

ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХОДА ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И КАРТОФЕЛЯ НА МОС: РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ПРОГНОЗОВ¹

Полуэктов Р.А., Терлеев В.В., Глядченкова Н.А.

Эффективность принятия технологических решений зависит от состава и качества информации, доступной агроному. Поэтому задача прогнозирования характеристик продукционного процесса в реальном времени (т.е. непосредственно в ходе вегетации растений) имеет важное практическое значение. Настоящий доклад посвящен изложению результатов решения двух прогнозных задач:

- прогноз сроков наступления фаз фенологического развития, включая фазу полной спелости;
- прогноз уровня хозяйственного урожая.

Решение задач осуществлялось с использованием имитационно-моделирующего комплекса AGROTOOL, v.3 для следующих культур, возделывавшихся в 2006-2009 гг. на Меньковской опытной станции АФИ (МОС) в семипольном севообороте: яровой ячмень, озимая рожь и картофель. Кроме того, в период 2007-2009 гг. осуществлялись некоторые прогнозные расчеты для яровой пшеницы, культивируемой в опыте по точному земледелию (автор опыта П.Лекомцев). Поскольку характеристики продукционного процесса (включая урожай) существенно зависят от погодных условий, то основное внимание было уделено разработке сценария погоды, обеспечивающего сходимость результатов расчета с фактическими показателями.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТОВ

Рассмотрим, прежде всего, метод прогнозирования темпов фенологического развития. Важность этой задачи заключается в том, что именно со сроками наступления фенофаз связаны основные агротехнологические мероприятия по уходу за посевами. Время наступления очередной фазы развития, грубо говоря, определяется суммой эффективных температур. Но в модели AGROTOOL этот алгоритм был несколько усложнен. Во-первых, температурный порог был принят не постоянным, а зависящим от номера фазы. Далее, скорость развития замедлялась при слишком высоких температурах. И, наконец, на скорость развития оказывал влияние стресс по почвенной влаге. Таким образом, на ход биологического времени влияют следующие

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 05-09-00415

переменные модели: T_{av} и ψ , т.е. соответственно среднесуточная температура воздуха и капиллярно-сорбционный потенциал почвы:

$$\Delta\tau(j) = f(T_{av}(j), \psi(j)), \quad \tau_b(k) = \sum_j \Delta\tau(j), \quad (1)$$

где k – текущий шаг модели, τ_b – текущее биологическое время, $\Delta\tau$ – прирост биологического времени за сутки. Следовательно, для предсказания сроков наступления фаз необходимо разработать способ прогнозирования этих величин. Вообще, вопросы прогнозирования являются наиболее трудными и плохо формализуемыми. Причина этого совершенно ясна. Она кроется в изменчивости и непредсказуемости погодных условий, являющихся фактором продуктивности. Тем не менее, здесь имеются определенные обстоятельства, позволяющие получать обнадеживающие результаты. Причиной этого, прежде всего, являются инерционные свойства объекта моделирования – агроэкосистемы. Действительно, почва не может высохнуть мгновенно – перенос воды по почвенному профилю, ее испарение и поглощения корнями происходят постепенно. Растения также мгновенно не реагируют на изменение метеобстановки, фильтруют быстрые колебания метеопараметров, если они не очень значительны. Сама погода также инерционна – смена погодного типа (переход от циклонов к антициклонам и обратно) происходят с периодичностью в несколько дней. Все это дает основание для разработки краткосрочных прогнозов детерминированного типа. Их существо заключается в следующем. Первоначально рассчитываются климатические, среднемноголетние погодные данные. В процессе очередного счета модель фиксирует отклонения (флюктуации) фактических погодных данных от их среднемноголетних значений. После сглаживания высокочастотных составляющих этих флюктуаций они запоминаются и добавляются к среднемноголетнему ходу. Именно такой погодный сценарий и был использован в прогнозных расчетах. Надежда (которая, как правило, оправдывались) здесь заключалась в том, что более теплые или более холодные дни, более сухие или более дождливые периоды, раз начавшись, продлеваются какое-то время. Описанный способ построения сценария погоды на примере температуры воздуха иллюстрируется рис.1.

Несколько иной способ был принят для прогнозирования урожая. Исходная гипотеза здесь заключалась в том, что основа будущего урожая закладывается уже к моменту начала цветения. Действительно, именно к этой дате растения уже заканчивают накопление основных пластических веществ, а в последующий период они только перетекают от вегетативных органов к генеративным. Поэтому динамический прогноз урожая может осуществляться в любой момент после начала

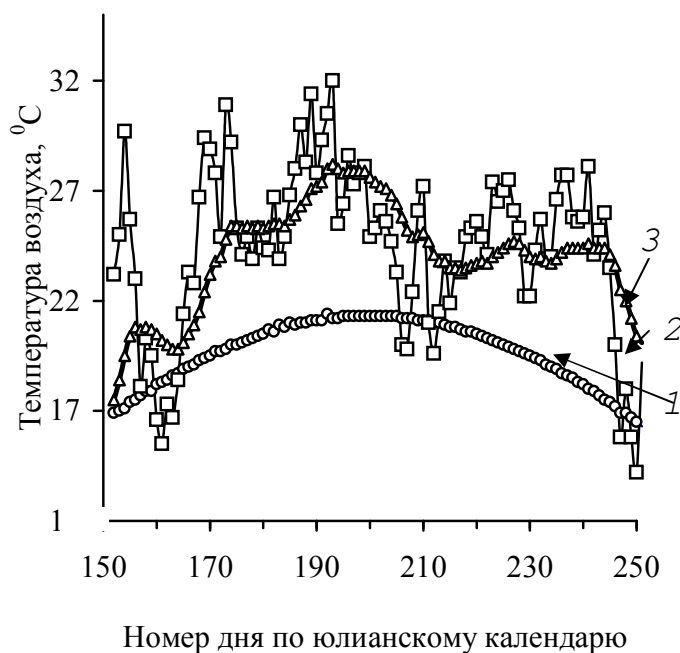


Рис. 1. Сценарий погоды.

1 – климатический ход температуры; 2 – значения реальной температуры; 3 – сглаженные значения температуры.

цветения. Конечно, в последующий период могут происходить события, нарушающие естественный ход формирования урожая. Но это случается крайне редко. Поэтому для расчета будущей величины урожая было использовано регрессионное соотношение, связывающее текущее состояние посева с прогнозируемой величиной. В качестве предикторов использованы текущее физиологическое время $PhTime$, суммарная надземная биомасса $SumBiom$, накопленное к моменту прогноза, отношение суммы осадков к сумме эвапотранспирации SS и текущая биомасса колоса $EBiom$. Поэтому в качестве прогнозной формулы было принято соотношение:

$$Y = f(PhTime, SumBiom, SS, EBiom) \quad (2)$$

Известно, что физиологическое время, характеризующее темпы развития растений, изменяется в следующих пределах: оно равно 0 на всходах, 1 в момент цветения и 2 при полном созревании. Поэтому соотношение (2) применимо при условии:

$$1 \leq PhTime \leq 2 \quad (3)$$

Детали обоих алгоритмов описаны в монографии [1], поэтому они здесь не приводятся.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как уже сказано ранее, решение прогнозных задач осуществлялось для ряда культур на семипольном севообороте МОС. Для оперативного прогнозирования использовалась система имитационного моделирования AGROTOOL, v.3 [1], в

которую включены специальные процедуры решения прогнозных задач. Процедура расчета заключалась в следующем. До даты прогнозирования в модель вводились реальные погодные данные, и по ним рассчитывался ход продукционного процесса до этого момента. Начиная с этой даты, к модели подключалась процедура прогнозирования, и формировался сценарий будущей погоды, адаптированной к текущему сезону. После этого осуществлялся прогноз даты наступления очередной фенофазы и диапазон уровней ожидаемого урожая. По мере дальнейшего хода вегетации прогнозируемые величины сравнивались с фактическими данными. Прогнозные расчеты производились для яровой пшеницы, озимой ржи и картофеля.

Описанная процедура осуществлялась раз в 15 дней. Лаборатория получала от МОС погодные данные за истекшие 15 дней (каждый 16-й день и 1-й день следующего месяца). Эти данные включались в базу данных, и проводился очередной прогноз. Всего за летний период были выполнены 8 прогнозов: на 01 и 16 мая, на 01 и 16 июня, на 01 и 16 июля и на 01 и 16 августа. Некоторые результаты прогноза представлены в таблицах 1-5 и на рис. 2-3.

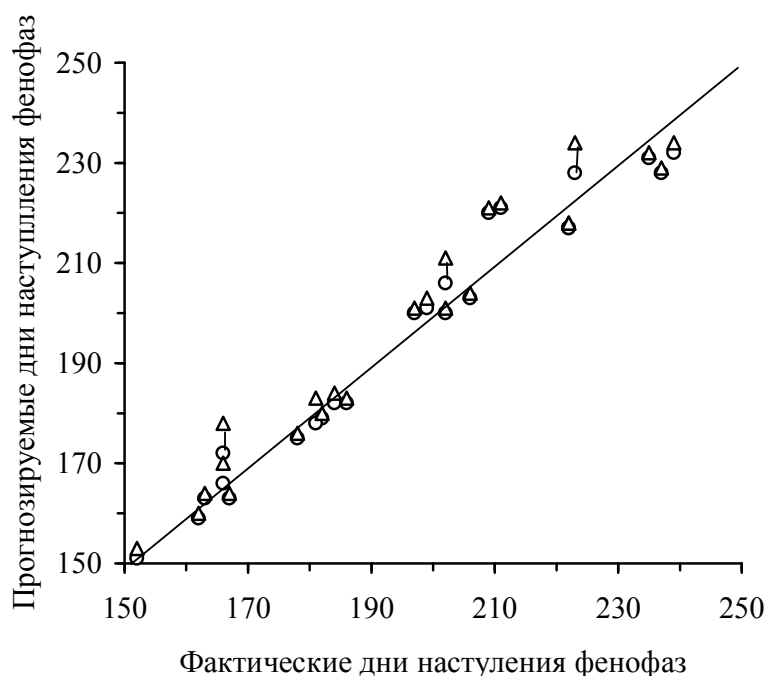


Рис.2. Прогнозируемые и фактические дни наступления фенофаз озимой ржи, ярового ячменя и картофеля. 2006-2009 гг.

△—○ — диапазон значений прогнозируемых сроков.

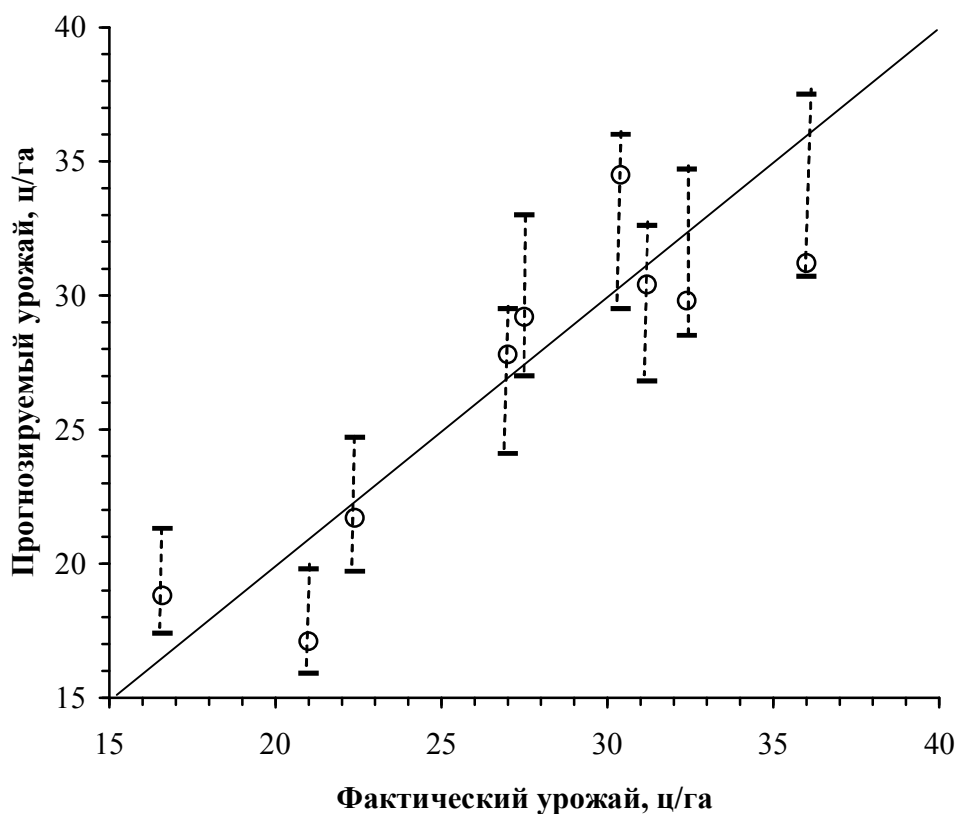


Рис.3. Результаты прогнозирования урожая ярового ячменя.
МОС, 2005-2008 гг.

†
- - диапазон прогнозируемых значений урожая,
о – расчетный урожай,

Табл. 1. Результаты прогнозирования фенофаз озимой ржи

Озимая рожь (вегетация 2008-2009гг.), 2-е поле севооборота		
Фенофазы	Прогнозируемая дата	Фактическая дата
сев	05 сентября	05 сентября
всходы	14 сентября	15 сентября
третий лист	04 октября	-
кущение	15 октября	-
выход в трубку	23 мая	25 мая
колошение	13 июня	12 июня
цветение	26 июня	27 июня
молочная спелость	22 июля	18 июля
восковая спелость	7 августа	10 августа
уборка	16 августа	19 августа

Табл. 2. Результаты прогнозирования фенофаз ярового ячменя

Яровой ячмень (вегетация 2008 года), 3-е поле севооборота		
Фенофазы	Прогнозируемая дата	Фактическая дата
Сев	07 мая	07 мая
Всходы	21 мая	20 мая
3-й лист	30 мая	29 июня
Кущение	07 июня	03 июня
выход в трубку	20 июня	15 июня
Колошение	06 июля	03 июля
Цветение	10 июля	05 июля-
Молочная спелость	20 июля	21 июля
восковая спелость	06 августа	10 августа
уборка (полн.спелость)	21 августа	27 августа

Табл. 3. Результаты прогнозирования фенофаз картофеля

Картофель (вегетация 2009 года), 4-е поле севооборота		
Фенофазы	Прогнозируемая дата	Фактическая дата
Посадка	28 мая	28 мая
Всходы	28 июня	05 июля
боковые побеги	19 июля	16 июля
бутонизация	23 июля	25 июля
клубнеобразование	27 июля	-
цветение	10 августа	30июля
отмирание ботвы	17 августа	25 августа
уборка (полн.спелость)	06 сентября	=

Табл. 4. Результаты прогнозирования урожая озимой ржи

Озимая рожь (вегетация 2008-2009гг.), урожай (ц/га)						
Дата	N ₀ PK		N ₆₅ PK		N ₁₀₀ PK	
	Мин	Макс	Мин	Мин	Макс	Мин
30.06	25.1	27.8	45.6	50.4	46.6	51.5
15.07	23.6	26.1	39.5	43.7	40.0	44.2
31.07	21.8	24.1	34.1	37.7	34.3	37.9
15.08	23.1	25.5	38.2	42.3	39.0	43.1
31.08	23.9		39.5		40.3	
	Расч	Эксп	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.
	23.9	22.4	39.5	41.3	40.3	43.5

Табл. 5. Результаты прогнозирования урожая ярового ячменя

Яровой ячмень (вегетация 2008 года), урожай (ц/га)						
Дата	N ₂₅ PK		N ₄₀ PK		N ₈₀ PK	
	Мин	Макс	Мин	Мин	Макс	Мин
15.07	25.9	28.7	27.0	29.9	29.1	32.1
31.07	26.8	29.6	27.9	30.8	29.8	32.9
15.08	29.4	32.5	30.6	33.8	32.8	36.2
21.08	29.6		31.1		32.7	
	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.
	29.6	25.5	31.1	31.6	32.7	35.8

Анализ результатов указывает, на удовлетворительное в целом соответствие расчетных и экспериментальных данных. Исключением являются данные по прогнозу темпов развития яровой пшеницы. Причина этого заключается в том, что эта культура еще недавно включена в модель и по ней еще не накоплен достаточный фактический материала.

Авторы выражают благодарность Л.А.Инкину за своевременное представление экспериментальных данных по семипольному севообороту.

Литература

- 1. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Тонаж А.Г.** Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. Ун-та, 2006. – 396 сс.