

О.В. Прокофьев, И.Ю. Сёмочкина

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Россия, г. Пенза, Пензенский государственный технологический университет

The article focuses on decision support systems for the transfer of agricultural technologies. Particular attention is paid to the DSSAT software product, with the help of which it is possible to build adequate models for crop production and predict the yield with a high confidence level. The authors have shown that decisions based on a modern international information base and mathematical modules as part of the system can significantly reduce production losses. The main advantages and problems of implementing decision support systems in precision farming are presented.

Система поддержки принятия решений для передачи агротехнологии (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT*) - это пакет компьютерных программ для моделирования роста и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур [1]. Он был использован в более чем 100 странах агрономов для оценки методов ведения сельского хозяйства. Основанный на международной информационной базе по почвенным, климатическим, биосферным ресурсам и наборе инструментов прогнозирования, он позволяет достаточно надёжно предсказывать результаты переноса технологии растениеводства в новые условия. DSSAT построен на основе модульного подхода для представления таких процессов, как циркуляция воды и накопление органического вещества почвы, что облегчает тестирование процессов, важных для роста сельскохозяйственных культур. Функциональность DSSAT расширена за счет интерфейсов с другим программным обеспечением, таким как геоинформационные системы. Прогнозирование в DSSAT обычно требует входных параметров, связанных с состоянием почвы, погодой, методами использования удобрений и орошения, а также определения выращиваемых культур. Характеристики многих распространенных культур уже реализованы в виде модулей. На рисунке 1 представлен пример меню с инструментами для работы с собранными экспериментальными данными.

Система поддержки принятия решений для передачи агротехнологии (DSSAT) - включает имитационные модели для более чем 42 культур, а также инструменты, облегчающие эффективное использование моделей. Инструменты включают программы управления базами данных для почвы, погоды, урожая и экспериментальных данных, служебные программы и прикладные программы. Имитационные модели сельскохозяйственных культур имитируют рост, развитие и урожай как характеристику динамической системы "почва-растение-атмосфера"

DSSAT и его имитационные модели сельскохозяйственных культур используются для широкого круга прикладных задач, решаемых в различных пространственных и временных масштабах. Это включает внутривоспроизводственное управление, региональные оценки воздействия изменчивости климата и изменения климата, генное моделирование и селекционный отбор, водопользование, выбросы парниковых газов и долгосрочную устойчивость за счет баланса органического углерода и азота в почве. DSSAT используется более чем 16 500 исследователями, преподавателями, консультантами, агентами по распространению знаний, производителями, а также политиками и лицами, принимающими решения, в более чем 174 странах мира.

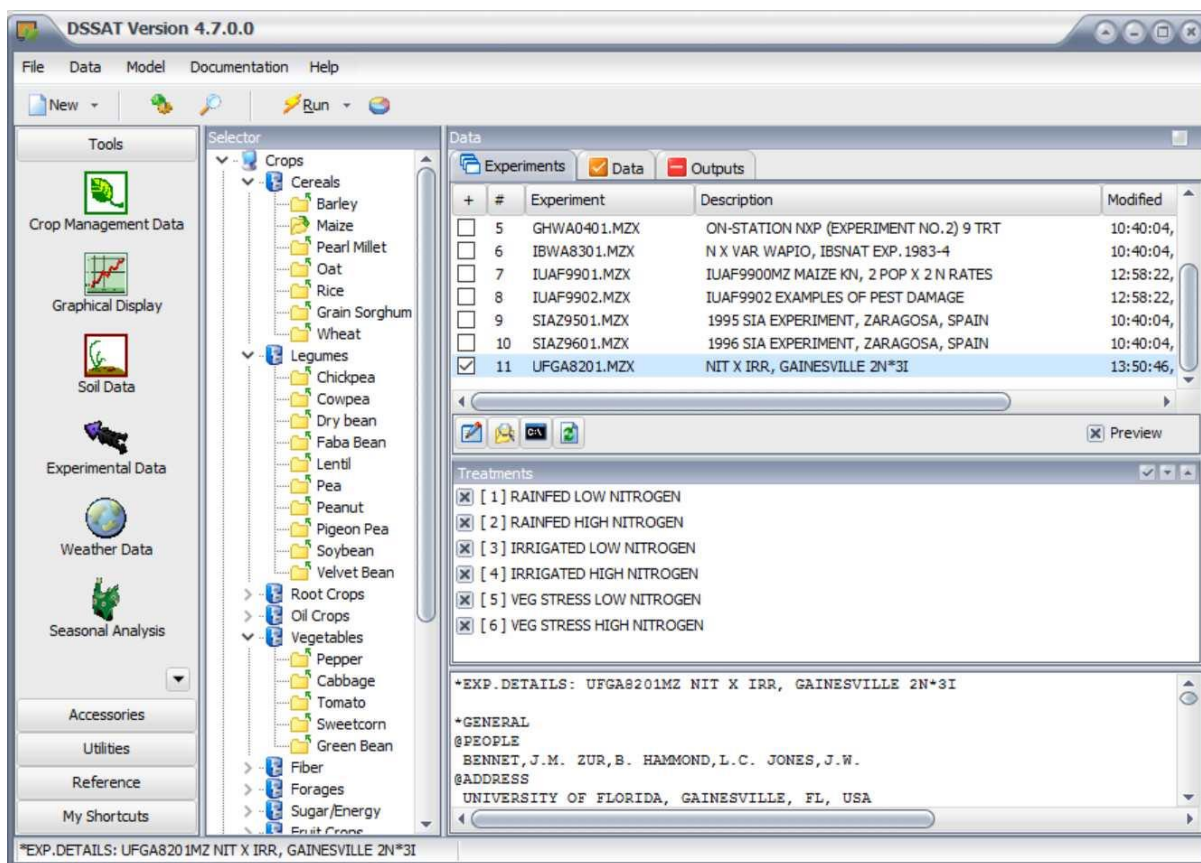


Рис.1. Меню выбора экспериментальных данных

В качестве входных данных для моделей культур требуются ежедневные погодные данные, информация о поверхности и профиле почвы, а также подробное управление посевами. Генетическая информация сельскохозяйственных культур определяется в файле видов сельскохозяйственных культур, который предоставляется DSSAT, а информация о сортах или разновидностях должна предоставляться пользователем. Моделирование запускается либо при посеве, либо перед посадкой путем моделирования периода чистого пара. Эти симуляции проводятся с ежедневным шагом или, в некоторых случаях, с почасовым временным шагом, в зависимости от процесса и модели культуры. В конце каждого дня обновляются водные, азотные, фосфорные и углеродные балансы растений и почвы, а также стадии вегетативного и репродуктивного развития урожая.

Что касается приложений, то DSSAT объединяет базы данных урожая, почвы и погоды с моделями сельскохозяйственных культур и прикладными программами для моделирования многолетних результатов стратегий управления посевами. DSSAT объединяет влияние почвы, фенотипа сельскохозяйственных культур, погоды и вариантов управления и позволяет пользователям задавать вопросы «а что, если», проводя виртуальные имитационные эксперименты на настольном компьютере за считанные минуты, что потребовало бы значительной части карьеры агронома, если бы проводилось как реальные эксперименты. Структурная схема [2], отображающая взаимодействие модулей в процессе моделирования, представлена на рисунке 2.

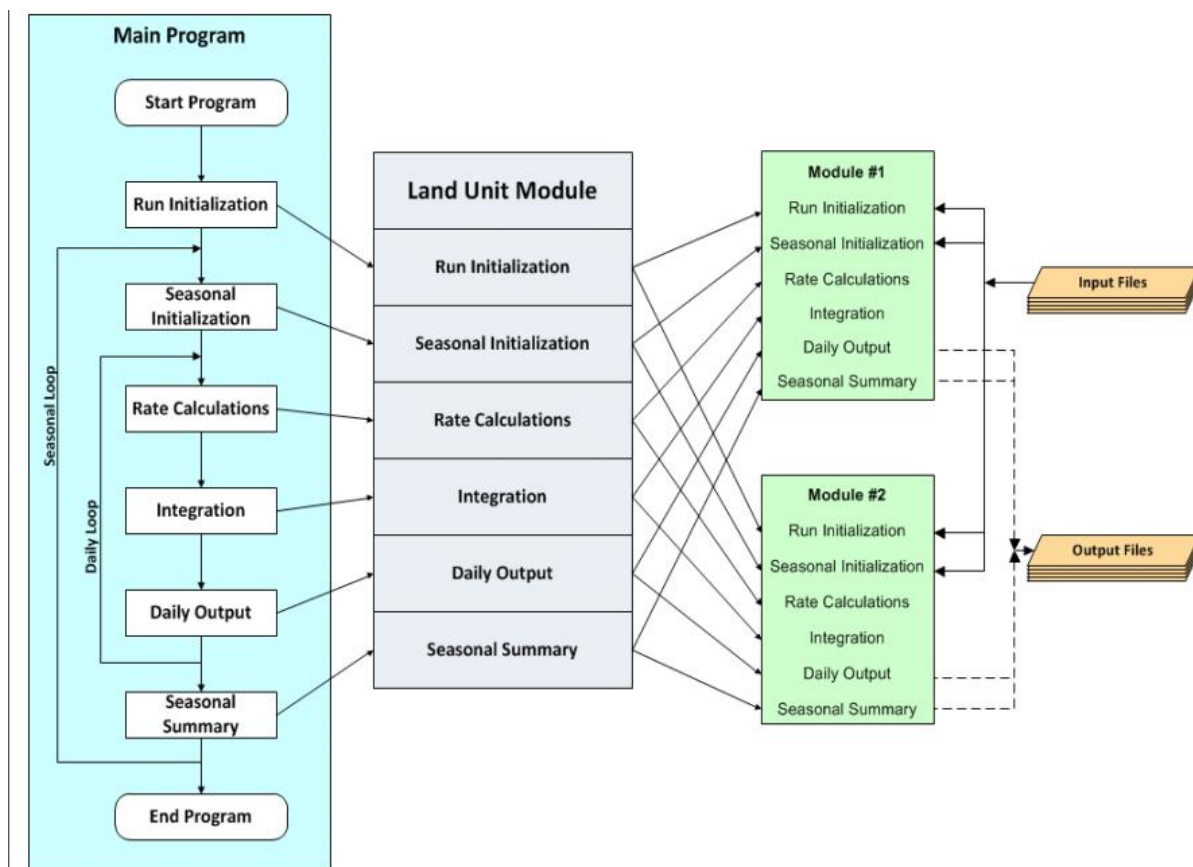


Рис.2 Модульная структура DSSAT

DSSAT также обеспечивает оценку выходных данных модели культур с экспериментальными данными, что позволяет пользователям сравнивать смоделированные результаты с наблюдаемыми. Это очень важно перед любым применением модели культуры, особенно если реальные решения или рекомендации основаны на результатах моделирования. Оценка модели урожая осуществляется путем ввода минимального количества данных пользователя, запуска модели и сравнения результатов с наблюдаемыми данными. Моделируя вероятные результаты стратегий управления урожаем, DSSAT предлагает пользователям информацию, с помощью которой можно быстро оценить новые культуры, продукты и методы для их реализации.

DSSAT также включает прикладные программы для сезонного, пространственного, последовательного анализа севооборотов, которые оценивают экономические риски и воздействие на окружающую среду, связанные с орошением, удобрениями и питательными веществами, изменчивостью климата, изменением климата, секвестрацией углерода в почве и точным управлением.

Данный подход позволяет получить прогнозы урожая с достаточно малым доверительным интервалом. На рисунке 3 изображён пример результатов прогнозирования урожайности сои, полученный с реализацией модели урожая на базе системы дифференциальных уравнений.

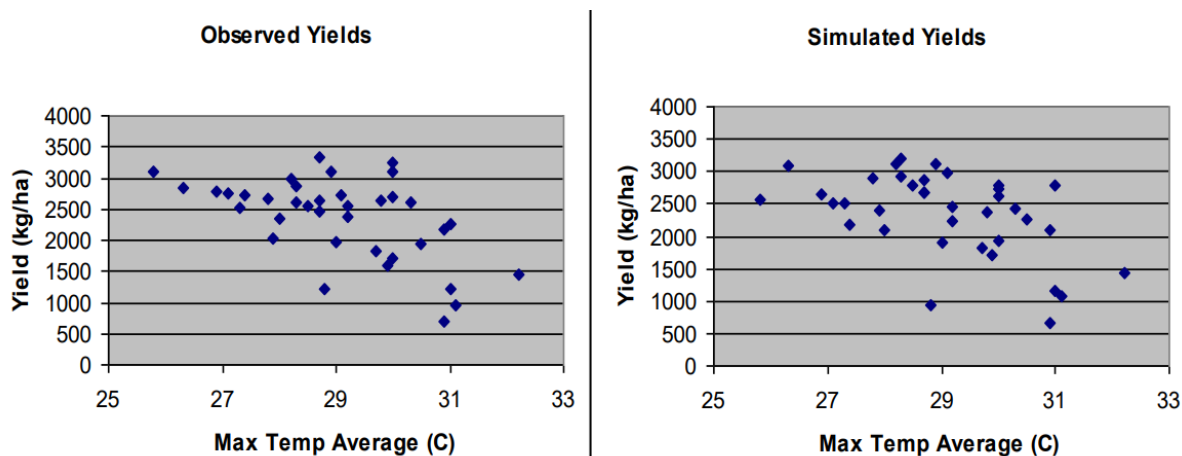


Рис.3. Связь между среднесезонной максимальной температурой и урожайностью сои [2]: слева фактические наблюдения, справа моделируемые данные

Анализ рисков является одним из основных приложений DSSAT и позволяет пользователям оценивать альтернативные методы управления для отдельных вегетационных сезонов, которые учитывают как погоду, так и экономическую неопределенность. Модели сельскохозяйственных культур были разработаны для взаимодействия генотипа культуры, окружающей среды и способа управления растениеводством. Используя опцию сезонного анализа DSSAT, пользователь может сравнивать взаимодействие генотипа культуры и выращивания в разных условиях, особенно с использованием долгосрочных исторических данных о погоде. При стандартном подходе к анализу рисков пользователь определяет как минимум два или более сценария управления. Обычно для входных данных о погоде выбираются исторические данные о погоде за 30 лет, аналогичные климатическим нормам, основанным на 30-летних исторических данных о погоде. Если долгосрочные исторические данные о погоде недоступны, можно использовать погодный генератор. Моделирование проводится для каждой уникальной комбинации управления урожаем и погодных условий. Это обеспечивает смоделированное распределение урожайности, компонентов урожайности и других смоделированных переменных. Экономическая неопределенность может быть определена с помощью файлов цен.

Поскольку цифровые технологии, используемые в DSSAT, ещё находятся в стадии развития, внедрение связано с неизбежными "болезнями роста". Несмотря на использование баз данных Организации по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*) и собственной статистической базы, часто встречается неполнота данных, недостаточная однородность и низкая устойчивость данных. Своевременное обновление данных также может быть проблематичным. В случае развития новых сортов культур может оказаться недоступной надёжная оценка адекватности модели прогнозирования.

Помимо эволюционного развития информационной базы, разработчики предполагают переход к открытому коду DSSAT, совершенствование документации и обучения. Новые перспективы открываются при использовании преимуществ систем поддержки принятия решений 2-го поколения [3], в том числе при применении расширенного набора математических инструментов интеллектуального анализа данных и *Data Mining* [4-8].

1. Hoogenboom, G., C.H. Porter, K.J. Boote, V. Shelia, P.W. Wilkens, U. Singh, J.W. White, S. Asseng, J.I. Lizaso, L.P. Moreno, W. Pavan, R. Ogoshi, L.A. Hunt, G.Y. Tsuji, and J.W. Jones. 2019. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: p.173-216 [K.J. Boote, editor]

Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom (<http://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>)

2. DSSAT Overview. <https://dssat.net/>
3. G.E. Phillips-Wren, S. Carlsson, A. Respício. DSS 2.0 - Supporting Decision Making With New Technologies. IOS Press, 2014, p. 604
4. Методы анализа данных и их реализация в системах поддержки принятия решений. Аспекты инжиниринга информационно-измерительных систем: учебное пособие / М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев, И.Ю. Семочкина. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2018. — 148 с.
5. Методы и средства поддержки принятия решений в социально-экономических задачах / О.В. Прокофьев, И.Ю. Семочкина. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2010. — 100 с.
6. Компьютерная поддержка принятия решений для управления социально-экономическими системами / И.А. Долгова, О.В. Прокофьев. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012. — 116 с.
7. Методы анализа данных и их реализация в системах поддержки принятия решений: учебное пособие / М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев, И.Ю. Семочкина. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2014. — 118 с.
8. Концепция и способы построения систем поддержки принятия решений на основе интеллектуального анализа данных // Системы интеллектуального анализа данных: методология, реализация, приложения / О.В. Прокофьев. — Пенза: АННОО ПДЗ (Пенза), 2013. — Гл.1.2. — С.22-40.