Рисунок 5

Рисунок 6

Закключение. Программы для работы с фотограмметрией, облаками точек, геоинформационными системами, а также среды разработки игр обладают большим функционалом. В каждой из этих специализаций программ есть аналогичные программы, отличающиеся функционалом, возможностями и лицензией на программное обеспечение. Выбор необходимых программных средств, в основном, определяется удобством, функционалом, отказоустойчивостью и лицензией распространения.

Использованные источники:

1. Иванова А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения. Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – Вып. 3, – С. 88-107.
2. K. Hammoudi, F. Dornaika, B. Soheilian, N. Paparoditis. Extracting Wire-frame Models of Street Facades from 3D Point Clouds and the Corresponding Cadastral Map. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRS), – Vol. 38/ – Part 3A. – P. 91-96, Saint-Mandé, France, 1-3 Сентября 2010.
3. Руководство пользователя Agisoft Metashape. Agisoft LLC. [Электронный ресурс]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_ru.pdf (дата обращения: 19.05.2021).
4. Определение «Географическая информационная система» на сайте ГИС-Ассоциации дата публикации январь 2004. ГИС-Ассоциация. 2002-2016 гг.
5. Руководство пользователя QGIS на сайте QGIS. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qgis.org/ru/docs/> (дата обращения: 09.05.2021).
6. Капралов Е., Кошкарев А., Тикунов В., Лурье И., Семин В., Серапинас Б., Сидоренко В., Симонов А. Геоинформатика. – Москва: Academia, 2010. В 2 книгах.
7. Руководство пользователя Unity на сайте Unity3d. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.unity3d.com/ru/530/Manual/> (дата обращения: 11.05.2021).
8. Antonín Šmíd. Comparison of Unity and Unreal Engine. Czech Technical University in Prague. Май 2017.
9. Kaitlyn Kingsland. A Comparative Analysis of Two Commercial Digital Photogrammetry Software for Cultural Heritage Applications. Institute for Digital Exploration University of South Florida, – Tampa, – USA. 2019.

УДК: 631.1:004.04

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-92-97

*Нечаев А.И.,
СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская обл., р.п. Краснообск*

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

В статье приведен анализ состояния проблемы построения и реализации структуры информационно-управляющей системы (ИУС) возделывания зерновых культур. На основании информационного обзора показано, что методы на основе функционального (теоретического) динамического имитационного моделирования или использование эмпирических имитационных моделей для построения и реализации структуры ИУС неприемлемы. Рассмотрена возможность реализации ИУС как системы поддержки принятия решения (СППР), DSS-системы (Decision Support Systems) на основе методов теории принятия решения (ТПР).

Ключевые слова: агротехнологии, математическое моделирование, информационно - управляющая система, DSS-система, система поддержки принятия решения.

Автоматизация управления возделыванием зерновых культур преследует цель внедрения цифровых технологий, в частности, информационно-управляющих систем (ИУС) для расчета параметров агротехнологии, определяющей проведение технологических операций на поле. Проблема создания ИУС в настоящее время не решена, поскольку многие процессы в объекте управления (ОУ) не описаны в аналитической форме, достаточной для синтеза реализуемой структуры ИУС.

Анализ состояния проблемы построения и реализации структуры ИУС возделывания зерновых культур с точки зрения методов теории управления, системного и компартментального подхода рассмотрены в [1]. В качестве ОУ рассматривается почва, возделываемая культура и экология используемого участка агроландшафта. При этом установлено:

- ИУС относится к классу систем адаптивного управления с прогнозированием многомерных динамических стохастических объектов. Выявлено новое качество системы управления: наличие контура управления, определяющие устойчивость, поддержание плодородия почвы и экологии в севообороте, и контура управления агрофитоценозом возделываемой культуры.

- аналитическое описание процессов агробиосистемы на современном уровне базируется на компартментальном подходе. Взаимосвязь и содержание компартмента описывает процесс переноса энергии и массы в системе «почва – растительный покров – приземный слой воздуха» на основе функционального (теоретического) динамического имитационного моделирования.

- в рамках компартментального подхода создан ряд систем, использующих методы функционального динамического имитационного моделирования. Это: семейство моделей WOFOST (Нидерланды); наиболее распространенная в мире система поддержки и принятия агротехнологических решений DSSAT – The Decision Support System for Agrotechnology Transfer (США); DSSAT Cropping System (CSM) – проект фирмы IBSNAT (США); система моделирования APSIM – Agricultural Production Systems SIMulator (Австралия) и модель продуктивности посевов AGROTOOL (Россия).

Таким образом, на современном уровне аналитическое описание процессов агробиосистемы носит ограниченный характер и не позволяет аналитически описать процессы управления в ИУС. Использование эмпирических моделей неприемлемо, поскольку смена культуры или природно - климатической зоны потребует разработку новой модели с включением стадий исследования и верификации. Поэтому, реализацию ИУС следует рассматривать как систему поддержки принятия решения (СППР).

Для анализа и выработки предложений в СППР используют методы теории принятия решения (ТПР). При принятии решений применяют весь арсенал методов современной прикладной математики. Это могут быть: информационный поиск, интеллектуальный анализ данных, поиск знаний в базах данных, рассуждение на основе прецедентов, имитационное моделирование, эволюционные вычисления и генетические алгоритмы, нейронные сети, ситуационный анализ, когнитивное моделирование, экспертные системы, онтологический подход и другие.

Для обоснования выбора метода принятия решения в соответствии с ТПР рекомендуется рассмотреть степень структуризации или формализации проблемной ситуации [2]. Понятие степени структуризации проблемы, введенное Г. Саймоном и А. Ньюэллом, связано с различным сочетанием количественной и качественной, объективной и субъективной информации, описывающей проблему.

В [1] показано, что процесс управления оперирует информацией, содержащей как количественные, так и качественные оценки проблемы при отсутствии строгих математических моделей, аналитических зависимостей, что позволяет отнести проблему по степени структуризации к слабоформализованным предметным областям.

Управление возделыванием заключается в прогнозировании наилучших управляющих воздействий на объект управления, формируемых из множества альтернатив с помощью функции выбора с участием лица принимающего решение (ЛПР) до начала полевых работ

и их применение в текущем сезоне. В качестве функции выбора (критерия выбора) рекомендуется использовать показатель эколого-экономической эффективности, отражающий величину чистого дохода (или прибыли) с учетом предотвращенного экологического ущерба [1, 3].

Расширенное понятие «альтернативы» включает в себя прогнозируемое состояние объекта и системы управления для ее оценки методами теории принятия решения при выполнении ограничений. Ограничениями являются: неустойчивое состояние плодородия почвы, недостаточное плодородие почвы для саморегуляции, нарушение условий органогенеза культуры.

Используя представление параметров объекта и системы управления в виде элементов множества $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, где x_n – значение n -ого параметра представим альтернативу в виде совокупности основных подмножеств, связанных с плодородием почвы и параметрами культуры:

- Hp, Bp, FHp, Lp, FSp – соответственно, множества химических, биологических, физико-химических и водно-физических, ландшафтно-экологических, фитосанитарных параметров почвы, ОСТ 10 294-2002-ОСТ 10 297-2002 «Показатели состояния плодородия почв по основным природно-сельскохозяйственным зонам Российской Федерации»;

- Hk, Bk, FSk – соответственно, множества химических, биологических, фитосанитарных параметров культуры. Основные свойства культуры содержатся в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию [8], биохимический состав растений определен в [9].

- ASw, AKw, ASe, AKe – соответственно, множества параметров агротехнологий управления возвратом (выносом) химико-биологических компонент в почву в цикле севооборота и возделывания культуры, управления фитосанитарным состоянием поля и культуры. Суммарное накопление питательных элементов в общей биомассе является общим или биологическим выносом, который складывается из хозяйственного (вынос с биомассой, удаляемой с поля при уборке урожая) и остаточного (пожнивно-корневые остатки) [10]. Расчет биологического выноса проводят по формуле:

$$B = \sum(C_i \cdot M_i) \cdot 10 \quad (1)$$

где B – вынос питательного элемента, кг/га; C_i – содержание питательного элемента в отдельных органах, %; M_i – масса отдельных органов, т/га;

- ARM – множества параметров агроклиматических и агрометеорологических условий, [4-6]: фотосинтетическая активная радиация (ФАР), термические ресурсы территории, условий влагообеспеченности вегетационного периода, коэффициент увлажнения, сумма атмосферных осадков на период календарного года, гидротермический коэффициент;

- AZ – множества параметров агроклиматической зоны [7];

- ASs – множества параметров севооборота;

- MTP – множества параметров машинно-тракторного парка.

Все альтернативы разбиты на две группы: альтернативы прогнозирования состояния устойчивости и плодородия почвы в цикле севооборота ATs , и прогнозирования агрофитоценоза культуры ATk .

Оценка устойчивости органического вещества почвы предложена в [11] на основе математической теории катастроф. Модели теории катастроф описывают резкие скачки (бифуркация) системы из одного состояния в другое. Предложенная модель позволяет рассчитать критерии устойчивости для различных типов почв и провести прогнозирование возможных равновесных состояний по значению параметров круговорота углерода.

Обеспечение уровня плодородия почвы следует из балансового уравнения выноса и возврата химических элементов почвы (2):

$$P_{ks} = P_{ns} - P_{vn} + P_{ats} + P_{atk} + P_{ud} \quad (2)$$

где: $P_{ns}, P_{ks}, P_{vn}, P_{ats}, P_{atk}, P_{ud}$ – множества элементов почвы нормированной концентрацией, соответственно, на начало, конец сезона, выноса элементов питания, возврат агротехнологией севооборота, возврат агротехнологией агрофитоценоза культуры, внесение удобрений.

При этом минимальный запас биохимических элементов почвы на начало сезона

p_{nsmin} определяется минимальным содержанием элементов p_{ssmin} , обеспечивающим собственное воспроизводство в цикле севооборота и оптимальным содержанием p_{asopt} , обеспечивающим рост и развитие растений (органогенез), определяемая минимальным и максимальным значением (3, 4).

$$p_{nsmin} = p_{ssmin} + p_{asopt} \quad (3)$$

$$p_{asmax} \geq p_{asopt} \geq p_{asmin} \quad (4)$$

Определим прогнозируемое множество химических параметров почвы Hr^* как результат прямого произведения исходного состояния Hr с множеством весовых коэффициентов (wk) прогнозируемого преобразования k_j^* , где $j=0, \dots, m-1$, m – число множеств параметров альтернативы, связанное с изменением Hr почвы:

$$Hr^* = Hr \cdot \left(1 + \sum_{j=0}^{m-1} k_j^*\right) \quad (5)$$

Описание взаимосвязи множеств параметров альтернативы показано в таблице 1.

Таблица 1

Взаимосвязь множеств параметров альтернативы

Множество параметров		Тип параметра	Цикл регулирования	Тип преобразования
Входных	Выходных			
Hr	Hr^*	хим. параметры почвы	севооборот, сезон	wk
Bp	Hr	гумус	севооборот	wk
FHp	Uk	pH	севооборот	wk
Lp	Uk	деградация	севооборот	wk
FSp	Uk, MTP	сорняки, болезни	сезон	ASe, AKe
Hk	Hr	вынос	сезон	wk
Bk	Uk	среда обитания	сезон	wk
FSk	Uk, MTP	болезни	сезон	wk
ARM	Hr, FHp, Lp, FSp, FSk	Климат, метео		wk
AZ		Параметры климатической зоны		Ограничение диапазона параметров альтернативы
ASs		Параметры севооборота		wk

Таким образом, СППР представляет собой множество альтернативных вариантов, включающих в себя подмножества параметров в соответствии с таблицей 1. При этом формирование значений параметров и коэффициентов преобразования альтернативы производится ЛПР (экспертами). Альтернатива может содержать точные значения параметров и коэффициентов преобразования или диапазоны их значений или вероятностное распределение параметров, определяемое вероятностным характером агроклиматических и агрометеорологических условий.

Все альтернативы разбиты на две группы: альтернативы прогнозирования состояния устойчивости и плодородия почвы в цикле севооборота, ATs , и агрофитоценоза культуры ATk .

Для определения оптимального решения по критерию эколого - экономической эффективности формируется рабочий состав массива альтернатив, удовлетворяющий ограничительным условиям агроклиматической зоны выбранного участка агроландшафта (поля), состоящий из массива альтернатив ATs и массива ATk . Массив ATs должен удовлетворять критерию устойчивости и саморегулирование плодородия почвы в цикле ротации севооборота с учетом предшественника или внесения органических удобрений. Для каждой альтернативы ATs_i определяется прогнозируемое множество Hr^* и плотности p_{ssmin} . Массив альтернатив ATk , определяет агротехнологические воздействия разной интенсивности при поддержании

множества H_r^* , достаточного для агрофитоценоза культуры с учетом выноса элементов культурой и сорняками, соотношения (3, 4).

Каждая альтернатива определяет урожайность культуры изменениями базовой в соответствии с коэффициентом преобразования агротехнологии.

В случае точного значения параметров альтернатив определение оптимального решения по критерию эколого-экономической эффективности осуществляется вычислением стоимости валового урожая и издержек на его получение, например, методом целочисленного линейного программирования (симплекс-метод). Для нечеткого или вероятностного описания параметров альтернативы для определения оптимального решения необходимо использовать метод нечетких множеств или вероятностные методы.

Отметим, что в состав СППР входят информационные ресурсы, например, каталог базовых агротехнологий, каталог технико-экономических параметров МТП и др.

Структура СППР может быть создана на основе современных DSS-систем. В структуре выделяют четыре основных компонента:

информационные хранилища данных (Data Warehouse) – предметно-ориентированная информационная база данных;

средства и методы извлечения, обработки и загрузки данных (ETL – Extract Transform Load) – один из базовых процессов управления хранилищами данных; многомерная база данных и средства анализа OLAP (OnLine Analytical Processing) – подход к аналитической обработке данных, базирующийся на их многомерном иерархическом представлении;

средства Data Mining – способ анализа информации в базе данных с целью отыскания аномалий и трендов без выяснения смыслового значения записей. Структура DSS-системы показана на рисунке 1.

Рисунок 1. Структура DSS-системы

Использованные источники:

1. Нечаев А.И. Структура информационно-управляющей системы возделывания зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2021, – Т. 51, – № 2, – С. 96–106.
2. Петровский А.Б. Теория принятия решений: учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
3. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии: учебник. – СПб.: Лань, 2015. – 464 с.
4. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. – Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2011. – 808 с.
5. Грингоф И.Г. Павлова В.Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том III. Часть 1. Основы агроклиматологии. Часть 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. – Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2013. – 384 с.
6. ГОСТ 17713-89. Сельскохозяйственная метеорология. Термины и определения.
7. Кирюшин В.И., Власенко А.Н. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. – Новосибирск: СибНИИЗХим СО РАСХН, 2002. – 387 с.
8. Государственный реестр селекционных достижений [Электронный ресурс]. URL: www.gossortrf.ru (дата обращения: 01.09.2021).

9. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Ч. 4. Фундаментальная агрохимия: учеб. пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
10. Самсонова Н.Е. Агрохимия: удобрения и основы их применения. – Смоленск: Смоленская ГСХА, 2018. – 106 с.
11. Давлетшина М.Р. Анализ устойчивости почв методами математического моделирования: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. – Уфа: Башкирский ГАУ. 2003. – 24 с.

УДК 63.631.471:52.528.873.041.3

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-97-99

*Павлова А.И.,
СФНЦА РАН, Новосибирская область, р.п. Краснообск*

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПОЧВЕННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

В статье рассматриваются вопросы цифрового картографирования сельскохозяйственных земель с применением географических информационных систем и данных дистанционного зондирования, полученных в результате аэрофотосъемки местности с применением беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: цифровая пространственная модель землепользования, цифровая почвенная карта, географические (геоинформационные) системы, данные дистанционного зондирования Земли, беспилотные технологии, мультиспектральная аэрофотосъемка.

Для разработки цифровых пространственных моделей землепользований актуально применение данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ). Аэрофотосъемка местности с применением беспилотного летательного аппарата позволяет получать актуальную информацию о пространственных границах земельных участков, о состоянии почв и растительности. Это необходимо для разработки пространственных баз данных. При этом наиболее трудоемкая работа связана с цифровой обработкой снимков, связанной с построением орфотопланов и дешифрированием различных объектов природного и антропогенного происхождения. Для целей сельского хозяйства требуется разработка электронных карт полей, почвенных карт и карт агрохимического состояния почв. В ходе цифрового почвенного картографирования привлекаются вегетационные индексы (ВИ).

Наиболее известные ВИ основаны на вычислениях с использованием двух участков электромагнитного диапазона длин волн: красной и ближней инфракрасной, как наиболее информативных участках кривой спектральной отражательной способности растений и почвенного покрова. В красном диапазоне электромагнитного спектра (от 0,62 до 0,75 мкм) фиксируется максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, в ближней инфракрасной зоне (от 0,75 до 1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Высокая фотосинтетическая активность ведет к более низким показателям спектральной отражательной способности в красной области спектра и большим показателям в ближней инфракрасной. Это позволяет распознавать на снимках растительность [1]. Основное достоинство ВИ состоит в относительной простоте их вычисления с помощью ГИС и программ, предназначенных для обработки ДДЗЗ. Области применения ВИ разнообразны. В работе выполнен анализ наиболее известных ВИ для цифрового почвенного картографирования.

Работы выполнены на территории опытной станции «Элитная» – филиала СФНЦА РАН (Новосибирский район, Новосибирской области). Территория исследований расположена на плоской равнине. В качестве исходных материалов в работе использована почвенная карта-схема, космический снимок Sentinel-2A, а также цифровые снимки, полученные в ходе выполнения аэрофотосъемки местности с середины мая по июнь 2021 г.

В результате исследований была выполнена аэрофотосъемка местности с применением беспилотного летательного аппарата самолетного типа Supercam S250F, оснащенного мультиспектральной фотокамерой Parrot Sequoia с четырьмя спектральными каналами: зеленый