

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «АРЕХ-AGROTOOL» В ЗАДАЧАХ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. А. Медведев, Е. Т. Захарова

Агрофизический НИИ Россельхозакадемии, Санкт-Петербург

В классических работах, посвященных программированию урожаев, задолго до появления схожих определений в современной концепции точного земледелия была предложена трехуровневая классификация временных уровней принятия решений в сельском хозяйстве [1]. В рамках данной классификации интересно рассмотреть текущее состояние и перспективы использования динамических моделей продукционного процесса для решения задач соответствующего временного масштаба и разрешения. При этом оказывается, что большинство современных приложений динамических имитационных моделей относится к оперативному уровню принятия решений с временным горизонтом планирования, равным одному, максимум двум (для озимых культур) периодам вегетации. Действительно, модели сравнительно регулярно используются в задачах оперативного сопровождения полевого опыта или производственного посева для построения динамически-уточняющихся прогнозов продуктивности и фенологического развития [2] или для анализа и оптимизации текущих агротехнических мероприятий [3]. Вместе с тем многочисленные задачи среднесрочного планирования сельскохозяйственного производства (мелиоративные и иные мероприятия пролонгированного действия, землеустройство, выбор схемы севооборота и т.д.) в основном остаются вне сферы интересов разработчиков динамических моделей. Для данных целей традиционно используются упрощенные экономико-статистические модели. Однако очевидно, что при таком подходе влияние большинства будущих климатических, физических, технологических и других процессов производства игнорируется и многие среднесрочные и долгосрочные решения в хозяйствах принимаются в условиях критической неопределенности входных данных.

Динамические имитационные модели могут в идеале выступать мощным альтернативным инструментом анализа и прогноза, позволяющим адекватно ответить на поставленные вызовы. Многочисленные преимущества динамического подхода по сравнению со статическими моделями хорошо известны:

- повышение точности и адекватности принятия решений благодаря учету большего количества факторов;
- многовариантность расчетов, обуславливаемая широким набором возможностей по варьированию входных данных;
- получение результатов в виде распределений показателей на вероятностных выборках внешних условий с выходом на анализ рисков;
- неограниченное расширение числа отслеживаемых в модели показателей состояния агроэкосистемы (продуктивность, экология, плодородие и пр.);
- снижение степени неопределенности модельных расчетов и т.д.

Но динамическая имитационная модель требует гораздо более объемного и детального информационного обеспечения и вычислительных ресурсов, нежели ее статический аналог. Данные соображения до недавнего времени во многом сдерживали применение динамических моделей в рассматриваемых сферах. Однако достигнутый уровень развития компьютерной техники, с одной стороны, и сетевых сервисов информационного обеспечения – с другой, во многом снимают ограничения техниче-

ского характера. На первый план выступают принципиальные предметно-ориентированные требования к алгоритмической «начинке» самих моделей и средам или оболочкам их исполнения. Ниже приводится краткий перечень данных требований, вытекающий из специфики задач среднесрочного и долгосрочного планирования в сельскохозяйственном землепользовании.

Дополнительные требования к самим динамическим моделям производственного процесса диктуются двумя обстоятельствами: необходимостью полноценного описания смены культур в многолетнем хозяйственном севообороте и адекватного учета разнообразных агрометеорологических мероприятий пролонгированного срока действия. В частности, из первого соображения следует желательность **универсального характера** модели. Иными словами, в идеале необходимо использовать единую модель имитации динамики производственного процесса для широкого спектра сельскохозяйственных культур различных типов (однолетних и многолетних, зерновых и трав, яровых и озимых). Кроме того, модель, используемая для расчета севооборотов в многолетнем цикле, должна в полной мере поддерживать **учет культуры-предшественника** во всех значимых аспектах последствия (распад пожнивных остатков, изменение физических и агрохимических свойств почвы, симбиотическая фиксация азота бобовыми растениями и т.д.). Циклический расчет в режиме прогноза на несколько лет вперед предполагает, что в модели должны быть обязательно описаны **механизмы «перезимовки»**, то есть динамика абиотических процессов в экосистеме вне периода активной вегетации растений - промерзание и прогрев почвы, нарастание и стаивание снежного покрова, другие аспекты. Кроме того, модель должна поддерживать не только декларативные (с явным указанием сроков и доз в каждой единице ротации), но и **реактивные режимы управления агротехническими мероприятиями** (автоматический полив, назначение даты сева и т.д.), повышая тем самым устойчивость к отсутствию фактической информации об агротехнике.

Еще более жесткие требования, нежели к самим моделям, в случае предлагаемого расширения сферы применения должны быть предъявлены к компьютерным оболочкам, или средам исполнения моделей. Наиболее принципиальными являются:

- Обеспечение поливариантного расчета модели, то есть последовательный запуск модели на счет для большого количества альтернативных вариантов с подготовленными заранее наборами входных данных в автоматическом режиме. Следует отметить, что в отличие от «обычной» процедуры поливариантного анализа, расчет с учетом севооборота предполагает планирование неполного факторного эксперимента и исполнение отдельных сценариев в ходе его проведения в строго определенном порядке (в общем случае должна быть жестко специфицирована конкретная последовательно-параллельная схема выполнения)

- Полноценный ГИС-интерфейс в виде электронной карты полей исследуемого хозяйства с пространственной привязкой данных о почвенных разностях и визуализацией результатов моделирования в виде тематических карт оцениваемых экономических или экологических показателей.

- Поддержка процедур автоматического формирования «синтетических» входных данных модели для осуществления прогнозных расчетов (встроенный генератор суточных погодных метеоданных).

- Максимально тесная интеграция со встроенным или внешним модулем экономических расчетов для интерпретации полученных характеристик продуктивности и затраченных ресурсов в терминах показателей возможной прибыли и статей затрат (выход на экономику). Необходимо отметить, что речь идет именно об интеграции с

независимой экономической моделью на уровне постпроцессора, так как, по мнению авторов, алгоритм динамического моделирования производственного процесса не должен учитывать экономические или финансовые аспекты хозяйствования.

В качестве возможного перспективного задела для создания отечественной системы соответствующего уровня рассматривается интегрированная среда информационного обеспечения, планирования и проведения многофакторных компьютерных экспериментов, разработанная специалистами Агрофизического НИИ и включающая в себя динамическую модель производственного процесса третьего уровня продуктивности AGROTOOL [4] и специализированную оболочку поливариантного анализа моделей агроэкосистем APEX [5]. Приводимая ниже сводная таблица дает представление о степени соответствия имеющейся или разрабатываемой на настоящей момент функциональности соответствующих решений заявленным требованиям к системе поддержки решений в задачах средне- и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства.

Таблица 1. Соответствие требований задач стратегического планирования и возможностей интегрированной среды «APEX+AGROTOOL».

Требования	Степень реализации
К модели:	AGROTOOL:
Универсальный характер	Единый алгоритм для всех поддерживаемых культур. Настроенные модели для зерновых (пшеница, рожь, ячмень, овес), кукурузы, картофеля, корнеплодов, однолетних и двухлетних кормовых трав, рапса, бобовых.
«Перезимовка»	Реализован сквозной расчет. Усовершенствованное описание процесса снеготаяния. Блок описания теплового режима почвы.
Учет предшественника	Раздельный учет подстилки и корневых остатков в блоке углеродно-азотного взаимодействия в почве. <i>Подмодель симбиотической азотфиксации и трансформации клубенькового азота находится в процессе реализации.</i>
Описание технологий с обратной связью	Автоматическое определение сроков сева и уборки. Автоматическое управление поливами.
Учет обработок почвы и мелиоративных мероприятий	<i>На этапе постановки.</i>
К инфраструктуре:	APEX:
Множественные расчеты	Апробирована технология и реализована среда поливариантного анализа и автоматизации компьютерного эксперимента.
Севооборот	<i>Механизмы планирования неполного факторного эксперимента и поддержки параллельно-последовательных схем расчета находятся в процессе реализации.</i>
ГИС-интерфейс	Реализованы механизмы интеграции APEX с внешними ГИС-системами [6].
Прогнозы	Встроенный генератор погоды с возможностью учета климатических изменений.
Экономические расчеты	<i>Постановка задачи по интеграции с внешней экономической моделью FECG (Farm Economy Coefficient Generator).</i>

Литература

1. Бондаренко Н. Ф., Жуковский Е. Е., Мушкин И. Г., Полуэктов Р. А. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1982.
2. Топаж А. Г., Опарина И. В., Глядченкова Н. А., Власов Ю. С., Тулин Е. В. Информационное обеспечение задач прогнозирования темпов развития растений и урожая в режи-

ме удаленного доступа // Материалы научной сессии по итогам 2012 года Агрофизического института. СПб.: АФИ, 2013. С. 154–160.

3. Медведев С. А., Полуэктов Р. А., Топаж А. Г. Оптимизация стратегии орошения с использованием методов поливариантного анализа динамики агроэкосистем // Мелиорация и водное хозяйство. 2012. № 2. С. 10–13.

4. Полуэктов Р. А., Топаж А. Г., Терлеев В. В., Бакаленко Б. И., Полуэктов М. А., Кобылянский С. Г. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011611819 AGROTOOL, v. 4 – программа для поливариантного расчёта динамики продукционного процесса сельскохозяйственных растений // Реестр программ для ЭВМ. – 28.02.2011.

5. Медведев С. А., Топаж А. Г. АРЕХ – программа для автоматизации многофакторных вычислительных экспериментов с динамическими моделями агроэкосистем. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612173 от 20.02.2014 г.

6. Баденко В. Л., Баденко Г. В., Терлеев В. В., Латышев Н. К. ГИС-технологии в информационном обеспечении системы имитационного моделирования AGROTOOL // Агрофизика. 2011. № 3. С. 1–5.

YIELD FORECASTING AND MACHINE LEARNING METHODS*

A. V. Abramova
Altai State University

Many machine-learning methods are closely related with gaining information from empirical data. Experimental data is a set of situations and potential output which depend on each other in a certain way. Data set is a n -dimensional vector of agrometeorological characteristics corresponding with discrete instants of time t . They include daily agro-meteorological data (temperature, humidity, precipitation, etc.) grouped in a certain way for each moment t . Moment of time T represents the year, it corresponds to the response – the value of crop yields in this year. These pairs «situation – response» represent the training dataset. The task is to build a model based on the training set capable of calculating a close response for the test data, and measuring forecast accuracy and quality of the resulting model.

Main stages of the phased yield prediction algorithm are shown in Figure 1.

The initial stage is collecting and computation of agrometeorological factors. The use of primary experimental data containing typos, outliers and emissions may lead to false results. In this regard it is necessary to check experimental data, to do preliminary statistical analysis and to evaluate agrometeorological data before using it. These activities will solve the problem of original information heterogeneity.

The step of determining analogue years includes clustering and choosing an optimal number of clusters. Analogue year is a year closest to the test year according to agrometeorological factors. A number of objective indicators was developed to evaluate the fields similarity. They allow to establish the degree of similarity between compared fields or processes using computer algorithms. The measure of similarity is the Euclidean distance between the original and all other prediction vectors using the corresponding eigenvalues as weights to the coefficients of the expansion.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Благотворительного Фонда В. Потанина

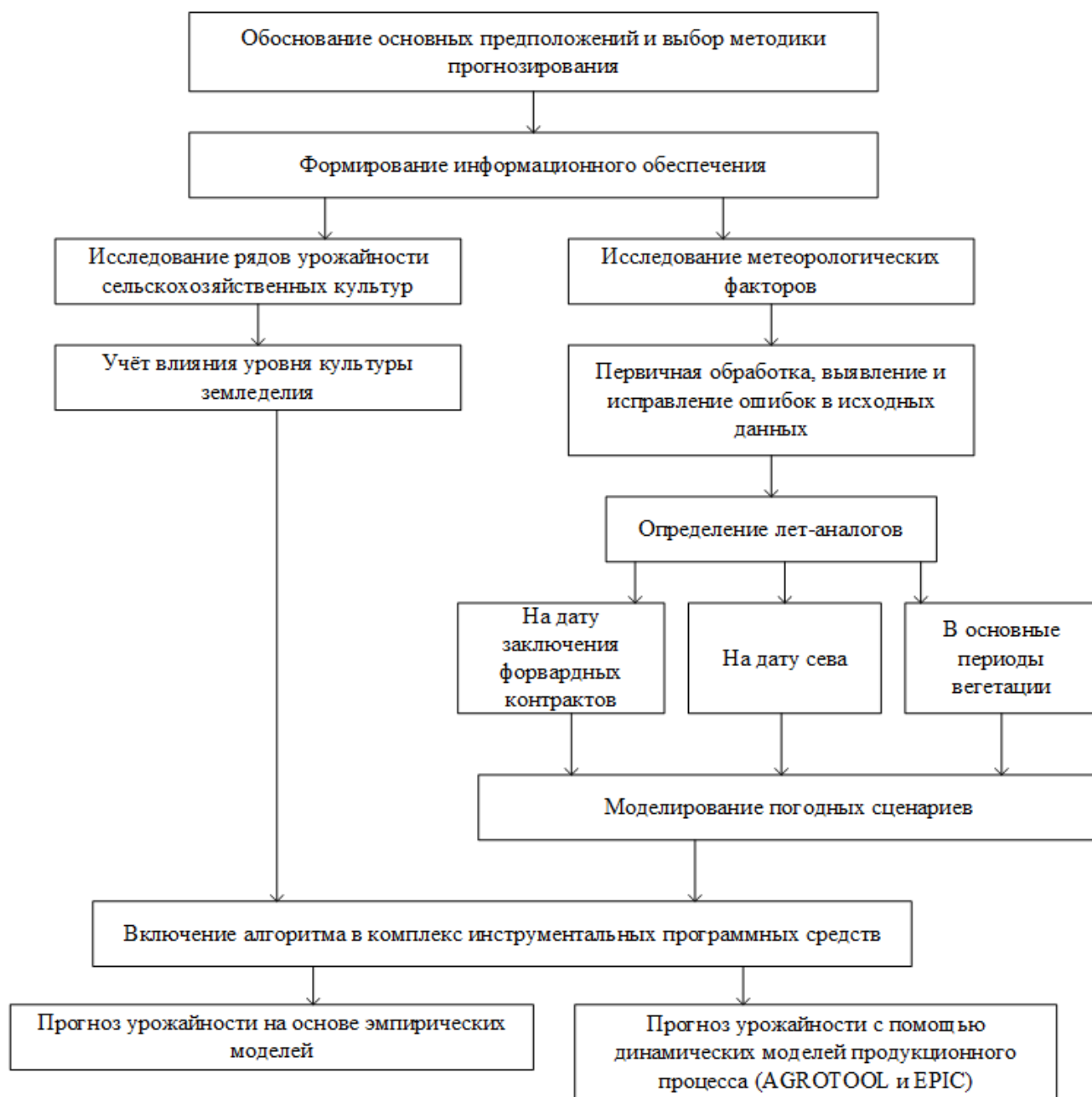


Figure 1. Block diagram of the phased yield prediction procedure.

Due to the fact that the selection of high-quality analog is extremely difficult because of the limited number of observations, we can try to create an imitative analogue composed from several fields, which has a high degree of similarity with the current process than natural one.

Principal Component Regression (PCR) is used to construct the empirical predictive models. The choice of method is determined by strong correlation between the variables describing agro-meteorological characteristics. The latter makes the use of regression analysis difficult.

Modeling of weather scenarios and yield prediction [1] is based on analogue years. Then crop yield evaluation with modeling complex «AGROTOOL» [2, 3, 5] is made.

To solve these problems popular open-source tools such as Rapid Analytics [4], can be used. It is one of the most widely used data mining tools. The tools can be accessed via web-interface.

There is a portal of the scientific community «AGROTOOL» at the open internet resource (agrotool.asu.ru), where materials about the «AGROTOOL» model are published [3]. Imitation and modeling complex AGROTOOL was developed in the laboratory of mathematical modeling of agroecosystems in Agrophysics Research Institute (St. Petersburg). The model describes the production process of field crops and calculates the dynamics of crop formation from sowing to harvesting.

These analytical tools will be presented in the science portal named «AGROTOOL». They will be open for everybody. In the future it is planned to include more agroecological models created by different research teams in the «AGROTOOL» portal.

References

1. Гавриловская Н. В., Топаж А. Н., Хворова Л. А. Моделирование погодных сценариев для оценки урожайности зерновых культур в условиях Западной Сибири // Известия АлтГУ. 2011. № 1. С. 71–78.
2. Хворова Л. А., Гавриловская Н.В. Прогнозирование урожайности зерновых культур: методы и расчеты // Известия АГУ. 2008. № 1. С. 65–68.
3. Хворова Л. А., Топаж А. Г. Динамическое моделирование и прогнозирование в агрометеорологии. Барнаул, Изд-во АлтГУ, 2010. 263 с.
4. Rapid Analytics [Electronic resource] – Access Mode: <http://rapid-i.com>
5. Hvorova L. A., Gavrilovskaya N. V. Using of a dynamic computer model of the agricultural ecosystem for the operational and long-term forecasting of agricultural production // European Researcher. 2012. Vol. 20. № 5–1. P. 499–502.

СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ AGROTOOL И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

В. Л. Баденко

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур наибольший интерес представляют рост и развитие сельскохозяйственных растений (продукционный процесс) на конкретном поле. Соответствующие технологии информационного обеспечения процесса принятия решений требуют оценки качества и количества растениеводческой продукции, что невозможно без моделирования, а использование при этом динамических имитационных моделей агроэкосистем [1] является перспективным направлением. Однако несоответствие моделей процессам и явлениям, реально имеющим место на полях, приводит к потере всех преимуществ управления с использованием современных информационных технологий, нерациональному использованию ресурсов и развитию экологически неблагоприятных процессов [2]. Водно-физические свойства почвы во многом определяют интенсивность и вели-