

УДК 332.144

Моделирование конкуренции за посевную площадь различными удобрениями под посевы в сельскохозяйственных организациях Нижегородской области¹

Крайнов Андрей Александрович, студент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексева, krainowandrey@gmail.com

В статье исследуется динамика конкуренции за использование посевных площадей различными видами удобрений — минеральными, органическими и другими — в сельскохозяйственных организациях Нижегородской области на основе данных за 2005–2023 гг. Основная цель исследования — выявить количественные зависимости, отражающие влияние конкуренции между видами удобрений на распределение площадей, а также оценить их вклад в продуктивность и устойчивость сельскохозяйственного производства региона. Для анализа применена математическая модель на основе системы дифференциальных уравнений Лотки-Вольтерра, описывающая взаимодействие между видами удобрений и их влияние на распределение посевных площадей. Результаты исследования выявили механизмы саморегуляции агросистем и значительное влияние конкуренции на эффективность использования удобрений.

Ключевые слова: динамика, конкуренция, площадь, минеральные удобрения, органические удобрения, метод Лотки-Вольтерра.

В данной работе с помощью модели Лотки-Вольтерра исследуется перераспределение ресурсов в аграрном секторе Нижегородской области, выявляются динамические закономерности системы и рассматривается взаимодействие ее основных агентов: фермерских хозяйств, сельскохозяйственных кооперативов и перерабатывающих предприятий.

Цель исследования — изучить конкурентную среду в сфере применения минеральных, органических и других удобрений под сельскохозяйственные культуры. Также анализируются факторы, влияющие на их эффективность, для разработки рекомендаций по повышению устойчивости сельскохозяйственного производства в условиях внешнего экономического давления.

Модель Лотки-Вольтерра была разработана в Excel на основе данных об использовании удобрений и урожайности сельскохозяйственных культур в хозяйствах Нижегородской области. Она позволила предсказать динамику конкуренции между различными видами удобрений (минеральными, органическими и иными) и определить оптимальные стратегии их использования. Эмпирической базой исследования стали данные о площадях внесения удобрений в сельскохозяйственных организациях региона.

С 2005 по 2023 г. произошли заметные изменения в распределении минеральных (М), органических (О) и других (Д) веществ. В начале периода доля минеральных составляла 0,4766 (2005 г.), после чего уменьшилась до 0,4461 в 2006 г. Затем наблюдался постепенный рост, достигший пика в 2021 г. (0,7147). В последние годы доля минеральных веществ несколько снизилась, составив 0,6474 в 2023 г.

Органические вещества начинали с 0,0695 в 2005 г., постепенно увеличиваясь. Максимум был достигнут в 2023 г., когда их доля составила 0,1618.

Доля других веществ стартовала с 0,4539 в 2005 г., показывая плавное снижение на протяжении всего периода. Минимальное значение зафиксировано в 2021 г. (0,1451), после чего в 2022–2023 гг. наблюдается незначительный рост до 0,1908. Таким образом, за рассматриваемый период доля минеральных и органических веществ увеличивалась, доля других веществ уменьшалась.

Доли занимаемой площади различными типами удобрений

(органические, минеральные и другие) от общей посевной площади за период с 2005 по 2023 г. представлены в виде коэффициентов, отражающих относительное соотношение площади, занятой каждым типом удобрений, к общей площади посевов в соответствующий год.

На основе этих данных была разработана система дифференциальных уравнений Лотки-Вольтерра, описывающая конкурентные взаимодействия между различными типами удобрений за доступную площадь:

$$dM / dt = M * (0.00034 + 0.00471 * M + 0.04324 * OD);$$

$$dOD / dt = OD * (0.0713 - 0.18587 * M - 0.03644 * OD).$$

M — доля минеральных удобрений;

OD — органические и другие;

t — период времени, равный году.

Уравнения:

Минеральные удобрения (M):

$$dM / dt = M * (0.00034 + 0.00471 * M + 0.04324 * OD).$$

Минеральные удобрения демонстрируют рост доли при наличии благоприятных условий (достаточная площадь и минимальная конкуренция). Однако с увеличением доли органических удобрений (О) и других (Д) темп роста минеральных удобрений (М) может замедляться. Для эффективного применения важно учитывать влияние внешних факторов и поддерживать оптимальный баланс условий, чтобы избежать замедления темпов роста.

Органические и другие удобрения (OD):

$$dOD / dt = OD * (0.07131 - 0.18587 * M - 0.03644 * OD).$$

Органические и другие удобрения демонстрируют рост своей доли (OD) при благоприятных условиях, однако их увеличение может быть ограничено конкуренцией с минеральными удобрениями (М) и собственным насыщением системы. Высокая доля минеральных удобрений замедляет темп роста органических, подчеркивая необходимость рационального распределения различных видов удобрений. Для устойчивого развития важно учитывать взаимное влияние компонентов и создавать условия для оптимального баланса между органическими и минеральными удобрениями.

Все три типа удобрений — минеральные, органические и дру-

¹ Научный руководитель: Катаева Лилия Юрьевна — профессор кафедры цифровой экономики, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексева, доктор физико-математических наук, профессор.

гие — обладают встроенными механизмами саморегуляции, ограничивающими их рост при достижении насыщения посевной площади. Это отражается в отрицательных коэффициентах системы уравнений, влияющих на динамику каждого вида удобрений. Таким образом, все три вида удобрений имеют предельные возможности роста, что требует сбалансированного подхода к управлению посевными площадями.

Рекомендации для повышения эффективности использования удобрений:

1. Стимулирование интеграции удобрений. Совместное использование минеральных и органических удобрений может повысить общий уровень плодородия почв, снижая негативное влияние интенсивного применения минеральных удобрений.

2. Поддержка органических удобрений. Органические удобрения играют важную роль в поддержании экологического баланса. Государственные программы субсидирования и внедрение экологически чистых технологий помогут увеличить их долю, не снижая продуктивности.

3. Оптимизация применения других удобрений. Учитывая резкое снижение доли других удобрений, важно проанализировать их уникальную роль и разработать стратегии для их рационального использования.

4. Улучшение информационной инфраструктуры. Совершенствование систем обмена данными между сельхозпроизводителями позволит внедрять инновации, такие как точное земледелие,

что способствует оптимальному распределению ресурсов.

5. Экологическая устойчивость. Снижение негативного воздействия минеральных удобрений на окружающую среду через внедрение более современных методов внесения и повышение качества органических компонентов.

Модель Лотки-Вольтерра, примененная к конкуренции за посевные площади в Нижегородской области, позволила выделить ключевые механизмы взаимодействия между видами удобрений. Анализ показал, что конкуренция между минеральными, органическими и другими удобрениями усиливается, однако сбалансированное управление ресурсами способно минимизировать негативные последствия этой конкуренции.

Для устойчивого развития региона важно внедрение комплексных решений, направленных на повышение эффективности и экологической безопасности аграрного производства. Эффективное применение одного типа удобрений может ограничивать использование других, что подчеркивает необходимость стратегического планирования и рационального выбора системы удобрений. Исследование способствует оптимизации распределения посевных площадей, а также повышению экологической и экономической эффективности агропроизводственных процессов. Модель может быть использована для дальнейшего изучения влияния дополнительных факторов, таких как изменение климатических условий, доступность ресурсов и экономические стимулы, что делает ее полезным инструментом для принятия решений в аграрной политике.

Примечания

1. Kloppers P. H., Greeff J. C. Lotka–Volterra model parameter estimation using experiential data. URL: <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 08.01.2025).
2. Данные об внесении минеральных и органических удобрений под посевы в сельскохозяйственных организациях Нижегородской области (в период с 2008 по 2021 г.). URL: <https://52.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 04.12.2024).
3. Масленников Д. А., Катаева Л. Ю., Кольчик И. В., Романова Е. А. Среднесрочное прогнозирование динамики индикаторов экономической безопасности регионов на основе метода Монте-Карло // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы: материалы VI Международной научно-практической конференции. Нижний Новгород, 2018. С. 186–189.
4. Катаева Л. Ю., Масленников Д. А., Федосеева Т. А. Влияние индикаторов на прогнозируемость экономической безопасности региона // Фундаментальные исследования. 2019. N 12-1. С. 72–76.
5. Масленников Д. А., Катаева Л. Ю., Романова Е. А. Прогнозирование региональной составляющей системы экономической безопасности Российской Федерации на основе имитационного моделирования // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы: материалы VI Международной научно-практической конференции. Нижний Новгород, 2018. С. 181–185.
6. Чувашова К., Катаева Л. Ю. Роль обыкновенных дифференциальных уравнений в решении линейных динамических моделей // Научный альманах Центрального Черноземья. 2022. N 2-8. С. 13–17.

English version

Modeling competition for sown area with different fertilizers for crops in agricultural organizations of the Nizhny Novgorod region

Kraynov Andrey Aleksandrovich, student, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

The article studies the dynamics of competition for the use of sown areas by different types of fertilizers — mineral, organic and others — in agricultural organizations of the Nizhny Novgorod region based on data for 2005–2023. The main objective of the study is to identify quantitative dependencies reflecting the influence of competition between types of fertilizers on the distribution of areas, as well as to assess their contribution to the productivity and sustainability of agricultural production in the region. For the analysis, a mathematical model based on the Lotka-Volterra system of differential equations was used, describing the interaction between types of fertilizers and their influence on the distribution of sown areas. The results of the study revealed the mechanisms of self-regulation of agrosystems and a significant influence of competition on the efficiency of fertilizer use.

Keywords: dynamics, competition, area, mineral fertilizers, organic fertilizers, Lotka-Volterra method.