

УДК 004.94+519.673

*Н.В. Гавриловская***Результаты численного моделирования
погодных сценариев****N.V. Gavrilovskaya***The Results of Numerical Simulating Weather Scenarios**

Рассмотрены результаты численного моделирования сценариев развития погодных условий в текущем сезоне вегетации, полученные с помощью оригинальной методики, основанной на технологии определения лет-аналогов.

Ключевые слова: погодный сценарий, численное моделирование, принцип аналогичности.

Для поддержки сельскохозяйственных производителей и управления ценовыми рисками с сентября 2006 г. в России реализуется проект по организации рынка биржевых торгов зерном с использованием механизма форвардных и фьючерсных контрактов, которые заключаются начиная с марта каждого года. В связи с этим субъектам аграрной сферы необходимо обладать аналитической информацией о складывающихся погодных условиях, их возможном воздействии на объекты сельскохозяйственного производства и ожидаемую продуктивность зерновых культур.

Сдерживающим моментом в решении этих задач является погодный фактор, компоненты которого (среднесуточные температура воздуха, скорость ветра, атмосферное давление, относительная влажность воздуха, солнечная радиация, суточная сумма осадков) могут изменяться в широком диапазоне от года к году и в течение самого периода вегетации растений. При обосновании стратегии ведения сельского хозяйства экономический эффект должен быть получен на всем множестве возможных погодных реализаций в многолетнем разрезе. Однако на стадии планирования отсутствует необходимая информация о метеорологической ситуации последующего периода, и необходимо принимать решения, исходя из возможного спектра реализаций агрометеорологических факторов для рассматриваемой климатической зоны.

В настоящее время разработаны эффективные моделирующие комплексы производственного процесса, такие как AGROTOOL (Агрофизический институт, Санкт-Петербург, Россия), EPIC (Soil & Water Research Laboratory, USDA-ARS), AGROSIM (Centre for Agricultural Landscape Research, MÜNCHENBERG, Germany) и другие, которые способны

The article considers the results of numerical modeling weather scenarios during the current season of vegetation with a help of original technique based on the technology of definition of year-analogs.

Key words: weather scenario, numerical modeling, principle of similarity.

спрогнозировать последствия агротехнологических мероприятий, встраиваясь непосредственно в технологию принятия решений. Однако их использование сдерживается отсутствием необходимой агрометеорологической информации будущего периода.

В статье предложено решение данной проблемы, которое базируется на технологии формирования погодных сценариев.

Моделирование погодных сценариев по принципу аналогичности – это одна из задач технологии определения лет-аналогов [1]. Решение данной задачи заключается в том, чтобы из всех подмножеств $A_m \in \Omega$ выбрать класс объектов A_{m_0} , наилучшим образом соответствующий, согласно определенным критериям, новому элементу $X^{n+1} = \{x_{i_0, j}^{n+1}\}$,

$i_0 = \overline{1, l_0}; j = \overline{1, k}, l_0 < l$; l обычно принимают равным 365 дням; l_0 – номер суток, отсчитываемый с 1 января текущего года, с которого производится моделирование погодного сценария. Для оценки влияния погодных условий на формирование урожая требуется на основе исследования совокупности агрометеорологических параметров классифицировать ситуацию в определенный период времени, учитывая ее влияние на состояние растений, точнее на урожайность.

Решить данную задачу можно с помощью дискриминантного анализа, основанного на теории распознавания образов. Алгоритм распознавания обеспечивает определение класса, к которому может быть отнесен неизвестный объект на основе экспериментальных измерений некоторого набора признаков. Распознавание образов предполагает отнесение исходных данных к определенному классу по некоторому решающему правилу с помощью

* Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект №7ю3975.2011 в Алтайском государственном университете)

выделения существенных признаков из общей массы несущественных деталей.

Вследствие этого сформированный класс объектов A_{m_0} образует ансамбль возможных реализаций погодных условий, который можно описать вектором агрометеорологических факторов $G = \{G_j^0, G_j^i\}$, где G_j^0 – показатели исследуемого года; G_j^i – показатели лет-аналогов; $j = \overline{1, k}$, $i = \overline{1, m_0}$.

Тогда прогнозный сценарий для исследуемого года $\hat{G}_j^0(t) = \sum_{i=1}^{m_0} \alpha_i G_j^i(t)$, где $t = \overline{l_0, l'}$, l' – дата уборки урожая, можно построить с помощью оптимизационной процедуры:

$$O = \sum_{t=l_0}^{l'-1} \sum_{i=1}^{m_0} \sum_{j=1}^k (\alpha_i G_j^i(t) - G_j^0(t))^2 \rightarrow \min_{\alpha_i}, \quad (1)$$

$$l_0 < l' < l, \quad \sum_{i=1}^{m_0} \alpha_i = 1, \quad \alpha_i \geq 0. \quad (2)$$

Коэффициенты α_i назовем показателями аналогичности.

При этом ежедневные осадки прогнозируются по вероятности появления дождя в годах-аналогах. Временной процесс выпадения осадков рассматривается как простая цепь Маркова с двумя состояниями: одно состояние – это дни без осадков, другое – дни с количеством осадков, превышающем нуль мм. Таким образом, формируется последовательность сухих и влажных дней. Соответствующие вероятности перехода находятся из данных наблюдений. Для реализации такой процедуры используется генератор псевдослучайных чисел.

Под псевдослучайными числами понимаются числа, которые могут рассматриваться в качестве реализации некоторой случайной величины. Как правило, имеются в виду реализации случайной величины, равномерно распределенной на промежутке $(0, 1)$, или приближения к таким реализациям, имеющие конечное число цифр в своем представлении [2].

Вероятность выпадения осадков в определенный день существенно выше, если в предыдущие сутки также выпали осадки. То есть процесс выпадения осадков таков, что сухие и влажные дни имеют тенденцию группироваться в серии или последовательности однотипных событий [3]. Максимальные значения вероятности перехода достигают в зимнее время, так как в этот период осадки порождаются крупномасштабными возмущениями атмосферной циркуляции, приходящими из Атлантики, и осадки преимущественно носят обложной характер. Минимальные значения достигаются в июле–августе, когда события осадков (преимущественно ливневые) порождаются возмущениями меньшего масштаба, приходящими из бассейнов Средиземного и Черного морей. В этот период осадки непродолжительны и события осадков в соседние сутки

в меньшей степени, чем зимой, связаны между собой.

Интенсивность осадков или, иными словами, распределение количества выпавших осадков во влажные сутки определяется приростом средних осадков по годам-аналогам от предыдущего дождливого дня. При этом для каждого месяца параметры распределения рассчитываются отдельно. Таким образом, выбранный способ моделирования осадков обеспечивает совпадение среднего числа дождливых дней прогнозного года со средним числом дождливых дней лет-аналогов. В дождливый день график температуры и солнечной радиации не корректируется, что обеспечивает совпадение статистических характеристик, определенных по годам-аналогам.

Выбор дискретных периодов появления дождя позволяет ввести в динамические модели (AGRO-TOOL и EPIC) данные, соответствующие засушливым периодам [4]. И более того, использование смоделированного погодного сценария как входного сигнала моделей продуктивности зерновых культур позволяет получать в качестве результатов модельных расчетов характеристики производственного процесса, статистически неразличимые с характеристиками, получаемыми при использовании фактических агрометеорологических данных. Таким образом, предложенный метод моделирования процесса интенсивности осадков достаточно точно воспроизводит месячные суммы осадков.

Задача (1)–(2) относится к классу выпуклых задач математического программирования и решается с использованием метода сопряженных градиентов. Решение этой задачи предполагает, что при работе модели на ее вход подаются фактические погодные данные до того момента, с которого начинается прогнозирование. Для состыковки (сглаживания) фактических данных и данных лет-аналогов фиксируются отклонения фактических данных на дату прогноза и отклонения данных года-аналога. Эти отклонения сглаживаются с помощью динамического звена первого порядка, отфильтровывающего флуктуации.

Пусть отклонения фактических агрометеорологических факторов составляют величину $\Delta T_{real}(k)$, а присоединенных данных года-аналога – $\Delta T_a(k)$. Эти отклонения сглаживаются по формуле:

$$\Delta T_{prog}(k+1) = Q \cdot \Delta T_a(k) + (1-Q) \cdot \Delta T_{real}(k), \quad (3)$$

где показатель сглаживания Q изменяется в пределах $0 < Q < 1$. Полученная в результате этого сглаженная поправка добавляется к климатической кривой, которая распространяется далее на весь период прогноза.

В данном случае речь идет не о прогнозе погоды в общепринятом значении этих слов, а о моделировании некоторого правдоподобного сценария ежедневных метеорологических данных на прогнозный период. Прогноз начинается с момента заключения

форвардных контрактов и уточняется по мере поступления метеорологической информации. Таким образом, ход метеословий «адаптируется» к особенностям конкретного года.

Результаты численных экспериментов по прогнозированию погодных сценариев $\hat{G}_j^0(t)$, $t = \overline{l_0, l'}$,

$j = \overline{1, k}$ на примере среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков для 2008 г. приведены на рисунках 1–2. Аналогичные расчеты были проведены и по остальным агрометеорологическим показателям (минимальная относительная влажность воздуха, продолжительность солнечного сияния и т.д.).

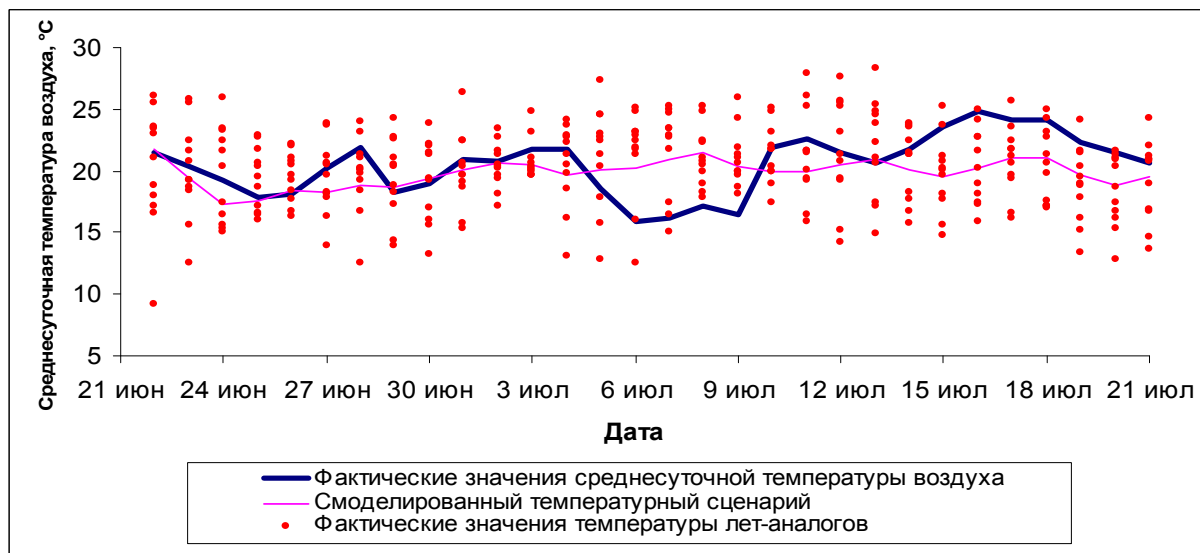


Рис. 1. Расчетные и фактические значения температуры воздуха с 22.06 по 21.07.2008 г.

Ежедневные осадки прогнозируются по вероятности появления дождя в годах-аналогах (рис. 2). Данная процедура реализована с помощью генера-

ции псевдослучайных чисел, а интенсивность осадков определяется приростом средних осадков по годам-аналогам от предыдущего дождливого дня.

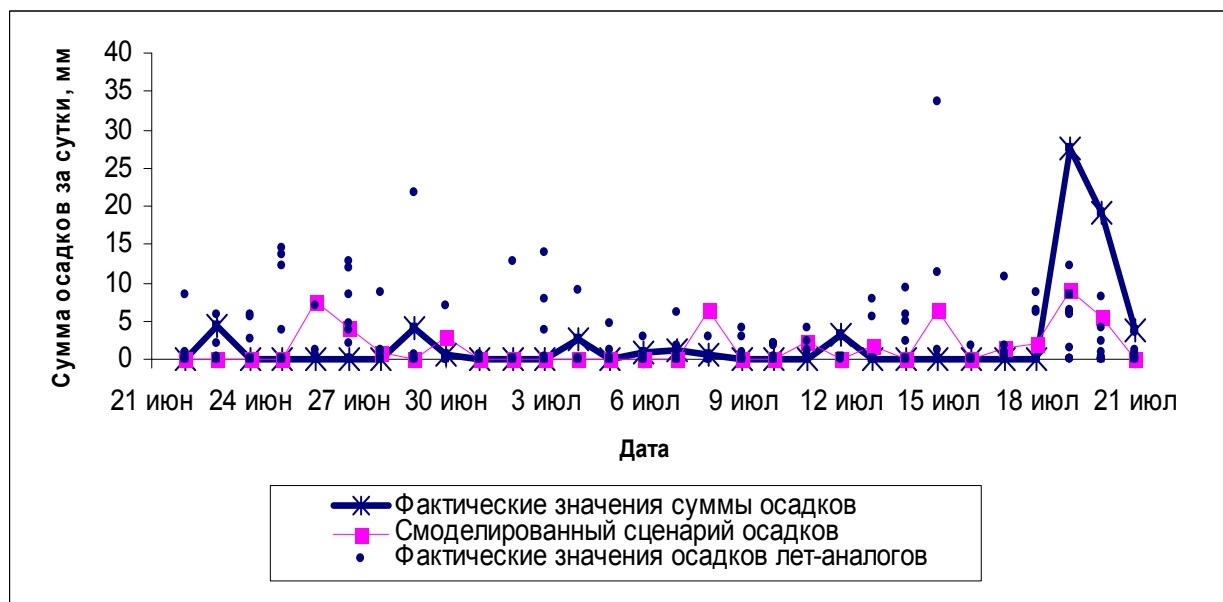


Рис. 2. Расчетные и фактические значения суммы осадков с 22.06 по 21.07.2008 г.

Как видно из рисунков, траектории прогнозных значений агрометеорологических факторов для исследуемого года не выходят за границы пучка тра-

екторий лет-аналогов. Смоделированные погодные сценарии сами по себе количественно и качественно демонстрируют те же статистические закономерности

сти, что и фактические погодные реализации. Более того, их использование в качестве входного сигнала динамической модели производственного процесса позволяет получать в качестве результатов модельных расчетов характеристики производственного процесса, в частности урожайность, статистически неразличимые с характеристиками, получаемыми при использовании фактических погодных данных.

С помощью имитационно-моделирующих комплексов AGROTOOL и EPIC, адаптированных автором к условиям Алтайского края, выполнены расчеты по развитию яровой пшеницы и оценена урожайность в зависимости от сгенерированных различных вариантов погодных условий.

На вход динамической модели подается фактическая метеорологическая информация до даты

прогноза, а с даты прогноза – смоделированный погодный сценарий. В результате этого воспроизводится траектория формирования урожая, отражающая особенности агрометеорологических условий от начала вегетации до уборки.

В таблице 1 представлены результаты оценки урожайности яровой пшеницы в условиях Алтайского края на 21 июля по годам-аналогам и стохастическому генератору [5]. В таблице приняты следующие обозначения: ε_0 – относительная ошибка прогноза (%); ε_a – абсолютная ошибка прогноза (ц/га); P – оценка прогноза относительно допустимой погрешности (превышает – 1, не превышает – 0); O – оправдываемость прогнозов (%).

Результаты прогноза урожайности яровой пшеницы на 21 июля

2007 г.		По погодным сценариям лет-аналогов	По погодным сценариям (генератор)				
			1	2	3	4	5
Фактическая	17,6	-	-	-	-	-	-
Прогноз AGROTOOL	17,1	17,1	18,7	17,7	16,6	18,5	20,9
Прогноз EPIC	19,2	17,0	18,2	16,4	15,3	20,1	20,8
ε_0 , AGROTOOL/ EPIC	2,8/9,1	2,8/3,4	6,3/3,4	0,6/6,8	5,6/13,1	5,1/14,2	18,8/18,18
ε_a , AGROTOOL/ EPIC	0,5/1,6	0,5/0,6	1,1/0,6	0,1/1,2	1,0/2,3	0,9/2,5	3,3/3,2
P , AGROTOOL/ EPIC	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1	0/1	1/1
O , AGROTOOL/ EPIC	97/91	97/97	94/97	99/93	94/87	95/86	81/81
2008 г.		По погодным сценариям лет-аналогов	По погодным сценариям (генератор)				
			1	2	3	4	5
Фактическая	18,9	-	-	-	-	-	-
Прогноз AGROTOOL	19,9	19,4	20,4	19,2	18,8	19,9	18,3
Прогноз EPIC	17,3	18,1	18,7	18,1	16,8	18,0	16,9
ε_0 , AGROTOOL/ EPIC	5,3/8,5	2,7/4,2	7,9/1,1	1,6/4,2	0,5/11,1	5,3/4,8	3,2/10,6
ε_a , AGROTOOL/ EPIC	1,0/1,6	0,5/0,8	1,5/0,2	0,3/0,8	0,1/2,1	1,0/0,9	0,6/2,0
P , AGROTOOL/ EPIC	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
O , AGROTOOL/ EPIC	95/92	97/96	92/99	98/96	99/89	95/95	97/89
2009 г.		По погодным сценариям лет-аналогов	По погодным сценариям (генератор)				
			1	2	3	4	5
Фактическая	35,5	-	-	-	-	-	-
Прогноз AGROTOOL	25,5	27,3	23,6	23,3	23,7	22,6	26,4
Прогноз EPIC	23,1	26,1	22,1	21,8	22,1	21,2	24,9
ε_0 , AGROTOOL/ EPIC	28,2/34,9	23,1/26,5	33,5/37,8	34,4/38,6	33,2/37,8	36,3/40,3	25,6/29,9
ε_a , AGROTOOL/ EPIC	10,0/12,4	8,2/9,4	11,9/13,4	12,2/13,7	11,8/13,4	12,9/14,3	9,1/10,6
P , AGROTOOL/ EPIC	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
O , AGROTOOL/ EPIC	72/65	77/73	66/62	66/61	67/62	64/60	74/70
2009 г.		По погодным сценариям лет-аналогов	По погодным сценариям (генератор)				
			1	2	3	4	5
Фактическая	19,4	-	-	-	-	-	-
Прогноз AGROTOOL	21,6	18,9	20,2	20,8	24,1	23,9	27,1
Прогноз EPIC	21,1	18,5	18,4	18,7	22,7	22,1	24,3
ε_0 , AGROTOOL/ EPIC	11,3/8,8	2,6/4,6	4,1/5,2	7,2/3,6	24,2/17,0	23,2/13,9	39,7/25,3
ε_a , AGROTOOL/ EPIC	2,2/1,7	0,5/0,9	0,8/1,0	1,4/0,7	4,7/3,3	4,5/2,7	7,7/4,9
P , AGROTOOL/ EPIC	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	1/1	1/1
O , AGROTOOL/ EPIC	89/91	97/95	97/95	93/96	76/83	77/86	60/75

Разброс значений урожайности по погодным сценариям случайных реализаций составляет от 15,3 до 27,1 ц/га (результат непредсказуем), по годам-аналогам – от 17,0 до 27,3 ц/га, фактическое изменение величины урожайности – от 17,6 до 35,5 ц/га. Анализ модельных расчетов урожайности по погодным сценариям лет-аналогов свидетельствует о правдоподобности полученных прогнозов.

Анализ сравнения смоделированных погодных сценариев путем уровней урожайности, рассчитан-

ных по имитационно-моделирующим комплексам AGROTOOL и EPIC, показал, что использование принципа аналогичности приводит к повышению точности прогноза урожайности. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанный алгоритм генерации погодных сценариев для применения в других имитационно-моделирующих комплексах продуктивности сельскохозяйственных культур.

Библиографический список

1. Гавриловская Н.В. Прогнозирование урожайности зерновых культур с использованием технологии определения года-аналога в условиях Западной Сибири // Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы: мат. Всерос. конф. (с междунар. участием). – СПб., 2010.
2. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М., 1971.
3. Кац А.М. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды. – Л., 1960.
4. Гавриловская Н.В., Топаж А.Г., Хворова Л.А. Моделирование погодных сценариев для оценки урожайности зерновых культур в условиях Западной Сибири // Известия АлтГУ. – 2011. – №1 (69).
5. Топаж А.Г. Моделирование суточных метеоданных как входного сигнала модели продукционного процесса // Почва и растение – процессы и модели: сб. науч. тр. – СПб., 1992.