
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Петров Антон Александрович, канд. техн. наук, доц.

Подгорная Марина Александровна, маг.

Звягина Анастасия Андреевна, маг.

Попова Маргарита Игоревна, асп.

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, ул. Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: petrov.a@kubsau.ru

Цель: анализ и разработка алгоритма выбора оптимальных вариантов севооборота, внедрение цифровых технологий в наиболее крупную отрасль российской экономики – сельское хозяйство. *Обсуждение:* в работе представлены результаты анализа задачи автоматического формирования структуры посевных площадей, показана актуальность данной задачи для больших агропромышленных холдингов и хозяйств. Приведены экономические и экологические критерии выбора среди конкурирующих систем севооборота. Показан фактор влияния оптимального севооборота, на улучшение экологической обстановки на полях и, как следствие, фитосанитарное состояние посевов, за счет чего происходит рост экономической эффективности. *Результаты:* по результатам проведенного исследования предложены критерии выбора структуры посевных площадей выполнять с помощью итераций, благодаря чему можно будет проводить промежуточную оценку результата, что позволит в нужный момент изменять исходные данные, повторно выполняя расчеты. В результате исследования была смоделирована система севооборота, в которой заложен учет правил чередования культур по предшественникам.

Ключевые слова: севооборот, сельское хозяйство, моделирование, посев, урожайность, почва.

DOI:

Введение

Актуальность исследования: важнейшим экономическим ресурсом в любом государстве является земля, в связи с чем развитие сельскохозяйственной отрасли с каждым годом приобретает все большую популярность. Отсутствие методов для решения задачи по увеличению плодородности почв и высокая потребность в них делает актуальным создание новой модели для формирования оптимальных вариантов севооборота с основными характеристиками.

Задачи: изучить методы севооборота, изучить проблему построения оптимальных посевных площадей, предложить модель для проектирования севооборотов, провести анализ распределения техники по полям.

Методология исследования

Задача рационального использования земель занимает центральную роль в любом государстве. Для создания оптимальных условий выращивания растений необходимо изначально ответить на следующие вопросы:

1. Какую культуру необходимо выращивать на данном поле?

Важно учитывать тип почвы, проводить анализ того, что росло до этого на данном поле, учитывать ограничения.

2. В каком количестве требуется выращивать?

3. Какое распределение техники является оптимальным?

Здесь важно учитывать операции, выполненные в предыдущие дни, чтобы не упустить ни один этап обработки.

Для успешного развития земледелия необходим системный подход. Наименее изученным является, по сути, основа земледелия – севооборот. Он влияет на агроэкосистемы, от которых зависит активность и направленность почвенно-микробиологических процессов, формирование пищевого режима и урожайность возделываемых культур. Севооборот сочетает в себе выполнение следующих функций:

- разработка программы удобрения полей;
- регулирование системы защиты растений (включая структурное состояние почвы, контроль содержания влаги под культурами);
- определение необходимого количества техники, а также трудозатрат [1].

С точки зрения науки севооборот – сельскохозяйственный прием возделывания земель путем посадки различных видов культур на одной и той же площади в зависимости от сезона. Исследования и опыт показали, что качественно спланированный севооборот обеспечивает более стабильную урожайность, помогает в борьбе с вредителями, увеличивает потенциальную прибыль и улучшает структуру почвы и уровни органических веществ.

Рациональное использование почвы заключается в правильном расчете следующих критериев:

1. Регулирование водного режима. Влага, кроме прочего, выступает в роли терморегулятора. Необходимое количество воды для каждого растения варьируется от типа культуры, почвы и возраста растения (например, для прорастания семян может потребоваться до 100% от массы семени). При этом важно учитывать и тот фактор, что при проникновении воды в почву она претерпевает ряд изменений. Это связано с тем, что часть воды испаряется или просачивается не в сторону корня, а растению остается та часть, которая удержится почвой. Эта способность почвы называется водоудерживающей [10].

Для расчета необходимого количества влаги прибегают также к понятиям водоемкости почвы (то есть то, какое количество влаги почва способна удержать) и водопроницаемости почвы (определяется в целом как способность удерживать влагу) [3].

2. Регулирование воздушного режима. Почвенный воздух зависит от пористости и влажности почвы, так как он занимает все поры, в которых отсутствует влага. От атмосферного его отличает меньшее количество кислорода, но большее количество углерода.

При попадании воды в почву почвенный воздух сжимается, после чего происходит выделение CO₂ в атмосферу. Этот процесс называется диффузией, благодаря ему процесс газообмена является непрерывным.

3. Регулирование теплового режима. Тепло в почву в наиболее значительном количестве поступает за счет солнечных лучей, далее влияние оказывают температура воздуха, органические разложения и другие факторы. Но изменения температуры в почве происходят практически непрерывно. Этот процесс и называется тепловым режимом.

Основным фактором, определяющими способность почв проводить и аккумулировать тепло, является теплопроводность – способность почв проводить тепло между слоями. Чем ниже теплопроводность, тем медленнее нагреваются слои.

4. Регулирование светового режима. Свет оказывает значительное влияние на качество выращиваемой культуры. При недостатке света растения слабо развиваются и имеют тусклый окрас листьев, часто вообще не плодоносят.

Световой режим представляет собой совокупность процессов поглощения растениями световой энергии [4]. Его регулируют с помощью следующих агротехнических приемов: место, сроки, способ и направление посева, а также норма высева.

5. Регулирование питательного режима. Для обеспечения необходимого количества питательных веществ важно соблюдать бездефицитный баланс элементов питания.

Суть регулирования питательного режима почвы сводится к применению мер, снижающих потери питательных веществ [3, 11-12]. На сегодняшний день этот процесс осуществляется посредством соблюдения правильного севооборота и рациональной механической обработки почв.

Первые математические модели для оптимизации систем земледелия были разработаны в связи с множеством проблем, среди которых было рациональное распределение земель под различные культуры.

Математические графики решали преимущественно логистические проблемы, среди которых была автоматизация сбора и транспортировка. В построении оптимальной структуры посевных площадей наиболее значимыми задачами являются оптимизация программы выпуска продукции и планирование севооборота [5].

Севооборот – один из важнейших приемов в агротехнике всех сельскохозяйственных культур. Основным недостатком большинства моделей для оптимизации севооборота было отсутствие учета следующих важных показателей:

- ограничения, такие как специализация, новизна техники, трудовые ресурсы;
- время, прошедшее после выращивания предыдущих культур;
- критерии рационального использования почвы, рассмотренные ранее.

Обсуждение результатов

Подсистема моделирования позволяет решить задачу автоматизации проектирования севооборотов методом многофакторной, иначе говоря, многокритериальной оптимизации и элементов машинного обучения с целью формирования оптимальной структуры посевных площадей.

Учет критерия структуры посевных площадей решено выполнять с помощью итераций, благодаря чему можно будет проводить промежуточную оценку результата. Это позволит в нужный момент изменять исходные данные, повторно выполняя расчеты.

Изначально (на вход) будут требоваться следующие данные:

- площади всех полей;
- расстояния между полями хозяйства (координаты);
- история посевов на каждом поле;
- ограничения по частоте посева (в севообороте);
- список культур, планируемых к посеву;
- срок планирования севооборота в годах;
- ограничения по пространственной изоляции аналогичной культуры текущего и предыдущего периодов;
- допустимое отклонение от желаемого распределения культур (в процентах).

Критерием, занимающим наивысшую роль, является информация о предшественниках, так как во многом именно от нее зависит урожайность в целом. В системе заложен учет правил чередования культур по предшественникам.

Таким образом, модель поможет:

- минимизировать общие инвестиционные затраты;
- максимально увеличить накопление питательных веществ в почве;
- максимизировать экономическую отдачу;
- минимизировать экономический риск;
- поспособствовать диверсификации урожая в последующие сезоны.

В данной модели, кроме прочего, учитываются дополнительно сле-

дующие критерии: частота посева, чередования культур по частоте встречаемости в севообороте, предполагаемый процент каждой культуры.

Заключение

Данная модель учитывает все наиболее значимые критерии для успешного произрастания различных культур. При всем этом она максимально доступна и проста в использовании: требуется ввод входных данных, список полей хозяйства и планируемые сельскохозяйственные культуры.

В результате работы оптимизационной модели каждому полю хозяйства присваивается севооборот и номер года, с которого начнется цикл севооборота на данном поле. Происходит формирование оптимальной структуры посевных площадей для всех полей хозяйства, расчеты ротационной таблицы на произвольный заданный период, планового валового сбора урожая и экономических итогов.

В дальнейшем планируется также выявление причин нарушений агрономических правил с целью дальнейшего анализа агрономами.

Список источников

1. Методические основы оптимизации структуры посевных площадей и построения полевых севооборотов в равнинных агроландшафтах засушливого Поволжья // ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Саратов, 2017.
2. Каменских Н.Ю. *Разработка проекта севооборотов, системы обработки почвы и комплексных мер борьбы с сорняками*: методическое пособие / сост. Н.Ю. Каменских, Я.В. Субботина; ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. 2-е изд., перераб. Пермь, Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2014.
3. Тулайков Н.М. *Избранные труды*. Москва, Россельхозакадемия, 2000. (Классики отечеств. с.-х. науки). К 125-летию со дня рождения.
4. Внутрихозяйственное землеустройство. Организация севооборотов и устройство их территории / Для обучающихся по направлению 21.03.02 Землеустройство и кадастры. Нижний Новгород, 2018.
5. Станков Н.З. *Корневая система растений*. Москва, Колос, 1964.
6. Nisperos S. *A Dynamic and Multi-Criteria Sustainability Assessment Model for Crop Rotation Alternatives. 38th Annual PAASE Meeting and Symposium (APAMS 2018)* / S. Nisperos and F. McKenzie. Tucson AZ, USA, April 2018.
7. Dogliotti S. M.K.: ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations / Dogliotti, S., Rossing, W.A.H., Van Ittersum – *European Journal of Agronomy* 19, 2003.
8. Витер А.Ф. *Изменение плодородия черноземов при их обработке // Ресурсосберегающие системы обработки почвы*. Москва, Агропромиздат, 1990.
9. Сухов А.И. *Плодородие почвы и продуктивность различных видов полевых севооборотов в зависимости от приемов их биологизации и площади чистого пара в аридной земледелии Нижнего Поволжья* / Сухов А.И., Беленков А.И., Корякин А.Ф. Москва, Современные тетради, 2003.
10. Тулайков Н.М. *Разнообразие культур как средство к созданию устойчивого полеводства // Вестн. сел. хоз-ва*, 1927, no. 1.
11. Шульмейстер К.Г. *Травопольные севообороты в засушливом Поволжье* / Шульмейстер К.Г., Мясниченко И.М., Смирнов И.И. // *Вестн. с.-х. науки*, 1992.
12. Кулинцев В.В. *Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография* / В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, Л.Н. Желнакова и др. Ставрополь, АГРУС Ставропольского университета, 2013.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF AUTOMATIC FORMATION OF THE STRUCTURE OF CROP AREAS IN AGRICULTURE

Petrov Anton Alexandrovich, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

Podgornaya Marina Aleksandrovna, M.A. student

Zvyagina Anastasia Andreevna, M.A. student

Popova Margarita Igorevna, graduate student

Kuban state agrarian University named after I. T. Trubilin, Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: petrov.a@kubsau.ru; nastyazvyagina00@mail.ru; marri9po@gmail.com

Purpose: analysis and development of an algorithm for choosing the optimal options for crop rotation, the introduction of digital technologies in the largest sector of the Russian economy – agriculture. *Discussion:* the paper presents the results of the analysis of the problem of automatic formation of the structure of sown areas, shows the relevance of this problem for large agro-industrial holdings and farms. The economic and ecological criteria for choosing among competing crop rotation systems are given. The factor of the influence of the optimal crop rotation on the improvement of the ecological situation in the fields and, consequently, the phytosanitary state of crops, due to which there is an increase in economic efficiency, is shown. *Results:* the author introduces the criteria for choosing the structure of the cultivated areas were proposed to be performed using iterations, so that it will be possible to conduct an intermediate assessment of the result, which will allow changing the initial data at the right time, re-performing the calculations. As a result of the study, a crop rotation system was modeled, in which the rules of crop rotation according to predecessors were taken into account.

Keywords: crop rotation, agriculture, modeling, seeding, yield, soil.

References

1. Methodological foundations for optimizing the structure of sown areas and constructing field crop rotations in flat agricultural landscapes of the arid Volga region. Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Agriculture of the South-East", Saratov, 2017.
2. Kamenskikh N.Yu. *Development of the project of crop rotations, soil cultivation systems and integrated measures for weed control* [text]: methodological manual / comp. N.Yu. Kamenskikh, Ya.V. Subbotina; FGBOU VPO Perm State Agricultural Academy. 2nd ed., Revised. Perm, Publishing house of FGBOU VPO Perm State Agricultural Academy, 2014.
3. Tulaykov N.M. *Selected Works*. Moscow, Russian Agricultural Academy, 2000. (Classics of Russian agricultural science). To the 125th anniversary of the birth.

4. On-farm land management. Organization of crop rotations and arrangement of their territory / For students in the direction 21.03.02 Land management and cadastres. Nizhny Novgorod, 2018.
5. Stankov N.Z. *Root system of plants*. Moscow, Kolos, 1964.
6. Nisperos S. A Dynamic and Multi-Criteria Sustainability Assessment Model for Crop Rotation Alternatives. 38th Annual PAASE Meeting and Symposium (APAMS 2018) / S. Nisperos, and F. McKenzie. Tucson AZ, USA, April 2018.
7. Dogliotti S. M.K.: ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. / Dogliotti, S., Rossing, W.A.H., Van Ittersum – European Journal of Agronomy 19, 2003.
8. Viter A.F. Changes in the fertility of chernozems during their processing. *Resource-saving soil processing systems*. Moscow, Agropromizdat, 1990.
9. Sukhov A.I. Soil fertility and productivity of various types of field crop rotations depending on the methods of their biologization and the area of pure fallow in arid agriculture of the Lower Volga region. / Sukhov A.I., Belenkov A.I., Koryakin A.F. Moscow, Modern notebooks, 2003.
10. Tulaykov N.M. Diversity of cultures as a means to create sustainable field cultivation. *West. sat down. households*, 1927, no. 1.
11. Shulmeister K.G. Grass-field crop rotation in the arid Volga region. / Shulmeister K.G., Myasnichenko I.M., Smirnov I.I. *Vestn. s.-kh. Science*, 1992.
12. Kulintsev V V. The new generation farming system of the Stavropol Territory: monograph. / V.V. Kulintsev, E.I. Godunova, L.N. Zhelnakova and others. Stavropol, AGRUS Stavropol University, 2013.