

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, АНАЛИЗА, ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР¹

Лопатина Л.М., к.б.н.,
Северо-Кавказский зональный НИИ садоводства и виноградарства
Луценко Е.В., к.т.н.
Кубанский государственный аграрный университет

Предлагается концепция создания автоматизированной системы, обеспечивающей выявление и изучение факторов, влияющих на успешность выращивания сельскохозяйственных культур, прогнозирование количественных и качественных результатов их выращивания и выработку рекомендаций по районированию и агротехнике. Функции системы реализуются на основе накопления и анализа сотен тысяч посуточных записей метеоданных и биологических характеристик выращиваемых растений, привязанных к пространственно-временным координатам.

Жизнедеятельность человека меняет характер окружающей среды и часто негативно влияет на него самого.

Мировой и отечественный опыт показывает, что дальнейший прогресс в земледелии возможен при отказе от интенсивно-затратных агротехнологий и переходе на ресурсо- и энергосберегающие биологизированные системы. Это более наукоемкие системы землепользования, основанные на ландшафтно-адаптивных принципах [1, 2, 3].

Эффективная реализация этих систем осуществляется при постоянном контроле состояния всех компонентов экосистемы (почва, рельеф, климат, растительность, социум и т.д.).

Только системный, интегрированный подход к исследованию основных блоков генотип × среда, установление функциональных математических зависимостей между элементами системы, реализованных на ЭВМ,

¹ Работа выполняется в рамках Инициативного научного проекта (а), грант № 03-0796801.

позволит продвинуть вперед проблему управления продуктивностью с/х культур [2, 4].

Известно, что в агрономии, растениеводстве более 80% всех конечных выходов продукции детерминируются эмерджентными свойствами. В математической статистике создана теория планирования эксперимента, моделирования и анализа причинно-следственных связей между биологическими объектами и меняющимися условиями среды их обитания [5, 6]. Есть возможность оценивать не только аддитивные вклады каждого фактора среды, но и их взаимодействия. Существует математический аппарат для количественной оценки эмерджентных свойств на разных уровнях сложных систем, поиска экстремумов, т.е. методов оптимизации выхода конечного продукта.

Изучение эмерджентных свойств биологических систем и управление продукционным процессом является одной из наиболее важных задач сельскохозяйственной науки XXI века. Сбалансированность сельскохозяйственного производства в целом возможна лишь на основе накопления и обобщения обширного научно экспериментального материала, полученного на основе агроэкологического мониторинга

Идея компьютерной автоматизации селекционного процесса, исследовательской работы, оптимизации размещения садовых культур, управления продукционным процессом вынашивается уже давно. Концептуальная сторона идеи проста:

- оценить генетические потребности сортов для наиболее полной реализации их генетического потенциала;
- изучить экологические возможности различных микрониш и производственных ниш зоны их возделывания;
- для оптимального размещения и выращивания найти наилучшее совпадение генетических потребностей сорта с возможностями зоны воз-

делывания и дополнить их необходимыми технологическими мероприятиями.

Одни и те же факторы оказывают различное влияние на продуктивность плодовых культур в зависимости от их синхронности с фазами развития и от пластичности конкретной культуры к данному фактору в каждой фазе.

В ходе исследований отслеживаются десятки и сотни биологических показателей растений, характеристик, описывающих условия их произрастания. Учитываемые показатели условно можно разделить на группы: лимитирующих факторов (погодно-климатические, почвенные, агротехнические), влияющих на формирование изучаемых признаков культурных растений (признаки продуктивности) и откликов, зависящих от их генотипических особенностей и внешних лимитирующих факторов.

При обилии изучаемых признаков необходимо применение вычислительной техники и определенного математического аппарата [7]. Однако, основной объем исходной информации об объекте исследования, как правило, находится в бумажной форме. Эта информация характеризуется большой размерностью, непараметричностью, неполнотой (фрагментарностью) и неточностью.

Исходную информацию об объекте исследования необходимо преобразовать в электронную форму, допускающую автоматизированную количественную обработку, т.е. в форму баз данных [8, 9, 10]. Для этого необходимо создать соответствующий программный инструментарий, обеспечивающий поддержку этих баз данных.

Существенно, что отсутствующие данные практически не могут быть восполнены в результате повторно организованного эксперимента из-за высокой стоимости полевых работ и большой длительности циклов управления в плодоводстве, составляющих от 10 и более лет. Поэтому ма-

тематическая модель и методика численных расчетов, реализуемые программным инструментарием, должны обеспечивать корректную обработку неточных, фрагментированных (неполных) непараметрических данных больших размерностей.

Предлагается путь решения поставленной проблемы, основанный на применении автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ) [11, 12], включающего следующие основные компоненты:

– *математическая модель*, обеспечивающую моделирование многофакторных объектов при неполной и зашумленной исходной информации;

– *методику численных расчетов*, включающую способы формализации предметной области, структуры баз данных и алгоритмы их обработки и анализа;

– *программный инструментарий*, реализующий математическое моделирование и методику численных расчетов.

При этом путем декомпозиции проблема сводится к следующей последовательности **задач**:

1. Формализация предметной области: проектирование иерархической информационной модели предметной области, обеспечивающей оптимальность формализованного представления фактографической информации. Выбор исследуемой системы факторов на основе системного подхода, основное требование которого - полнота и всесторонность описания объекта исследования.

2. Организация источников исходной информации: разработка формализованного паспорта для подготовки исходной информации, организация сбора и поступления информации для ввода в автоматизированную систему.

3. Мониторинг: накопление в электронной форме информации по условиям и результатам выращивания с использованием верифицированной ретроспективной исходной информации.

4. Анализ: выявление и количественное изучение силы и направленности причинно-следственных зависимостей между свойствами плодовых культур и условиями их выращивания, с одной стороны, и количественными и качественными результатами их выращивания, -- с другой. Оптимизация, т.е. устранение избыточности, системы факторов.

5. Прогнозирование продуктивности и качества плодовых культур в заданных зонах и подзонах выращивания.

6. Управление:

- поддержка принятия решений по выбору оптимальных зон и подзон максимально приближенных к генетическим требованиям условий выращивания заданных плодовых культур;

- поддержка принятия решений по выбору оптимальных культур для имеющихся зон и подзон выращивания.

7. Картографическая визуализация результатов прогнозирования и рекомендаций по управлению.

Блок библиотеки программ математического моделирования обеспечивает решение сформулированных выше задач прогнозирования и управления и содержит класс моделей распознавания образов и принятия решений (*распознавание* есть не что иное, как *принятие решения* о принадлежности распознаваемого объекта или его состояния к определенному классу). Предлагается применить семантическую информационную модель, основанную на семантической теории информации [11]. В данной модели получено выражение для весовых коэффициентов, удовлетворяющее поставленным требованиям, и учитывающее понятие цели, а также уровень системности и степень детерминированности системы.

Кроме того в ней предложена неметрическая мера сходства объекта с классом, класса с классом, фактора с фактором, основанная на лемме Неймана-Пирсона и применимая в неортонормированном семантическом пространстве, в котором в качестве координат векторов выступает количество информации.

Для формализации предметной области используется аппарат шкал и градаций. Используются номинальные и порядковые шкалы и градации, а также шкалы отношений. В исходных базах данных содержатся числовые значения в шкалах отношений, т.е. в определенных единицах измерения. Эти значения для представления в математической модели преобразуются в порядковые шкалы с интервальными оценками.

Система включает две основные базы данных и большое количество вспомогательных (справочных). К основным относится база биологических данных, и база метеоданных.

Банк биологических данных состоит из двух взаимосвязанных баз данных:

1. База данных заголовков паспортов выращивания сельскохозяйственных культур, которая ссылается на справочники: пункты выращивания; сорта.

2. База результатов выращивания сельскохозяйственных культур, состоящая из шести разделов: дифференциация; фенология; развитие; рост; адаптация; агротехника.

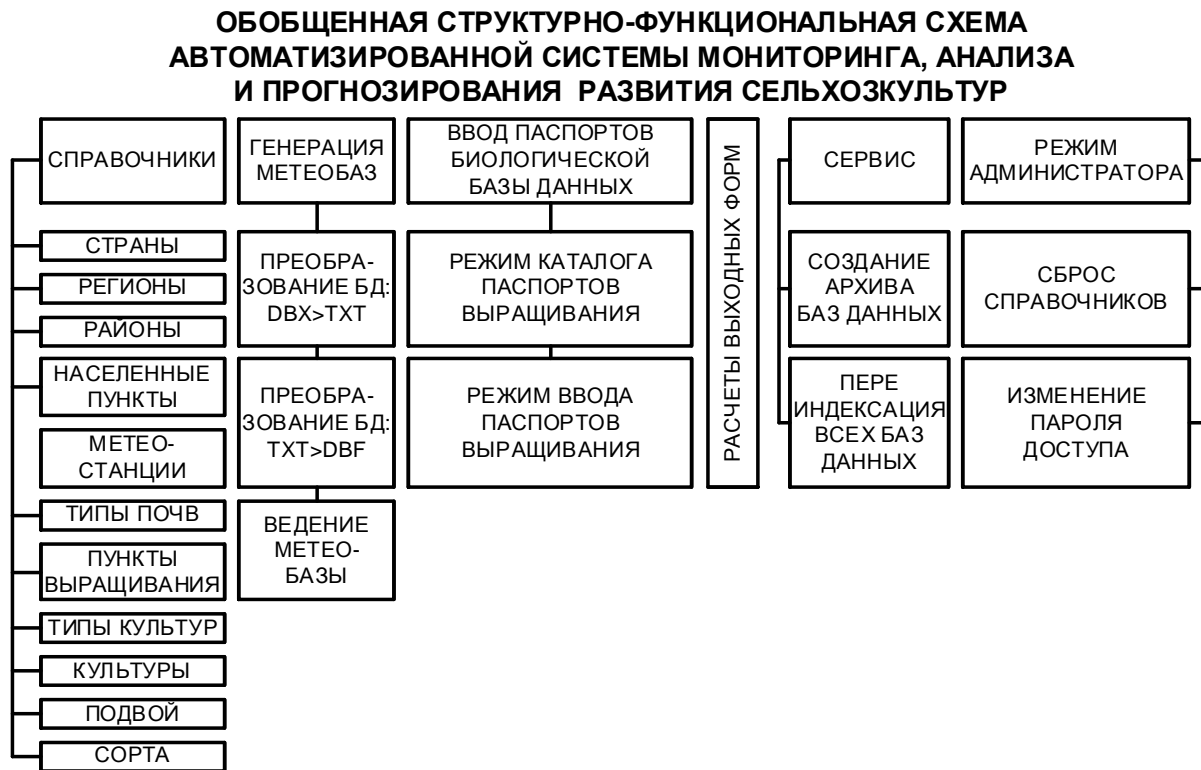
Справочник пунктов выращивания ссылается на справочник типов почв и справочник районов, последний из которых в свою очередь ссылается на справочник регионов, а тот – стран.

Справочник сортов ссылается на справочники подвоев, культур, а последний, в свою очередь, – на справочник типов культур

Справочник культур при вводе используется для удобства с целью фильтрации справочника сортов.

База метеоданных в настоящее время содержит сотни тысяч записей о суточных метеоусловиях по десяткам метеопараметров в точках расположения метеостанций, более, чем за 30 лет.

Создаваемая программная система (см. рисунок) содержит пять основных подсистем: 1) словари; 2) генерация метеобаз данных; 3) ввод-корректировка паспортов биологических баз данных; 4) расчеты выходных форм; 5) режим администратора системы; 6) информация о системе.



В свою очередь, подсистема "Справочники» содержит 11 режимов, обеспечивающих ведение справочников: страны, регионы, районы, населенные пункты, метеостанции, типы почв, пункты выращивания, типы культур, культуры, подвой, сорта. Справочники взаимосвязаны друг с другом. Они организованы таким образом, чтобы минимизировать трудоемкость ввода информации и количество ошибок ввода.

Подсистема "Генерация метеобаз данных" преобразует метеобазы из одного- стандарта в другой, удобный для пользователя и введения метеобаз данных. Это преобразование осуществляется в несколько этапов: 1) преобразование из исходного стандарта в текстовый файл; 2) преобразование из текстового файла в используемый стандарт, ведение метеобазы.

Подсистема "Ввод паспортов биологической базы данных" включает режим каталога паспортов и режим ввода-корректировки конкретного паспорта. Для ввода различных разделов паспорта реализованы вкладки: фазы дифференциации плодовых почек сортов, фенология, образование и развитие ар-хеспориальной ткани, ростовые характеристики; адаптивные свойства; агротехнические мероприятия, признаки продуктивности.

Подсистема "Расчеты выходных форм" обеспечивает численные расчеты с использованием информации метео и биологических баз данных с привязкой к географическим координатам. Подсистема "Сервис" позволяет переиндексировать все базы данных и создать их архив. Режим администратора позволяет изменить права доступа пользователей к различным подсистемам и режимам системы.

Перспективы применения банка биологических данных связаны с обеспечением **совместного** использования информации с банками данных, содержащих качественно другую информацию, в частности:

- метеоданные;
- данные по агротехнологиям;
- логистические данные.

Принцип компьютерного изучения эмерджентных свойств сортов позволяет выявить причинно-следственные взаимосвязи между агротехнологическими и метеофакторами с одной стороны., и количественными и качественными результатами выращивания сельхозкультур, с другой стороны.

В перспективе это позволит вырабатывать научно-обоснованные **рекомендации** в производстве по:

1. Выбору пунктов выращивания для заданных культур в соответствии с требованиями генотипа.

2. Выбору культур, генотип которых соответствует заданным пунктам выращивания.

3. Подбору агротехнологий, обеспечивающих заданные количественные и качественные результаты выращивания сельхозкультур с учетом предшественников, типов почв и климатических факторов среды в каждом конкретном пункте выращивания

Для селекции:

1. Поиск доноров с определённо заданными характеристиками как по фенотипу, так и по генотипу. Нужна оценка КС в идеале по всем признакам.

2. Поиск аналогов в заданных пределах по всем или ведущим признакам, или по их сочетанию.

3. Сравнение вновь выведенных или приобретенных генотипов с уже имеющейся коллекцией (с указанием их преимуществ или недостатков).

Использование единой компьютерно-аналитической системы, включающей в себя управление базами данных, формализацию причинно-следственных связей в системе генотип × среда при предварительной оценке экологии, технологии выращивания и метеоусловий по фазам развития растений вооружает исследователя или производителя сельхозпродукции возможностью *прогноза урожая и качества плодов* и управления продуктивностью сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Драгавцева И.А., Лопатина Л.М., Гронина Ю.В. Разработка новой методологии оптимального размещения плодовых культур и их сортов.// Пути интенсификации и

- кооперации в селекции садовых культур и винограда. Материалы Координационного совещания селекционеров-садоводов и виноградарей, Краснодар, 2002.-С.97-101.
2. Егоров Е.А. Организационно-экономический механизм инновационного процесса./ Организационно-экономический механизм инновационного процесса и приоритетные проблемы научного обеспечения развития отрасли. Краснодар, 2003.-С.3-12.
 3. Драгавцев В.А. Алгоритмы эколого-генетической инвентаризации генофонда и методы конструирования сортов сельскохозяйственных растений по урожайности, устойчивости и качеству. Методические рекомендации (новые подходы). Санкт-Петербург, ВНИИР,1993,-69с.
 4. Драгавцева И.А., Лопатина Л.М, Луценко Е.В., Луценко Н.Е. Применение системного анализа для прогнозирования успешности выращивания сельскохозяйственных культур (на примере плодовых).//В сб. «Формы и методы повышения эффективности координации исследований для ускорения процесса передачи реальному сектору экономики завершенных разработок».-Краснодар. СКЗНИИСиВ, 2009.-С.62-67
 5. Лопатина Л.М., Кудряшов И.Н. Роль теории планирования в многофакторных полевых экспериментах.//научные труды Краснодарского НИИСХ им. П.П.Лукьяненко,1996.-С.156-161.
 6. Лопатина Л.М., Кравцов А.М. Методы математического обеспечения мониторинговых исследований.//Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края. Краснодар,1997.-С.14-20.
 7. Драгавцева И.А., Лопатина Л.М, Луценко Е.В. Применение автоматизированного системного анализа для прогноза продуктивности плодовых культур на юге России. //Научное обеспечение современных технологий производства, хранения и переработки плодов и ягод в России и странах СНГ/ВСТИСП.-М., 2002.-С.17-20.
 8. Пат. № 2003610433 РФ. Автоматизированная система мониторинга, анализа и прогнозирования развития сельхозкультур «ПРОГНОЗ-АГРО». / И.А.Драгавцева (Россия), Е.В. Луценко (Россия), Л.М.Лопатина (Россия); Заяв,№2002611927 РФ. Оpubл. От 18.02.03.-50с.
 9. Пат. № 2003620035 РФ. База данных автоматизированной системы мониторинга, анализа и прогнозирования развития сельхозкультур «ПРОГНОЗ-АГРО». / И.А.Драгавцева (Россия), Е.В. Луценко (Россия), Л.М.Лопатина (Россия); Заяв,№2002620178 РФ. Оpubл. От 20.02.03.-50с.
 10. Lutsenko E.V. Conceptual principles of the sistem (emergent) information theory & its application for the cognitive modelling of the active objects (entities) //2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence System (ICAIS 2002).-Computer society, IEEE, Los Alamos, California, Washington-Brussels-Tokyo, p.268-269.
 11. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание).-Краснодар: КубГАУ. 2002.-605с.
 12. Пат.№ 2003610986 РФ. Универсальная когнитивная аналитическая система «ЭЙДОС» /Е.В.Луценко (Россия); Заяв.№2003610510 РФ. Оpubл. от 22.04.2003.-50с.