


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ



**МАТЕРИАЛЫ**  
**научной сессии по итогам 2013 года**  
**Агрофизического института**

Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 г.

Санкт-Петербург  
2014

**УДК 631.53**

**Материалы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института.** Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 г. – СПб.: АФИ, 2014. – 172 с.

*Печатается по решению Учёного совета  
Агрофизического НИИ  
(протокол № 2, от 27 февраля 2014 г.)*

Материалы даны в авторской редакции.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОДЕЛЬНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ НА МЕНЬКОВСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ**

*С. А. Медведев, А. Г. Топаж, А. В. Белов, Н. А. Глядченкова, П. В. Лекомцев  
Агрофизический научно-исследовательский институт*

В последние годы существенно возрастает роль динамических имитационных моделей как инструмента исследования и прогноза во всех без исключения областях науки и отраслях народного хозяйства. Так, динамическая модель агроэкосистемы, представляя собой алгоритм, позволяющий по исходным данным о внешних факторах (погода и агротехника) рассчитать динамику сельскохозяйственного посева в течение всего сезона вегетации – от сева до уборки, может выступать полноценной заменой полевого опыта. Но традиционная критика моделей со стороны специалистов аграрного сектора состоит в том, что модель чаще всего работает в режиме «посмертного учета» и готова ответить на вопросы лишь «задним числом». В то время как в ходе вегетационного опыта или выращивания производственного посева необходимо принимать решения «здесь и сейчас». Ниже кратко описывается методика возможного решения этой задачи и представлены результаты оперативного сопровождения реальных полевых опытов на Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ.

В качестве базового инструмента, используемого для решения поставленной проблемы, в Агрофизическом НИИ создан распределенный измерительно-моделирующий комплекс, состоящий из следующих основных компонентов:

1. Модель продукционного процесса AGROTOOL (Полуэктов, 1991; Полуэктов и др., 2006).
2. Система поливариантного расчёта АРЕХ (Полуэктов и др., 2011, Medvedev, Topaj, 2011).
3. АМС – Автоматическая метеостанция (Тулин и др., 2013).
4. Стохастический генератор суточных погодных метеоданных (Richardson, Wright, 1984).
5. Стационарная база данных полевого опыта и информационной поддержки моделирования (Бакаленко, Топаж, 2010).

Взаимодействие описанных компонентов в режиме оперативного сопровождения полевого опыта производится согласно следующему алгоритму. Автоматическая метеостанция устанавливается на сельскохозяйственном поле, для которого требуется осуществлять поддержку принятия решений с использованием модели продукционного процесса. В системе АРЕХ реализован специальный модуль, который обращается к Web-сервису за срочными данными, поступающими от АМС. Полученные срочные (почасовые) данные преобразуются в суточные погодные метеоданные и экспортируются в стационарную базу данных. После этого запускается генератор погоды и формируется представительная выборка сценариев развития метеоусловий на оставшийся период вегетационного периода. При этом каждый такой сценарий представляет собой

фактическую погоду до текущей даты прогноза, статистически «сшитую» с синтетической реализацией будущей погоды, сгенерированной по методу Монте-Карло. Полученный «веер» возможных погодных сценариев за весь вегетационный период сериализуется в базе данных системы АРЕХ и последовательно передаётся на вход модели в режиме поливариантного расчета.

Описанная технология позволяет реализовать динамически уточняющийся прогноз конечной продуктивности и анализ сравнительной эффективности проводимых текущих агротехнических мероприятий. Общий принцип осуществления последовательного оперативного сопровождения натурального полевого эксперимента модельными расчетами демонстрируется на рисунке 1.

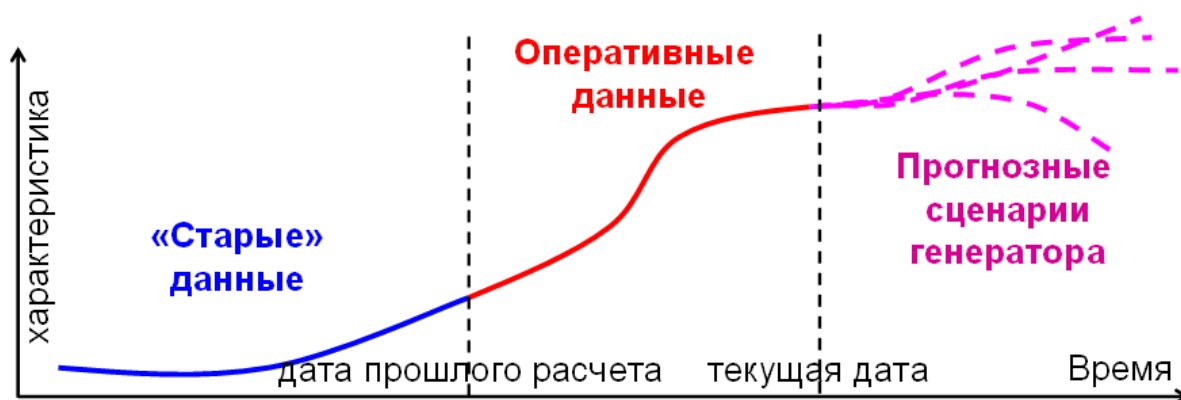


Рис. 1. Принцип организации модельных расчетов при оперативном сопровождении полевого опыта и/или производственного посева

В рамках предложенного измерительно-аналитического компьютерного комплекса прослеживается четкий принцип разделения ответственности между составляющими его компонентами. Действительно:

1. Модель отвечает за расчёт интересующих характеристик продуктивности на основе входных данных.
2. Стационарная база данных отвечает за хранение сведений о реальной погоде, из которых можно, в частности, получить информацию о том, когда в последний раз обновлялись данные о погоде (левый участок кривой на рис. 1).
3. АМС отвечает за поставку в полном объеме оперативной и достоверной информации о метеорологических условиях с выбранной реперной точки за период, прошедший с предыдущего шага оперативного сопровождения (центральной участок кривой на рис. 1).
4. Стохастический генератор погоды отвечает за генерирование прогнозных сценариев погоды, которая ещё неизвестна на текущий момент, «сшитых» с реальной погодой (правые участки кривых на рис. 1).
5. Система АРЕХ отвечает за автоматизированное обновление всех данных, автоматический запуск модели со всеми сценариями погоды и статистическую обработку результатов расчётов.

В качестве примера, демонстрирующего возможности и работоспособность предлагаемой методики, приведем результаты оперативного сопровождения полевых экспериментов, проводимых в сезонах вегетации 2012, 2013 годов на тестовых площадках Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ под руководством П. В. Лекомцева. Предметом исследования выступали адаптивные реакции растений яровой пшеницы (сорт «Эстер» в 2012 году и высокоинтенсивный сорт «Дарья» в 2013 году) на дозы предпосевного внесения азотных удобрений (от 0 до 180 килограммов действующего вещества на гектар с шагом 30 кг д.в./га). Расчеты по модели в режиме оперативного сопровождения в течение двух сезонов проводились в рамках специально созданных проектов двухфакторного компьютерного эксперимента, содержащих по 700 сценариев каждый (7 градаций фактора «технология», соответствующих семи вариантам опыта и 100 градаций фактора «погода», соответствующих прогнозным стохастическим сценариям генератора). Процедура полного пересчета проектов с учетом поступивших данных о фактической погоде проводилась с периодичностью в две календарных недели. По результатам статистического анализа результатов компьютерного эксперимента осуществлялся прогноз наступления следующей фазы фенологического развития в терминах среднего значения и доверительного интервала времени. Наряду с этим в каждый срок прогноза оценивалась возможная величина конечного урожая и сроки полного созревания. Динамика изменения прогнозных характеристик по ходу течения вегетационного сезона демонстрируется графиками на рис. 2. На них можно наглядно наблюдать как сужение «веера» возможных результатов по мере все более полной замены искусственных данных реальными (Полуэктов, Топаж, 2005), так и колебания средней величины конечной продуктивности.

Описанная схема оперативного сопровождения может служить первым шагом к реализации полномасштабного перехода к «on-line» технологии проведения полевого опыта, сопровождаемого постоянными расчетами соответствующей модели в оперативном режиме. При этом предполагается постоянное двустороннее взаимодействие модели и эксперимента. С одной стороны, новые опытные данные тут же используются для подстройки модели, с другой – оперативные модельные предсказания будущего поведения агроэкосистемы с учетом текущего ее состояния позволяют, в свою очередь, вносить оперативные корректировки в схему или расписание полевого опыта. Если же говорить об информационном сопровождении производственных посевов, то описанная методика открывает новые горизонты для принципиально новой парадигмы управления – перехода от декларативных и реактивных алгоритмов определения сроков и норм агротехнических воздействий к проактивному управлению, осуществляемому на основе оперативно уточняющегося прогноза.

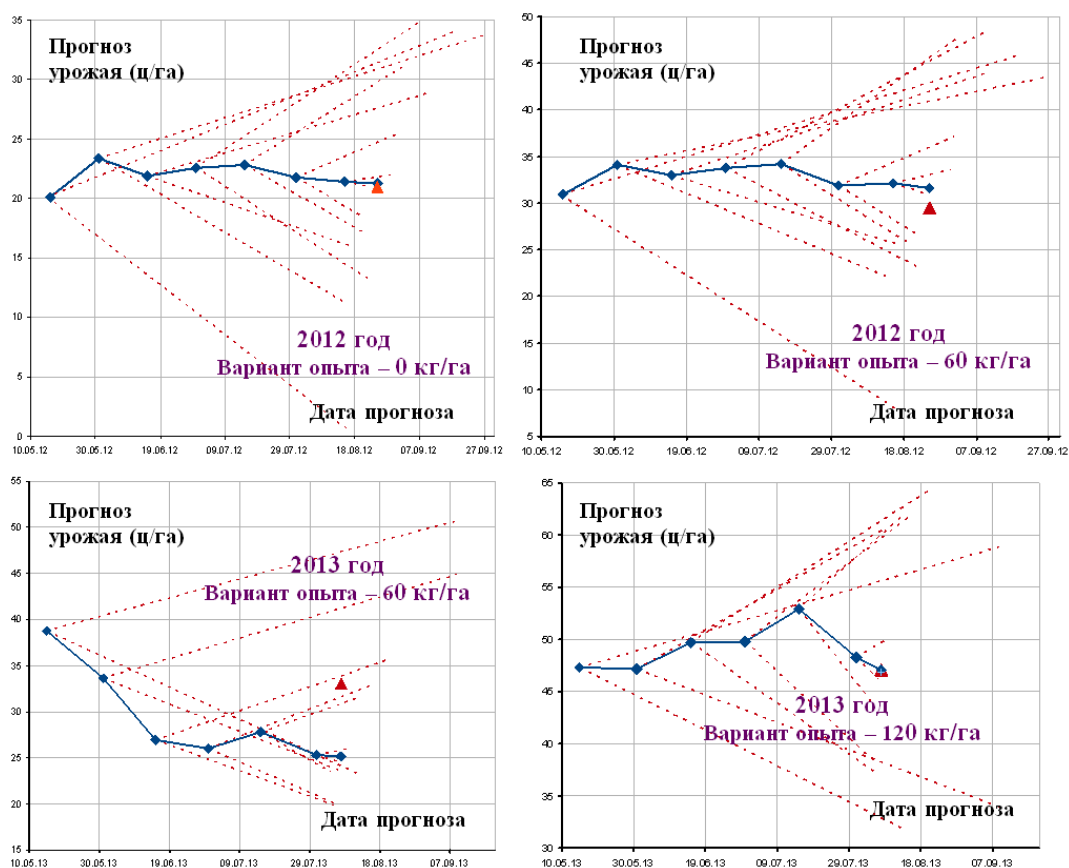


Рис. 2. Динамический прогноз продуктивности и сроков созревания яровой пшеницы в полевых опытах 2012–2013 годов на Меньковской ОС (сплошная линия – средние величины, пунктир – маргинальные значения, ▲ – фактический урожай)

### Список литературы

1. Бакаленко Б. И., Топаж А. Г. База данных полей и посевов СИАМ V. 2: распределенная архитектура и WEB-интерфейс удаленного доступа // Материалы коорд. совещания АФИ. СПб.: АФИ, 2010. С. 29–31.
2. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 312 с.
3. Полуэктов Р. А., Смоляр Э. И., Терлеев В. В., Топаж А. Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. 390 с.
4. Полуэктов Р. А., Топаж А. Г., Кобылянский С. Г., Полуэктов М. А. Автоматизация компьютерного эксперимента с математическими моделями // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 61–63.
5. Полуэктов Р. А., Топаж А. Г. Использование моделей продукционного процесса сельскохозяйственных культур при агрометеорологическом прогнозировании. В сб.: «Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии». СПб: Наука, 2005. С. 207–217.
6. Тулин Е. В., Власов Ю. С., Топаж А. Г., Опарина И. В. Модифицированный вариант агрометеостанции с удаленным беспроводным управлением и передачей данных // Материалы научной сессии по итогам 2012 года Агрофизического института. СПб.: АФИ, 2013. С. 65–67.
7. Medvedev S., Topaj A. Crop simulation model registrator and polyvariant analysis. IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2011. Т. 359 AICT. С. 295–301.
8. Richardson C. W., Wright D. A. WGEN: A model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1984, ARS-8. USDA, Washington, DC