой экспертной системы;
- быстрое реагирование и оценка ситуации текущего состояния объекта системы по его пространственным данным и экспертной базе знаний;
- принятие решений для отдельных объектов ОСНСПЭ с учетом экспертной оценки;
- контроль и оценка деятельности системы в режиме реального времени или близко к этому.

Для решения задачи многокритериальной оптимизации распределения ресурсов с учетом заданных ограничений введем следующие переменные:

$$A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}\},$$

где A_i – вектор признака ячейки v_i ; a_{i1} – нормализованный (прогнозируемый) индекс вегетации NDVI; a_{i2} – веса коэффициента плодородия почвы (на основе почвенного балла бонитета); a_{i3} – поправочный коэффициент за рельеф участка (уклон местности), влияющий на деградацию почвы и вид разрешенного севооборота; a_{i4} – логистическое плечо (время или стоимость перемещения ресурсов до ближайшего заготовительного пункта по графу дорожной сети).

Пусть $f_1(A)$ – функция максимизации биологической продуктивности, $f_2(A)$ – функция минимизации удельных логистических издержек, $f_3(A)$ – функция сохранения почвенного плодородия (минимизация истощения), тогда целевая функция Z будет иметь следующий вид:

$$Z(X, W) = \sum_{j=1}^m w_j f_j(X, A) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ – вектор управляющих переменных, значения которых определяют распределение ресурса по ячейкам. Переменные могут быть как бинарными, так и непрерывными. Например, при распределении материально-технического оснащения: $x_i = 1$ – если ячейка обрабатывается, и $x_i = 0$ – в противном случае. При

распределении удобрений: $x_i \in [0, Q_{max}]$. $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\}$ – вектор весовых коэффициентов значимости критериев ($\sum w_j = 1, w_j \geq 0$). m – количество критериев.

Ограничение (2) указывает, что суммарные затраты на распределение ресурсов не могут превышать выделенный лимит B :

$$\sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i \leq B, \quad (2)$$

где c_i – себестоимость обработки одной ячейки v_i (в том числе стоимость топлива, семенного материала, амортизации, стоимость удобрений и т. д.)

Ресурсное ограничение (3) задает предел количества одновременно задействованных единиц техники, ограниченное парком машин M с учетом времени обработки t_i одной ячейки v_i :

$$\sum_{i=1}^N t_i \cdot x_i \leq Tc \cdot M, \quad (3)$$

где Tc – доступный фонд рабочего времени в сутки.

Кроме того, для каждой сельскохозяйственной культуры существует жесткий временной интервал агротехнических работ (посева, уборки) $[T_{start}, T_{end}]$ так, что переменная x_i активизируется только внутри этого временного окна.

Чтобы избежать фрагментации полей, которая увеличивает холостой пробег техники, введем условие смежности: если выбрана ячейка v_i , то вероятность выбора соседней ячейки v_k выше. В практике адаптивно-ландшафтных систем земледелия такие однородные по агротехническим приемам участки называются агрофациями и с точки зрения оптимизационной модели характеризуются как однородные гомогенные объекты за счет схожести признаков почв, агротехники, микроклимата и рельефа.

Наконец, ограничение (4) определяет физический предел насыщения ячейки v_i :

$$0 \leq x_i \leq L_i, \quad (4)$$

где L_i – физический предел насыщения ячейки (т. е., например, максимальная доза внесения удобрения).

Рассмотрим более подробно вектор весовых коэффициентов значимости критериев W из (1), основанный на методе анализа иерархий. Для начала необходимо выполнить построение матрицы парных сравнений P размера $m \times n$ для сравнения экспертами важности критерия m относительно критерия n по шкале Саати (где 1 – равная значимость, а 9 – абсолютное превосходство одного критерия над другим). Весовые коэффициенты w_j вычисляются как компоненты нормализованного главного собственного вектора матрицы P , соответствующего максимальному собственному числу λ_{max} :

$$P \cdot W = \lambda_{max} \cdot W. \quad (5)$$

Для проверки согласованности мнений экспертов вычислим индекс согласованности по формуле:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1}, \quad (6)$$

а затем вычислим отношение согласованности:

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (7)$$

где RI – случайный индекс.

В случае $CR > 0,1$, экспертам необходимо пересмотреть свои оценки в матрице P так как их суждения логически противоречивы.

Учитывая большую размерность N (количество ячеек выбранного размера на рассматриваемой площади агрохолдинга), которая приблизительно составила $N \approx 5600$, классические методы линейного программирования (в частности, симплекс-метод) будут работать медленно из-за бинарности части переменных. В связи с этим, наиболее подходящим будет генетический алгоритм, особенностью реализации которого будет использование равномерного кроссовера с сохранением топологии, а также применение локального поиска для тонкой настройки норм расхода ресурсов x_i внутри выбранного кластера.

Результаты

На основе представленной ранее оптимизационной модели, были получены следующие результаты.

Матрица парных сравнений приведена в Таблице 1. В качестве ведущих критериев были выбраны урожайность сельскохозяйственной культуры, возделываемой на конкретном участке; затраты на логистику; балл бонитета почв; степень эродированности почв; затраты на агрохимикаты, куда включены как затраты на удобрения, так и затраты на средства защиты растений.

Таблица 1 – Матрица парных сравнений критериев

Table 1 – Pairwise comparison matrix of criteria

Критерий	Урожайность с/х культуры	Затраты на логистику	Балл бонитета почв	Степень эродированности почв	Затраты на агрохимикаты
Урожайность с/х культуры	1	3	2	4	3
Затраты на логистику	1/3	1	1/2	2	1
Балл бонитета почв	1/2	2	1	3	2
Степень эродированности почв	1/4	1/2	1/3	1	1/2
Затраты на агрохимикаты	1/3	1	1/2	2	1

Расстановка приоритетов распределена следующим образом: главным целевым показателем является продуктивность аграрной системы, поэтому урожайность имеет наивысший балл и умеренно важнее балла бонитета, логистических затрат, затрат на агрохимию и существенно важнее степени эродированности почв. Балл бонитета существенно важнее затрат, поскольку фундаментально определяет потенциал земельного участка и учитывает его почвенно-климатические, агрохимические и иные природные качества. Затраты на логистику и агрохимикаты имеет примерно равные значения в структуре расходов. Эродированность имеет наименьший прямой приоритет, поскольку ее влияние уже частично заложено в балл бонитета и может быть скорректировано агротехническими приемами и типом севооборота.

В Таблице 2 представлены итоговые значения вектора весов W и проверка согласованности. Расчет выполнен методом собственного вектора (нормализованного геометрического среднего).

Таблица 2 – Итоговые значения вектора весов W
Table 2 – Final values of the weight vector W

Критерий	Весовой коэффициент w_i	Веса критериев, %
Урожайность с/х культуры	0,4021	40,21
Балл бонитета почв	0,2446	24,46
Затраты на логистику	0,1372	13,72
Затраты на агрохимикаты	0,1372	13,72
Степень эродированности почв	0,0788	7,88

Показатели согласованности имеют следующие значения: максимальное собственное число $\lambda_{max} = 5,033$; индекс согласованности $CI = 0,0083$; отношение согласованности $CR = 0,0074$. Поскольку $0,0074 < 0,1$, то данная матрица построена логично, явных противоречий в суждениях нет. Полученные веса можно официально использовать для дальнейшего анализа альтернатив.

Обсуждение

Сравним результаты оптимизационной модели с текущими значениями показателей деятельности предприятия. В качестве визуализации использованы тепловые карты производственных кластеров в мультиспектральном индексе NDVI в Кантемировском районе Воронежской области (производственные участки в с. Новомарковка) на основе спутниковых снимков Sentinel-2 за вегетационный период 2025 г. На Рисунке 1 показаны красным цветом угнетенные посевы (низкий индекс), до темно-зеленого цвета (высокий индекс) – растительный покров с высоким потенциалом.



Рисунок 1 – Карта распределения индекса NDVI на май 2025 г. на территории Кантемировского района Воронежской области. Составлено по данным космоснимков Sentinel-2 с использованием платформы EOSDA LandViewer

Figure 1 – NDVI distribution map for May 2025 for the territory of the Kantemirovsky District, Voronezh Oblast. Source: Sentinel-2 data processed via EOSDA LandViewer

В Таблице 3 представлены сводные статистические показатели сетки ячеек.

Анализ приведенных значений показывает высокую гетерогенность объекта управления, оправдывающую применение сложной ГИС-модели вместо средних значений.

Таблица 3 – Сводные статистические показатели сетки ячеек
Table 3 – Aggregate statistical metrics of the grid of cells

Параметр	Min	Max	Среднее	Стандартное отклонение
Уклон местности (°)	1,5	8,5	2,3	1,9
Удаленность от базы (км)	0,5	18,2	7,4	4,1
Прогнозируемый бонитет почвы	45	92	71	12

Сравнительная характеристика работы оптимизационного алгоритма и базового сценария приведена в Таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика работы оптимизационного алгоритма и базового сценария
Table 4 – Comparative analysis of the optimization algorithm's performance and the baseline scenario

Показатель	Традиционное управление (усредненное)	Гибридный алгоритм (результат расчета)	Эффект (Δ)
Суммарные затраты на МТС (тыс. руб.)	145 000	128 500	–11,4%
Ожидаемый объем заготовки кормов (т)	185 000	198 200	+7,1%
Удельные логистические издержки (руб./т)	420	315	–25%
Коэффициент использования парка техники	0,68	0,92	+35%
Площадь неэффективно используемых угодий (га)	< 12 000 га	> 4 500 га	–62,5%

Из анализа Таблицы 4 видно, что при применении ГИС-ориентированной модели с оптимизационным алгоритмом осуществляется учет дискретности пространства, что позволяет эффективнее использовать имеющиеся ресурсы для достижения более высоких экономических показателей.

Для оценки устойчивости предложенной гибридной модели был проведен однофакторный анализ чувствительности. Установлено, что целевая функция Z обладает высокой эластичностью по отношению к изменению бюджета в зоне дефицита (при сокращении финансирования более чем на 15 %), однако выходит на плато при увеличении инвестиций свыше лимита пропускной способности парка техники M . Анализ вариации вектора весов W показал низкую чувствительность итогового плана к весовому коэффициенту экологического критерия w_3 (коэффициент детерминации $R^2 = 0,12$, что подтверждает возможность делегирования экспертной оценки данного параметра менее квалифицированному персоналу без риска существенного снижения экономической эффективности системы.

На графике (Рисунок 2) показано, как меняется условная себестоимость системы при ошибках экспертов в оценке важности критериев.

Из рисунка видно, что система высокочувствительна к критерию продуктивности, к критерию логистического плеча система демонстрирует среднюю чувствительность. Критерии экологической устойчивости (в нашем алгоритме это балл бонитета и степень эродированности почв) представлен практически горизонтальной линией. Это доказывает робастность модели, т. е. даже если приоритет сохранения почвы будет экспертно завышен или занижен на 20–30 %, итоговая экономическая эффективность изменится незначительно. Это позволяет делегировать оценку данного критерия менее квалифицированным специалистам без риска для общего результата.

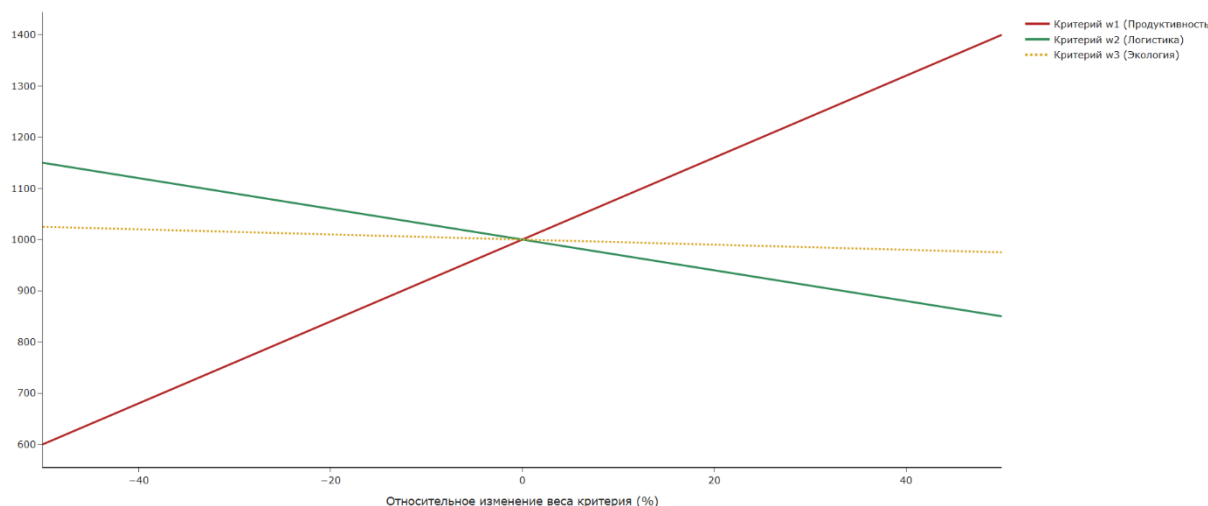


Рисунок 2 – Чувствительность критериев к вариации весовых коэффициентов
Figure 2 – Sensitivity of criteria to variations in weighting coefficients

Эти визуализации подтверждают работоспособность алгоритма и его адекватную реакцию на изменения входных параметров.

Заключение

В статье рассмотрена перспективность применения интеграции ГИС-ориентированного и оптимизационного моделирования в практике управления аграрной организационной системой. В ходе исследования разработана и обоснована гибридная экспертно-оптимизационная модель управления ОСНСПЭ. В отличие от традиционных подходов, использующих усредненные показатели по предприятию в целом, предложенный алгоритм оперирует дискретными ячейками сетки выбранного размера. Это позволило формализовать гетерогенность почвенного покрова, рельефа и логистической доступности территории рассматриваемого предприятия, трансформировав их из стохастических факторов неопределенности в детерминированные параметры целевой функции многокритериальной оптимизации.

Практическая реализация модели на эмпирической базе рассматриваемого агропредприятия продемонстрировала высокую экономическую эффективность интеграции пространственных данных и методов математического программирования. Применение генетического алгоритма для распределения материально-технических средств обеспечило снижение суммарных затрат на 11,4 % при одновременном увеличении ожидаемого объема заготовки объема сельскохозяйственной продукции на 7,1 %. Удельные логистические издержки сократились на 25 %, а коэффициент использования парка техники вырос с 0,68 до 0,92. Существенное сокращение площади неэффективно используемых угодий подтверждает гипотезу о том, что игнорирование дискретной природы пространственных элементов ведет к возникновению скрытых потерь ресурсов, которые невозможно выявить традиционными методами управленческого учета. Адекватность построенной математической модели подтверждена результатами анализа чувствительности.

Таким образом, внедрение разработанного механизма поддержки принятия решений способствует развитию цифрового инструментария в отечественном АПК за счет применения доступных данных дистанционного зондирования Земли и открытых вычислительных алгоритмов. Предложенная методология обеспечивает переход от интуитивно-экспертного менеджмента к управлению на основе данных (data-driven-

подхода), создавая научно обоснованный базис для повышения стратегической устойчивости предприятий аграрного профиля в условиях ограниченных ресурсов и необходимости обеспечения национального продовольственного суверенитета.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Коцур Е.В., Капитулина Н.А. Эколого-экономическое обоснование оптимизационных моделей агроландшафта юга Омской области. В сборнике: *Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития, посвященная 100-летию советской геодезии и картографии. Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, 15 марта 2019 года, Омск, Россия*. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина; 2019. С. 255–259.
Kotsur E., Kapitulina N. Ecological and economic justification of agrolandscape optimizing models in the south of Omsk region. In: *Geodesy, Land Management and Cadastres: Challenges and Development Prospects, Dedicated to the Centenary of Soviet Geodesy and Cartography: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference, 15 March 2019, Omsk, Russia*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin; 2019. P. 255–259. (In Russ.).
2. Елохин В.Р. Об оптимизационных моделях планирования сельскохозяйственного производства. *Известия Иркутской государственной экономической академии*. 2009;(3):137–141.
Elokhin V.R. About the optimization models of agricultural industry planning. *Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy*. 2009;(3):137–141. (In Russ.).
3. Сухарев О.С. Оптимизация и управление распределением ресурсов в национальной экономике: выбор структуры. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*. 2020;15(2):178–197. (На англ.).
Sukharev O.S. Optimization and resource distribution management in a national economy: The choice of structure. *Perm University Herald. Economy*. 2020;15(2):178–197.
4. Бурков В.Н., Серебрякова Е.А. Методы управления рисками при реализации проектов на основе качественных оценок их характеристик. *Проектное управление в строительстве*. 2024;(2):80–88.
Burkov V.N., Serebryakova E.A. Methods of risk management in the implementation of projects based on qualitative assessments of their characteristics. *Proektnoe upravlenie v stroitel'stve*. 2024;(2):80–88. (In Russ.).
5. Нестерева А.С., Жданова Е.Н., Минина А.А. Прогнозирование зон затопления территории поймы реки Амга с использованием геоинформационных технологий. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.35.4.006>
Nestereva A.S., Zhdanova E.N., Minina A.A. Flooding zones prediction of the Amga River floodplain using geoinformation technologies. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.35.4.006>
6. Линкина А.В. Применение машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023;85(4):128–132. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-128-132>
Linkina A.V. Application of machine learning in the organisation of adaptive-landscape farming systems. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering*

- Technologies*. 2023;85(4):128–132. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-128-132>
7. Санникова М.О. Оптимизация структуры сельскохозяйственного производства в условиях риска. *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*. 2011;(3):90–95.
Sannikova M.O. Optimization of structure of agricultural production in the conditions of risk. *The Bulletin Saratov State Agrarian University in Honor of N.I. Vavilov*. 2011;(3):90–95. (In Russ.).
 8. Чекмарева Н.И., Агапитова Л.Г. Интеграционное развитие территории. *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2016;198(2):334–338.
Chekmareva N.I., Agapitova L.G. Integration territory development. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2016;198(2):334–338. (In Russ.).
 9. Львович Я.Е., Рындин Н.А., Сахаров Ю.С. Оптимизация распределения ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2021;(4):106–114.
Lvovich Ya.E., Ryndin N.A., Sakharov Yu.S. Optimization of the distribution of resource provision for the development of a digital management environment in organizational systems. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis, Management*. 2021;(4):106–114. (In Russ.).
 10. Борзова А.С., Львович Я.Е., Муха В.В. Многокритериальное моделирование выбора варианта структуры управления логистическим процессом в организационной системе. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.33.2.005>
Borzova A.S., Lvovich Ya.E., Mukha V.V. Multicriteria choice modeling of a variant of the logistic process management structure in the organizational system. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.33.2.005>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Линкина Анна Вячеславовна, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация. **Anna V. Linkina**, Senior Lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.
e-mail: anna_linkina@rambler.ru
ORCID: [0000-0002-8429-1292](https://orcid.org/0000-0002-8429-1292)

Статья поступила в редакцию 31.07.2026; одобрена после рецензирования 18.09.2026; принята к публикации 30.09.2026.

The article was submitted 31.07.2026; approved after reviewing 18.09.2026; accepted for publication 30.09.2026.