

А.Н.Полевой

**Прикладное моделирование
и прогнозирование
продуктивности посевов**

Гидрометеониздат 1988

А.Н.Полевой

Прикладное моделирование
и прогнозирование
продуктивности посевов



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1988

Рецензенты: д-р биол. наук Х. Г. Тооминг, канд. геогр. наук А. Н. Дервянко

Рассматриваются теоретические и практические вопросы моделирования и прогнозирования продуктивности посевов сельскохозяйственных культур. Дается базовая динамическая модель продукционного процесса растений, описывающая влияние факторов внешней среды на рост и развитие посевов и формирование урожая. Особое внимание уделяется приложению различных модификаций базовой модели для решения прикладных задач. Излагаются результаты анализа временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур. Предложены новые динамико-статистические методы оценки агрометеорологических условий формирования продуктивности посевов и ее прогнозирования.

Для агрометеорологов, экологов, специалистов сельского хозяйства.

The monograph by A. N. Polevoy "Applied simulation and prediction of crop production" discusses both theoretical and practical problems of the simulation and prediction of crop production. A basic dynamic model of crop production is presented, describing the impact of environmental factors on crop growth, development and productivity. Special attention is attributed to the application of different versions of the basic model to solve applied problems. The author discusses the results of the analysis of the time series of crop yields. New dynamic statistical methods are proposed to estimate agro-meteorological conditions for the formation of crop production and to forecast crop yields.

The book is of special interest to agro-meteorologists, ecologists and agriculturalists.

Предисловие

Увеличение производства всех видов сельскохозяйственной продукции является главной задачей агропромышленного комплекса страны. Решение этой задачи возможно лишь на базе интенсивных технологий, повышения урожайности в земледелии и продуктивности в животноводстве при использовании новых методов управления и хозяйствования [1]. Для принятия обоснованных хозяйственных решений необходимо своевременное обеспечение специалистов Агропрома, планирующих организаций информацией о влиянии погодных условий, особенно экстремальных, на формирование урожая сельскохозяйственных культур, об ожидаемых уровнях урожайности.

Необходимость обеспечения сельского хозяйства всесторонней количественной информацией о влиянии складывающихся и ожидаемых погодных условий на формирование продуктивности посевов способствовала развитию работ по моделированию воздействия факторов внешней среды на основные процессы жизнедеятельности растений и в конечном итоге — на урожайность.

Создание теории фотосинтетической продуктивности посевов (А. А. Ничипорович, А. И. Будаговский, Ю. К. Росс, Х. Г. Тооминг, М. И. Будыко, О. Д. Сиротенко, Е. П. Галямин, Р. А. Полуэктов, А. Н. Полевой, М. Монси, Т. Сазки, де Вит, Р. Брувер, Дж. Торили, Д. Чарльз-Эдвардс и др.) стимулировало как в нашей стране, так и за рубежом интенсивное развитие работ по моделированию продукционного процесса растений. Модели в этих работах различаются по степени сложности и детализации описания процессов жизнедеятельности растений, что определяется их целевым назначением.

Для практики наибольший интерес представляют длиннопериодные динамические модели, описывающие влияние факторов внешней среды на отдельные звенья продукционного процесса в их сложной взаимосвязи и на формирование урожая в целом. Большинство моделей разработано на уровне концептуализации, идентификации, исследования и реже — заключительного синтеза. Лишь в некоторых работах ставятся задачи оценки параметров и возможности использования моделей для решения конкретных практических вопросов. Это объясняется значительными трудностями определения параметров моделей и создания информационной базы, практической реализации моделей и др.

Разработка динамических моделей для решения задач агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства (О. Д. Сиротенко, Х. Г. Тооминг, А. Н. Полевой, М. А. Строганова), управления водным режимом посевов (Е. П. Галямин), принятия решений в растениеводстве (Н. Ф. Бондаренко, Е. Е. Жуковский, С. В. Нерпин, Р. А. Полуэктов, И. Б. Усков и др.), а также методов определения параметров моделей на основе стандартной

агрометеорологической информации (А. Н. Полевой) создала объективные условия для применения длиннопериодных динамических моделей в практике агрометеорологии.

На основе современной методологии агрометеорологического прогнозирования, развитие которого определили работы М. С. Кулика, Е. С. Улановой, А. В. Процера, Ю. И. Чиркова, В. А. Моисейчик, А. П. Федосеева и др., и динамических моделей продуктивности оказалось возможным решать и развивать важнейшие вопросы современной агрометеорологии — вопросы оценки влияния агрометеорологических условий на процесс формирования урожая (О. Д. Сиротенко, А. Н. Полевой) и прогнозирования количества (А. Н. Полевой) и качества (М. А. Строганова) урожая.

В настоящей монографии приведены основные результаты, полученные автором при разработке методов оценки агрометеорологических условий формирования продуктивности и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур:

- закономерности временных рядов урожаев;
- прикладные модели продукционного процесса растений (базовая модель продуктивности и ее модификации, модель роста, развития и формирования урожайности злаков);
- расчетные методы определения параметров прикладных моделей;

— новые динамико-статистические методы количественной оценки условий формирования продуктивности и прогнозирования урожайности основных сельскохозяйственных культур, расширяющие научно-методическую базу агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства.

В рамках прикладных моделей продукционного процесса растений, описывающих влияние факторов внешней среды (в том числе экстремальных — заморозков, засух) на фотосинтез, дыхание, рост и развитие, рассматривается полегание посевов, «запал» и «стекание» зерна, его прорастание на корню и в валках.

Монография подготовлена на основе результатов исследований, проведенных автором в течение последнего десятилетия, внедрения этих результатов в практику прогностических подразделений Госкомгидромета СССР, которое велось через Центральную методическую комиссию по гидрометеорологическим прогнозам (ЦМКП) Госкомгидромета СССР.

Автор глубоко признателен профессорам Е. С. Улановой, Ю. И. Чиркову, А. И. Коровину, Ю. К. Россу, А. Р. Константинову, докторам географических наук В. А. Моисейчик и И. В. Свилюку, доктору биологических наук Х. Г. Тоомингу, кандидату биологических наук И. Г. Грингофу за неизменную поддержку и внимание на различных этапах исследований. Автор выражает глубокую благодарность коллективу отдела агрометеорологических прогнозов ВНИИСХМ за большую помощь и участие в проведении исследований, коллективам отдела агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра СССР и кафедры агрометеорологии

Одесского гидрометеорологического института за доброжелательное внимание к работе и обсуждение результатов исследований.

Появлению монографии способствовало многолетнее сотрудничество автора с Т. И. Мызиной, Т. А. Гончаровой, И. Е. Вольвач, Ф. С. Рачкулик, М. А. Строгановой, В. М. Пасовым, Р. П. Коченовой, Т. И. Русаковой, Л. Н. Суховым, с которыми был выполнен ряд совместных работ, а также обсуждение ряда задач с В. Н. Страшным, А. Д. Клещенко, В. Н. Дюбиным, Ю. С. Мельником, А. Н. Деревянко, М. А. Строгановой. Программы для ЭВМ были составлены Ф. С. Рачкулик и Е. М. Казанцевой.

Большую помощь при выполнении различных расчетов и подготовке рукописи к печати оказали Н. Ф. Мищенко, О. И. Юдина, Н. И. Енина, Л. М. Осицына, Н. А. Сунцева, И. О. Вирченко, И. Ю. Лане, Н. А. Пенкина, В. В. Мастерова, за что автор выражает им благодарность.

Стохастическое моделирование временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур

Вопросы анализа временных рядов урожайности, установления закономерностей ее изменчивости привлекают внимание многих исследователей. В их работах рассматриваются различные аспекты этой проблемы — от анализа различных составляющих временных рядов до возможных путей прогнозирования урожайности на основе использования закономерностей, заложенных в самих временных рядах. Достаточно полное представление об успехах в решении этой проблемы дают работы [82, 122, 125, 129, 159].

Нами исследовались временные ряды урожайности основных сельскохозяйственных культур на уровне союзных республик и экономических районов страны. Ставилась задача с помощью теории случайных функций наилучшим образом определить тенденцию урожайности и величину случайной компоненты временных рядов урожайности, исследовать закономерности их изменчивости во времени и пространстве. Это позволило более успешно вести разработку динамико-статистических методов прогнозов, синтезирующих оценки ожидаемой тенденции урожайности, найденные статистическими методами, и отклонения урожайности от тренда, полученные с помощью динамических моделей продуктивности растений.

Следуя [7], анализ временных рядов урожайности проводился по следующей схеме (рис. 1.1):

- на первом этапе осуществлялось выделение тенденции урожайности, оценивалась правильность выбора вида тренда, проверялась гипотеза о том, что случайная компонента представляет собой стационарный случайный процесс;
- второй этап включал анализ тенденции урожайности, выделение типов хода тенденции временных рядов урожаев;
- на третьем этапе исследовалась случайная компонента (средние значения, показатели разнообразия, характеристики распределения), проводился ее автокорреляционный и спектральный анализы.

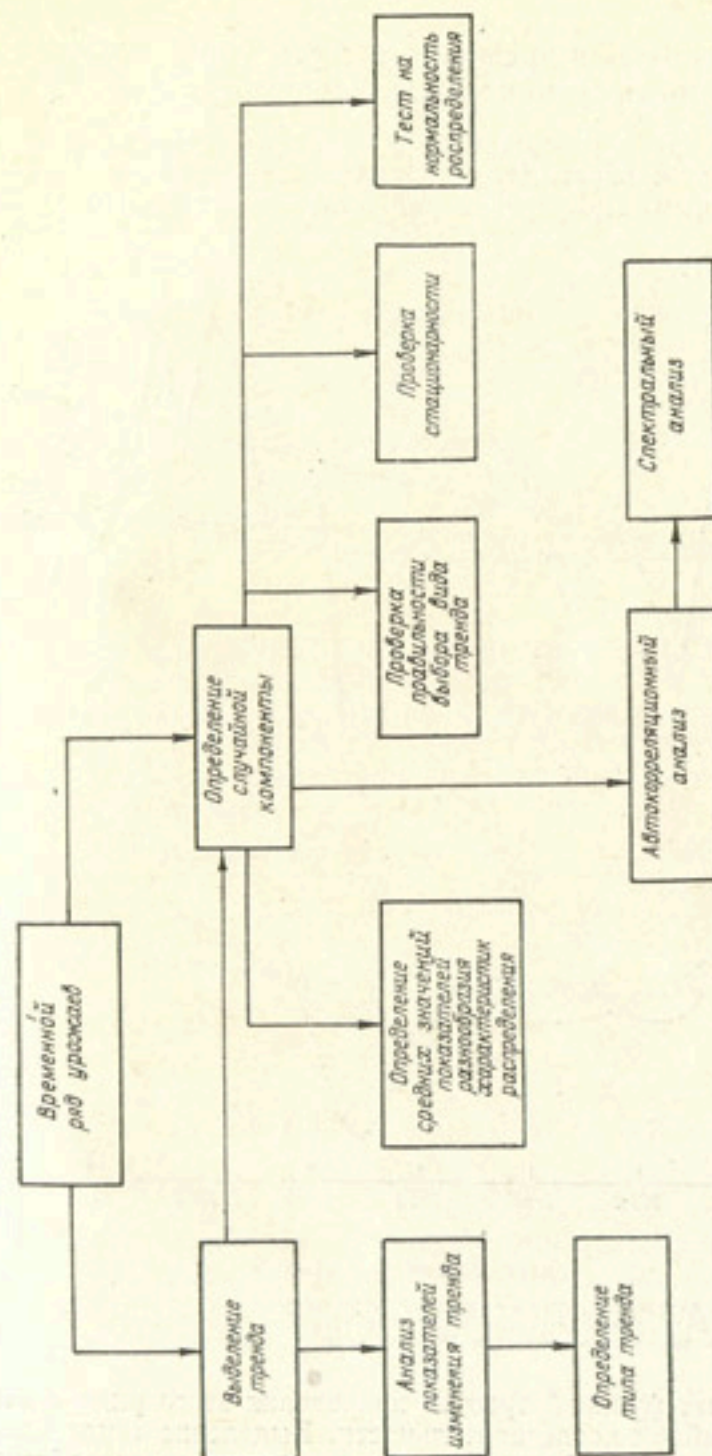


Рис. 1.1. Схема анализа временных рядов урожаев.

Оценка приведения временного ряда урожайности к стационарной случайной последовательности

В настоящее время утверждение о наличии тенденции во временных рядах урожайности, т. е. об их нестационарности, является общепризнанным. Применение для анализа временного ряда тео-

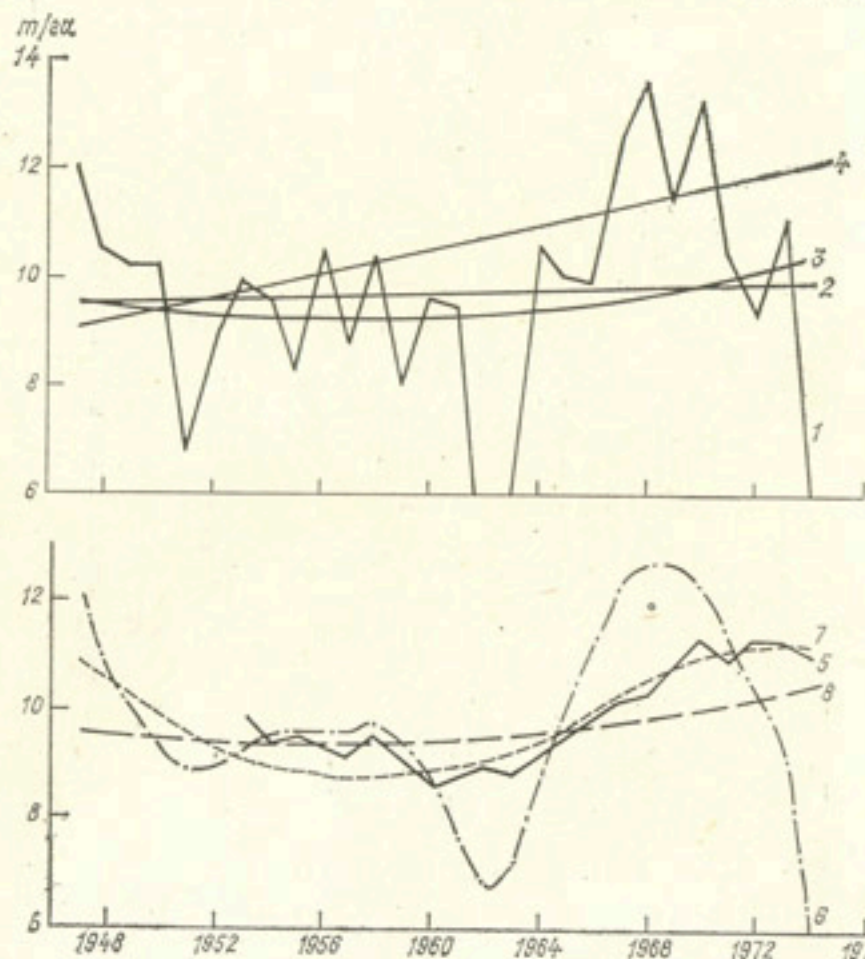


Рис. 1.2. Различные способы сглаживания временного ряда урожайности картофеля. Калужская область.

1 — фактический ряд урожайности, 2 — по уравнению прямой, 3 — по параболе, 4 — по степенной функции, 5 — с помощью скользящего среднего (по десятилетиям), 6 — метод Четверикова [216], 7 — метод гармонических весов, 8 — метод экспоненциального сглаживания.

рии случайных функций требует приведения этого ряда к стационарной случайной последовательности. Выделение тенденции временного ряда может быть выполнено различными способами [39, 82, 122, 129, 159], необходимым условием при этом является

оценка корректности определения тренда и исследование случайной компоненты на стационарность. Необходимость такого исследования хорошо подтверждают приведенные на рис. 1.2 данные, характеризующие сглаживание временного ряда урожайности с помощью различных аппроксимирующих выражений. Из рис. 1.2 нетрудно убедиться, что выбор вида тренда урожайности представляет собой многовариантную процедуру, правильность осуществления которой требует количественной оценки.

1.1. Оценка правильности выбора вида тренда

В качестве объектов исследования рассматривались временные ряды урожайности основных сельскохозяйственных культур по экономическим районам Европейской части РСФСР за 1948—1985 гг. Тенденция урожайности исключалась нами из временных рядов с помощью процедуры сглаживания, являющейся составной частью метода гармонических весов [129, 210, 254]. Эта процедура позволяет отказаться от предположений относительно вида тренда. Сущность указанной процедуры состоит в следующем:

в качестве некоторого приближения $\hat{f}(t)$ истинного тренда $f(t)$ принимаем ломаную линию, сглаживающую заданное число точек временного ряда y_t . Изменяющееся положение отдельных отрезков ломаной линии, представляющей тренд, описывает непрерывные изменения в изучаемом процессе, т. е. его отдельные фазы. Для определения отдельных фаз движения скользящего тренда выбираем число лет, образующих отдельную фазу, причем $k < n$, и с помощью метода наименьших квадратов находим уравнение линейных отрезков

$$y_i(t) = a_i + b_i t \quad (i = 1, 2, \dots, n - k + 1), \quad (1.1)$$

причем

для

$$i = 1, t = 1, 2, \dots, k;$$

для

$$i = 2, t = 2, 3, \dots, k + 1;$$

для

$$i = n - k + 1, t = n - k + 1, n - k + 2, \dots, n.$$

Затем определяем значение каждой функции $y_i(t)$ в точках

$$t = i + h - 1 \quad (h = 1, 2, \dots, k).$$

Из этих значений отбираем те, для которых $t = i$, и через $y_i(t)$ обозначаем функции $y_i(t)$ для $t = i$. Пусть таких значений будет g_i . Средние можно определить по выражению

$$\bar{y}_i(t) = \frac{1}{g_i} \sum_{j=1}^{g_i} y_j(t) \quad (j = 1, 2, \dots, g_i). \quad (1.2)$$

Полное описание метода гармонических весов приведено в главе 6.

При правильном выборе вида тренда отклонения от него будут носить случайный характер.

Для проверки основной гипотезы (изменение случайной величины ε_t не связано с изменением времени) воспользуемся критерием серий, основанным на медиане ε_{med} выборки [210].

Для того чтобы исходный ряд представлял случайную выборку, протяженность $[K_m(n)]$ самой длинной серии (последовательность плюсов или минусов, полученных путем сопоставления каждого члена ряда с медианой) не должна быть слишком большой, а общее число серий $v(n)$ — слишком маленьким. Выборка признается случайной, если выполняется следующее неравенство (для 5 %-ного уровня значимости):

$$\left. \begin{aligned} K_m(n) &< [3,3(\lg n + 1)], \\ v(n) &> \left[\frac{1}{2}(n + 1 - 1,96\sqrt{n-1}) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Чтобы получить левые части неравенств (1.3) из отклонений от тренда $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, образуем для каждого из рассматриваемых экономических районов вариационный ряд $\varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}, \dots, \varepsilon^{(n)}$, где $\varepsilon^{(1)}$ — наименьшее из всех отклонений, а ε_{med} — медиана этого вариационного ряда. Далее получаем последовательность плюсов и минусов по следующему правилу. На i -м месте ($i=1, 2, \dots, n$)

Таблица 1.1
Оценка случайности отклонений урожайности зерновых от тренда.
Поволжский экономический район

Год	ε	ε в убывающем порядке	Серии	Год	ε	ε в убывающем порядке	Серии
1947	1,98	5,82	+	1966	-0,16	0,01	-
1948	-1,36	4,35	-	1967	0,01	-0,16	-
1949	-0,80	4,06	-	1968	2,85	-0,29	+
1950	0,68	3,33	+	1969	-1,51	-0,30	+
1951	0,56	2,85	+	1970	2,81	-0,37	+
1952	1,40	2,81	+	1971	-0,50	-0,50	-
1953	0,44	2,41	+	1972	-4,69	-0,80	-
1954	-1,17	2,07	-	1973	4,35	-1,17	+
1955	-0,30	2,01	-	1974	2,07	-1,36	+
1956	0,22	1,98	+	1975	-7,20	-1,51	-
1957	-3,52	1,40	-	1976	4,06	-1,62	+
1958	2,41	0,75	+	1977	-2,04	-2,04	-
1959	-0,29	0,68	-	1978	5,82	-2,19	+
1960	0,54	0,56	+	1979	-3,13	-3,13	-
1961	-0,37	0,54	-	1980	0,15	-3,52	+
1962	2,01	0,48	+	1981	-3,76	-3,76	-
1963	-1,62	0,44	-	1982	0,75	-4,26	+
1964	0,48	0,22	+	1983	3,33	-4,69	+
1965	-2,19	0,15	-	1984	-4,26	-7,20	-

$\varepsilon_{med} = 0,08$

ставится знак плюс, если i -е наблюдение в исходном ряду превосходит медиану, и знак минус, если оно меньше медианы. Если i -е наблюдение равно медиане, оно опускается. (Пример такого расчета приведен в табл. 1.1 для зерновых культур Поволжского экономического района.) Затем подсчитываем протяженность самой длинной серии $K_m(n)$ и общее число серий $v(n)$ для каждого экономического района. Сравнение (табл. 1.2) левых и правых частей неравенств (1.3) показывает, что оба неравенства справедливы.

Таблица 1.2

Оценка правильности выбора тренда урожайности сельскохозяйственных культур. Поволжский экономический район

Культура	$K_m(n)$	$v(n)$	$3,3(\lg n + 1)$	$\frac{1}{2}(n + 1 - 1,96\sqrt{n-1})$
Зерновые	4	28	8,51	13,54
Озимая пшеница	3	22	8,51	13,54
Яровая пшеница	2	31	8,51	13,54
Озимая рожь	5	20	8,51	13,54
Ячмень	3	28	8,51	13,54
Овес	5	24	8,51	13,54
Кукуруза на зерно	4	22	8,51	13,54
Просо	4	22	8,51	13,54
Гречиха	5	14	8,02	9,003
Зернобобовые	3	19	8,02	9,003
Картофель	4	21	8,51	13,54

Аналогичные расчеты были проведены для временных рядов урожайности основных сельскохозяйственных культур всех союзных республик и экономических районов страны. В результате была принята гипотеза о случайном характере отклонений уровней временного ряда урожайности от тренда. Таким образом, тенденция возрастания урожайности, характеризующая уровень культуры земледелия при средних почвенно-климатических условиях, исключалась из временных рядов правильно.

1.2. Проверка стационарности случайной компоненты

Временные ряды урожайности являются нестационарными квазислучайными последовательностями: их среднее значение и дисперсия изменяются со временем, функция распределения зависит от времени, а значения временного ряда обычно являются взаимосвязанными. При правильном исключении из временных рядов тенденции урожайности случайная компонента этих рядов должна представлять собой стационарную случайную последовательность. Основным условием стационарности случайного процесса в широком смысле [45] является условие постоянства математического

ожидания и зависимости автокорреляционной функции только от величины сдвига разности аргументов $t_i - t_j = \tau$.

Нами рассматривается последовательность случайной компоненты временных рядов урожайности — центрированная случайная последовательность с постоянным математическим ожиданием, равным нулю. Проведем проверку гипотезы ее стационарности. В качестве примера используем данные по Поволжскому экономическому району для его основных сельскохозяйственных культур.

Для случайной компоненты ε_t ($t=1, 2, 3, \dots, n$) найдем значение автокорреляционной функции $r_1^{(n)}, r_2^{(n)}, \dots, r_\tau^{(n)}$. Затем исключим первое наблюдение и вычислим новую автокорреляционную функцию $r_1^{(n-1)}, r_2^{(n-1)}, \dots, r_\tau^{(n-1)}$. Подобным образом исключим k ($k=0, 1, 2, \dots, k$) наблюдений и вычислим значение $k+1$ автокорреляционной функции. В итоге получим τ групп коэффициентов автокорреляции, в каждую из которых будет входить $k+1$ коэффициент.

В табл. 1.3 представлены значения автокорреляционных функций для каждой сельскохозяйственной культуры.

Для проверки однородности коэффициентов автокорреляции, входящих в τ -ю группу для каждого $r_\tau^{(n-k)}$, были рассчитаны значения z -критерия по формуле

$$z_{\tau k} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + r_\tau^{(n-k)}}{1 - r_\tau^{(n-k)}}. \quad (1.4)$$

Далее для каждого сдвига было получено значение

$$\bar{z}_\tau = \sum_{k=0}^{\tau} z_{\tau k} / (\tau + 1). \quad (1.5)$$

Доказано [210], что величина

$$\sum_{k=0}^{\tau} \frac{(z_{\tau k} - \bar{z}_\tau)^2}{1/(n-k-3)} \quad (1.6)$$

распределена как χ^2 с k степенями свободы.

В табл. 1.3 приведены также значения автокорреляционной функции и z -критерия для каждого сдвига. По формуле (1.5) и

(1.6) определены значения $\bar{z}_\tau$ и χ^2 .

Верхняя граница для χ^2 с шестью, а для ряда сельскохозяйственных культур с восемью степенями свободы при 5 %-ном уровне значимости равна соответственно 12,59 и 15,51. Как показывают данные табл. 1.3, все вычисленные значения χ^2 соответственно меньше этих значений. На этом основании может быть принята гипотеза об однородности коэффициентов автокорреляции для каждого сдвига. Следовательно, случайная компонента временных рядов урожайности может рассматриваться как стационарная случайная последовательность. Аналогичные результаты получены нами для остальных экономических районов.

Таблица 1.3

Проверка стационарности отклонений урожайности сельскохозяйственных культур от тренда. Поволжский экономический район

Количество наблюдений	Критерий	Сдвиги							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Зерновые									
38	r	-0,525	0,033	-0,045	0,015	0,024	0,046	-0,099	-0,087
	z	-0,583	0,033	-0,045	0,015	0,024	0,046	-0,099	-0,087
37	r	-0,521	0,040	-0,051	0,009	0,012	0,042	-0,090	-0,086
	z	-0,577	0,040	-0,051	0,009	0,012	0,042	-0,091	-0,086
36	r	-0,527	0,044	-0,048	0,018	0,016	0,036	-0,092	-0,084
	z	-0,586	0,044	-0,048	0,018	0,016	0,036	-0,092	-0,084
35	r	-0,526	0,046	-0,044	0,021	0,012	0,035	-0,091	-0,101
	z	-0,585	0,046	-0,044	0,021	0,012	0,035	-0,091	-0,101
34	r	-0,529	0,042	-0,046	0,023	0,012	0,034	-0,081	-0,110
	z	-0,588	0,042	-0,046	0,023	0,012	0,034	-0,081	-0,111
33	r	-0,534	0,040	-0,043	0,024	0,012	0,041	-0,090	-0,110
	z	-0,596	0,040	-0,043	0,024	0,012	0,041	-0,090	-0,110
32	r	-0,540	0,047	-0,042	0,022	0,033	0,028	-0,089	-0,115
	z	-0,604	0,047	-0,042	0,022	0,033	0,028	-0,089	-0,116
	$\bar{z}$	-0,589	0,042	-0,046	0,019	0,017	0,037	-0,090	-0,099
	χ^2	0,015	0,004	0,002	0,005	0,012	0,007	0,006	0,034
Зернобобовые									
38	r	-0,319	0,146	-0,216	0,017	-0,189	0,171	-0,168	-0,159
	z	-0,330	0,147	-0,219	0,017	-0,191	0,173	-0,170	-0,160
37	r	-0,318	0,141	-0,220	0,028	-0,211	0,175	-0,193	-0,164
	z	-0,330	0,142	-0,225	0,028	-0,214	0,176	-0,196	-0,165
36	r	-0,318	0,145	-0,229	0,034	-0,212	0,187	-0,192	-0,163
	z	-0,330	0,146	-0,233	0,034	-0,216	0,189	-0,194	-0,165
35	r	-0,331	0,161	-0,259	0,038	-0,253	0,181	-0,196	-0,131
	z	-0,344	0,162	-0,265	0,038	-0,259	0,183	-0,199	-0,131
34	r	-0,321	0,144	-0,257	0,008	-0,261	0,179	-0,170	-0,112
	z	-0,333	0,145	-0,262	0,008	-0,267	0,181	-0,171	-0,112
33	r	-0,298	0,139	-0,221	0,018	-0,260	0,127	-0,214	-0,156
	z	-0,308	0,140	-0,224	0,018	-0,266	0,128	-0,217	-0,157
32	r	-0,298	0,076	-0,242	0,010	-0,173	0,196	-0,164	-0,166
	z	-0,307	0,076	-0,247	0,010	-0,175	0,199	-0,166	-0,168
31	r	-0,301	0,079	-0,241	0,006	-0,186	0,193	-0,164	-0,160
	z	-0,310	0,079	-0,246	0,006	-0,188	0,196	-0,165	-0,161
30	r	-0,332	0,074	-0,152	0,063	-0,127	0,203	-0,281	-0,129
	z	-0,345	0,074	-0,154	0,063	-0,128	0,206	-0,289	-0,130
	$\bar{z}$	-0,326	0,124	-0,231	0,023	-0,212	0,181	-0,196	-0,150
	χ^2	0,031	0,190	0,153	0,057	0,320	0,077	0,208	0,064

Анализ динамики тенденции урожайности сельскохозяйственных культур

Результаты исследований динамики тенденции урожайности сельскохозяйственных культур [57, 166, 197] показывают, что полученные оценки с увеличением продолжительности рассматриваемого периода претерпевают изменения. Некоторое отличие этих оценок объективно свидетельствует об изменении факторов сельского хозяйства, а также о различной длительности анализируемых временных рядов урожайности. Вместе с тем это говорит о том, что выявленные закономерности динамики трендов нельзя распространять за пределы рассматриваемых рядов.

Проанализируем изменение тенденции урожайности основных сельскохозяйственных культур в экономических районах Европейской части РСФСР.

2.1. Динамика тенденции урожайности

Среди значительного числа показателей, характеризующих изменение уровней временного ряда (абсолютный прирост, коэффициент роста, коэффициент прироста, темп роста, средняя хронологическая, средний абсолютный прирост, средний темп роста), нами рассматриваются две характеристики:

абсолютный прирост тенденции урожайности ΔY_T

$$\Delta Y_T = Y_{T_i} - Y_{T_{i-k}} \quad (2.1)$$

и темп роста тенденции урожайности T_p

$$T_p = \frac{Y_{T_i}}{Y_{T_{i-k}}} 100 \%, \quad (2.2)$$

где Y_{T_i} — значение тенденции урожайности в i -й год ($i=1, 2, 3, \dots, n$), т/га; $Y_{T_{i-k}}$ — базисный уровень, отстоящий от Y_{T_i} на k лет ($k=5$), т/га.

Численные значения средних характеристик по пятилеткам (за период 1948—1984 гг.) приведены в табл. 2.1. Таблица включает абсолютный прирост тенденции урожайности (т/га), который характеризует знак и величину прироста тенденции по пятилетиям, а также относительную характеристику темпа роста тенденции (по отношению к базисному уровню).

Остановимся более подробно на закономерностях пространственно-временной изменчивости характеристик трендов урожайности основных сельскохозяйственных культур.

Отличительной особенностью тенденции урожайности зерновых культур (табл. 2.1) является увеличение прироста тенденции

от начала рассматриваемого периода (прироста в пределах 0,01—0,08 т/га) до периода 1966—1970 гг. (в Центрально-Черноземном районе это 1961—1965 гг., когда прирост был максимальным — 0,15—0,20 т/га). Затем в период 1976—1984 гг. прирост снижается до 0,05—0,09 т/га, а в Центрально-Черноземном и Поволжском районах — до отрицательных значений; в этих районах темп роста снизился до 98—99 %. В Северо-Кавказском районе прирост тенденции был более высоким.

В 1961—1970 гг. прирост тенденции урожайности был здесь максимальным (0,18—0,20 т/га), но затем постепенно снижался и в конце периода составил 0,06—0,09 т/га, а темп роста снизился до 103—104 %.

Одной из ведущих зерновых культур на рассматриваемой территории является озимая пшеница. В период 1948—1970 гг. темп роста тенденции увеличивался во всех районах от 101—104 до 111—115 %. Максимальный прирост тенденции урожайности в отдельные пятилетки составлял 0,16—0,22 т/га. Затем темп роста замедлился до 103—105 %, хотя прирост тенденции остался высоким — на уровне 0,07—0,12 т/га. Для второй половины периода (1966—1984 гг.) для Северо-Кавказского района характерен наиболее высокий прирост тенденции по сравнению с остальными районами.

Как показывают данные табл. 2.1, закономерности, относящиеся к динамике тенденции урожайности зерновых культур, в целом характерны для всех озимых и ранних яровых зерновых культур, а также кукурузы. Несколько смещаются периоды максимальных приростов, но тенденция к снижению абсолютных приростов тренда, а в некоторых случаях и слабый отрицательный тренд сохраняются.

Из табл. 2.1 следует также, что динамика урожайности проса характеризуется преимущественно положительным трендом. Темп роста тенденции урожайности в течение 1948—1970 гг. был в пределах 102—118 %, а в Центральном районе в отдельные пятилетки составлял 126—130 %. С начала 70-х годов тенденция урожайности проса стабилизировалась практически на одном уровне, лишь в некоторых случаях отмечается небольшой отрицательный тренд.

Тенденция к уменьшению, хотя и не очень существенная, наблюдается и в динамике трендов урожайности гречихи с начала 60-х годов. Темп роста стабилизировался на уровне 90—102 %.

Аналогичная тенденция изменения динамики трендов наблюдается в этот период и в урожайности зернобобовых культур, хотя уровень темпа роста здесь несколько выше и он меньше варьирует от района к району (табл. 2.1).

Для временных рядов урожайности картофеля, как видно из табл. 2.1, характерны, за небольшим исключением, положительные значения тренда. Прирост тенденции урожайности возрастал с начала рассматриваемого периода до 1966—1970 гг. С начала 70-х годов тенденция урожайности картофеля удерживалась

Таблица 2.1
Динамика основных характеристик тенденции урожайности сельскохозяйственных культур по экономическим районам ЕЧ РСФСР (числитель — абсолютный прирост, т/га; знаменатель — темп роста, %)

Экономический район	1948—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1984
Зерновые								
Северо-Западный	$\frac{\Delta y}{y_p}$ 0,0	0,04	0,10	0,14	0,18	0,09	0,08	0,06
Центральный	100	106,8	115,9	119,2	120,7	108,6	107,0	104,9
Волго-Вятский	0,01	0,08	0,11	0,17	0,17	0,10	0,05	0,04
Центрально-Черно-земный	101,6	112,3	115,1	120,2	116,8	108,5	103,9	103,0
Поволжский	0,01	0,05	0,07	0,13	0,15	0,09	0,08	0,06
Северо-Кавказский	101,5	107,5	109,7	116,4	116,3	108,4	106,9	104,8
	0,05	0,14	0,14	0,20	0,16	0,08	0,02	-0,01
	105,2	113,9	112,2	115,5	110,7	104,8	101,2	99,4
	0,05	0,09	0,10	0,13	0,13	0,05	0,04	-0,02
	107,1	112,0	111,9	113,8	112,1	104,2	103,2	0,98
	0,08	0,13	0,13	0,18	0,20	0,10	0,09	0,06
	106,5	109,9	109,0	111,5	111,4	105,1	104,4	102,8
Озимая пшеница								
Северо-Западный	0,01	0,04	0,09	0,13	0,16	0,10	0,07	0,07
Центральный	101,3	105,0	110,7	114,0	115,1	108,0	105,3	105,0
Волго-Вятский	0,01	0,08	0,11	0,19	0,21	0,12	0,09	0,06
Центрально-Черно-земный	101,2	109,2	111,6	117,9	116,8	108,2	105,7	103,6
	0,02	0,07	0,09	0,15	0,17	0,09	0,08	0,05
	102,3	107,9	109,4	114,3	114,2	106,6	105,5	103,2
	0,03	0,14	0,14	0,20	0,21	0,11	0,08	0,04
	102,5	111,5	110,3	113,3	112,4	105,8	103,9	101,9
Яровая пшеница								
Поволжский	0,05	0,13	0,13	0,19	0,19	0,09	0,07	0,02
Северо-Кавказский	105,7	114,1	112,4	116,1	113,9	105,8	104,2	101,2
	0,06	0,12	0,14	0,20	0,2	0,12	0,12	0,07
	104,5	108,6	109,2	112,0	111,8	105,8	105,4	103,0
Озимая рожь								
Северо-Западный	0,01	0,04	0,10	0,15	0,20	0,12	0,11	0,09
Центральный	101,8	107,1	116,7	121,4	123,5	111,4	109,4	107,0
Волго-Вятский	0,03	0,10	0,14	0,20	0,20	0,11	0,05	0,02
Центрально-Черно-земный	105,3	116,7	120,0	123,8	119,2	108,9	103,7	101,4
Поволжский	0,02	0,06	0,09	0,16	0,20	0,11	0,11	0,07
Северо-Кавказский	103,1	109,1	112,5	119,8	120,6	109,4	108,6	105,0
	0,04	0,14	0,15	0,20	0,17	0,08	0,00	-0,04
	105,1	117,1	115,6	118,0	113,0	105,4	100,0	0,97
	0,06	0,09	0,09	0,13	0,11	0,05	0,04	-0,03
	109,2	112,7	111,2	114,6	110,8	104,4	103,4	0,98
	0,04	0,06	0,08	0,11	0,09	0,05	-0,01	-0,02
	105,1	107,3	109,1	111,4	108,4	104,3	0,99	0,98
Озимая рожь								
Северо-Западный	0,00	0,04	0,07	0,11	0,13	0,08	0,06	0,03
Центральный	100,0	106,2	110,3	114,7	115,1	108,1	105,6	102,6
Волго-Вятский	0,00	0,04	0,07	0,10	0,12	0,06	0,04	0,05
Центрально-Черно-земный	100,0	105,8	109,6	112,5	113,3	105,9	103,7	104,5
Поволжский	0,00	0,04	0,04	0,06	0,08	0,05	0,06	0,02
Северо-Кавказский	100,0	105,4	105,1	107,3	109,1	105,2	105,9	101,9
	0,00	0,08	0,10	0,14	0,15	0,07	0,05	0,04
	100,0	108,2	109,5	112,2	111,6	104,9	103,3	102,6
	0,02	0,07	0,07	0,09	0,11	0,04	0,05	0,03
	102,4	108,1	107,5	109,0	110,1	103,3	104,0	102,3
	0,01	0,05	0,07	0,10	0,12	0,07	0,07	0,03
	101,3	106,3	108,3	110,9	111,9	106,2	105,8	102,4

Экономический район	1948—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1984
Яровой ячмень								
Северо-Западный	$\frac{0,01}{101,6}$	$\frac{0,07}{110,8}$	$\frac{0,11}{115,3}$	$\frac{0,16}{119,3}$	$\frac{0,17}{117,2}$	$\frac{0,08}{106,9}$	$\frac{0,06}{104,8}$	$\frac{0,04}{103,1}$
Центральный	$\frac{0,05}{107,8}$	$\frac{0,13}{118,8}$	$\frac{0,16}{119,5}$	$\frac{0,23}{123,5}$	$\frac{0,20}{116,5}$	$\frac{0,10}{107,1}$	$\frac{0,02}{101,3}$	$\frac{0,02}{101,3}$
Волго-Вятский	$\frac{0,01}{101,5}$	$\frac{0,07}{110,1}$	$\frac{0,11}{114,5}$	$\frac{0,18}{120,7}$	$\frac{0,21}{120,0}$	$\frac{0,11}{108,7}$	$\frac{0,10}{107,3}$	$\frac{0,06}{104,1}$
Центрально-Черно- земный	$\frac{0,07}{106,7}$	$\frac{0,18}{116,1}$	$\frac{0,14}{110,8}$	$\frac{0,21}{114,6}$	$\frac{0,15}{109,1}$	$\frac{0,06}{103,3}$	$\frac{-0,01}{99,9}$	$\frac{-0,04}{98,9}$
Поволжский	$\frac{0,08}{111,3}$	$\frac{0,12}{115,2}$	$\frac{0,10}{110,9}$	$\frac{0,14}{113,9}$	$\frac{0,10}{108,7}$	$\frac{0,04}{103,2}$	$\frac{0,00}{100,0}$	$\frac{-0,05}{99,6}$
Северо-Кавказский	$\frac{0,07}{106,2}$	$\frac{0,11}{107,6}$	$\frac{0,07}{105,5}$	$\frac{0,11}{108,1}$	$\frac{0,08}{105,5}$	$\frac{0,04}{102,6}$	$\frac{0,01}{100,6}$	$\frac{0,01}{100,6}$

Овес

Северо-Западный	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{0,05}{109,2}$	$\frac{0,10}{116,9}$	$\frac{0,16}{123,2}$	$\frac{0,18}{121,2}$	$\frac{0,10}{109,7}$	$\frac{0,09}{107,9}$	$\frac{0,05}{104,1}$
Центральный	$\frac{0,01}{101,6}$	$\frac{0,08}{112,3}$	$\frac{0,12}{116,4}$	$\frac{0,18}{121,2}$	$\frac{0,18}{117,5}$	$\frac{0,09}{107,4}$	$\frac{0,06}{104,6}$	$\frac{0,04}{102,9}$
Волго-Вятский	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{0,06}{109,8}$	$\frac{0,10}{114,9}$	$\frac{0,15}{119,5}$	$\frac{0,18}{119,6}$	$\frac{0,10}{109,1}$	$\frac{0,10}{108,3}$	$\frac{0,07}{105,4}$
Центрально-Черно- земный	$\frac{0,06}{106,5}$	$\frac{0,14}{114,3}$	$\frac{0,14}{112,5}$	$\frac{0,19}{115,1}$	$\frac{0,15}{110,3}$	$\frac{0,06}{103,8}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,03}{98,9}$

Поволжский

$\frac{0,04}{105,7}$	$\frac{0,13}{117,6}$	$\frac{0,13}{114,9}$	$\frac{0,19}{119,0}$	$\frac{0,18}{115,1}$	$\frac{0,08}{105,8}$	$\frac{0,05}{103,4}$	$\frac{-0,03}{98,9}$
$\frac{0,08}{107,7}$	$\frac{0,08}{107,1}$	$\frac{0,06}{105,0}$	$\frac{0,09}{107,1}$	$\frac{0,07}{105,2}$	$\frac{0,03}{102,1}$	$\frac{0,02}{101,4}$	$\frac{0,01}{100,7}$

Северо-Кавказский**Кукуруза на зерно**

Центрально-Черно- земный	$\frac{0,07}{106,0}$	$\frac{0,17}{113,8}$	$\frac{0,10}{107,1}$	$\frac{0,15}{110,0}$	$\frac{0,08}{104,8}$	$\frac{0,02}{101,2}$	$\frac{-0,03}{98,3}$	$\frac{0,00}{100,0}$
Поволжский	$\frac{0,04}{107,4}$	$\frac{0,14}{124,1}$	$\frac{0,09}{112,5}$	$\frac{0,12}{114,8}$	$\frac{0,10}{110,8}$	$\frac{0,03}{102,9}$	$\frac{0,05}{104,7}$	$\frac{0,04}{103,6}$
Северо-Кавказский	$\frac{0,14}{110,1}$	$\frac{0,23}{115,1}$	$\frac{0,17}{109,7}$	$\frac{0,29}{115,1}$	$\frac{0,25}{111,3}$	$\frac{0,14}{105,7}$	$\frac{0,09}{103,5}$	$\frac{0,08}{103,0}$

Просо

Центральный	$\frac{0,02}{105,9}$	$\frac{0,11}{130,6}$	$\frac{0,12}{125,5}$	$\frac{0,12}{120,3}$	$\frac{0,07}{109,8}$	$\frac{0,01}{101,3}$	$\frac{-0,07}{99,1}$	$\frac{-0,04}{99,4}$
Волго-Вятский	$\frac{0,01}{102,4}$	$\frac{0,04}{109,5}$	$\frac{0,06}{113,0}$	$\frac{0,05}{109,5}$	$\frac{0,01}{101,8}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,05}{99,1}$	$\frac{-0,03}{99,4}$
Центрально-Черно- земный	$\frac{0,06}{108,9}$	$\frac{0,13}{117,8}$	$\frac{0,09}{110,5}$	$\frac{0,10}{110,5}$	$\frac{0,02}{101,9}$	$\frac{-0,01}{99,9}$	$\frac{-0,09}{99,2}$	$\frac{-0,07}{99,3}$
Поволжский	$\frac{0,05}{111,6}$	$\frac{0,09}{118,8}$	$\frac{0,07}{112,3}$	$\frac{0,09}{114,1}$	$\frac{0,06}{108,2}$	$\frac{0,03}{103,8}$	$\frac{-0,01}{99,9}$	$\frac{-0,02}{98,9}$
Северо-Кавказский	$\frac{0,05}{108,1}$	$\frac{0,05}{107,5}$	$\frac{0,06}{108,3}$	$\frac{0,07}{109,0}$	$\frac{0,05}{105,9}$	$\frac{0,03}{103,3}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{0,0}{100,0}$

Экономический район	1959—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1984
Гречиха						
Центральный	$\frac{0,01}{102,2}$	$\frac{-0,01}{0,98}$	$\frac{-0,02}{0,96}$	$\frac{-0,01}{0,98}$	$\frac{-0,02}{0,96}$	$\frac{-0,04}{0,90}$
Волго-Вятский	$\frac{0,01}{102,7}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,02}{0,95}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,02}{0,94}$	$\frac{-0,05}{0,85}$
Центрально-Черноземный	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,03}{0,95}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,03}{0,95}$	$\frac{-0,06}{0,89}$
Поволжский	$\frac{0,02}{103,8}$	$\frac{0,04}{107,4}$	$\frac{0,01}{101,7}$	$\frac{0,01}{101,7}$	$\frac{0,01}{101,7}$	$\frac{-0,03}{0,95}$
Северо-Кавказский	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{-0,01}{0,98}$	$\frac{-0,01}{0,98}$	$\frac{-0,02}{0,97}$	$\frac{-0,02}{0,97}$

Зернобобовые

Северо-Западный	$\frac{0,03}{104,4}$	$\frac{0,05}{107,0}$	$\frac{0,04}{105,3}$	$\frac{0,02}{102,5}$	$\frac{0,03}{103,6}$	$\frac{0,04}{104,7}$
Центральный	$\frac{0,02}{102,3}$	$\frac{0,04}{104,5}$	$\frac{0,0}{100,0}$	$\frac{0,01}{101,1}$	$\frac{-0,01}{0,99}$	$\frac{0,01}{101,1}$
Волго-Вятский	$\frac{0,02}{102,2}$	$\frac{0,07}{107,6}$	$\frac{0,04}{104,0}$	$\frac{0,02}{101,9}$	$\frac{0,06}{105,7}$	$\frac{0,02}{101,8}$

Центрально-Черноземный

Поволжский	$\frac{0,03}{102,3}$	$\frac{0,07}{105,3}$	$\frac{-0,01}{0,99}$	$\frac{0,02}{101,4}$	$\frac{-0,03}{0,98}$	$\frac{-0,06}{0,96}$
Северо-Кавказский	$\frac{0,03}{102,6}$	$\frac{0,05}{104,3}$	$\frac{0,01}{100,8}$	$\frac{0,01}{100,8}$	$\frac{0,01}{100,8}$	$\frac{-0,05}{0,96}$
	$\frac{0,04}{103,2}$	$\frac{0,08}{106,2}$	$\frac{0,04}{102,9}$	$\frac{0,02}{101,4}$	$\frac{0,05}{103,5}$	$\frac{0,04}{102,7}$

Экономический район	1948—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1984
---------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Картофель

Северо-Западный	$\frac{0,16}{101,7}$	$\frac{0,65}{106,7}$	$\frac{0,64}{106,2}$	$\frac{0,88}{108,0}$	$\frac{0,84}{107,1}$	$\frac{0,41}{103,2}$	$\frac{0,30}{102,3}$	$\frac{0,06}{100,4}$
Центральный	$\frac{-0,14}{98,0}$	$\frac{0,28}{103,0}$	$\frac{0,33}{103,4}$	$\frac{0,46}{104,7}$	$\frac{0,42}{104,1}$	$\frac{0,20}{101,9}$	$\frac{0,02}{100,2}$	$\frac{-0,12}{99,0}$
Волго-Вятский	$\frac{0,05}{99,0}$	$\frac{0,26}{102,6}$	$\frac{0,20}{101,9}$	$\frac{0,33}{103,1}$	$\frac{0,22}{102,0}$	$\frac{0,12}{101,1}$	$\frac{-0,05}{99,0}$	$\frac{-0,06}{99,0}$
Центрально-Черноземный	$\frac{-0,20}{98,0}$	$\frac{0,15}{101,7}$	$\frac{0,20}{102,2}$	$\frac{0,29}{103,1}$	$\frac{0,21}{102,2}$	$\frac{0,07}{100,7}$	$\frac{-0,09}{99,0}$	$\frac{-0,09}{99,0}$
Поволжский	$\frac{0,04}{100,5}$	$\frac{0,42}{105,1}$	$\frac{0,46}{105,3}$	$\frac{0,62}{106,8}$	$\frac{0,50}{105,1}$	$\frac{0,21}{102,0}$	$\frac{0,01}{100,1}$	$\frac{-0,13}{99,0}$
Северо-Кавказский	$\frac{0,09}{101,6}$	$\frac{0,40}{106,8}$	$\frac{0,40}{106,4}$	$\frac{0,59}{108,8}$	$\frac{0,54}{107,4}$	$\frac{0,28}{103,6}$	$\frac{0,11}{101,4}$	$\frac{0,07}{100,0}$

практически на одном уровне. Темп роста тренда урожайности картофеля колебался в пределах 99—103 %.

Анализ динамики тенденции урожайности основных сельскохозяйственных культур в течение 1948—1984 гг. указывает на различный ее характер у разных групп культур. Особенности в динамике тенденции урожайности всех сельскохозяйственных культур начиная с 70-х годов объяснимы воздействием на сельскохозяйственное производство часто повторяющихся крупномасштабных неблагоприятных погодных условий, которые были характерны для трех последних пятилеток. Это воздействие замедлило, а в некоторых районах и стабилизировало на одном уровне тенденцию урожайности сельскохозяйственных культур.

Представленные выше соображения описывают только самые общие черты динамики тенденции урожайности в экономических районах ЕЧ РСФСР по пятилеткам. Для более детального изучения этой проблемы необходим анализ по каждому экономическому району на уровне среднеобластной урожайности с привлечением информации об агротехнике возделывания конкретной сельскохозяйственной культуры. Следует еще раз подчеркнуть, что установленные закономерности относятся только к временному интервалу 1948—1984 гг. и их нельзя распространять за пределы рассматриваемых рядов.

2.2. Типы динамики тенденции урожайности

Сложная картина изменчивости тенденции урожайности сельскохозяйственных культур, обусловленная взаимодействием факторов агротехники и климата, требует установления общих закономерностей в динамике трендов. Выделение сходных тенденций урожайности, их классификация позволит упорядочить все многообразие получаемых трендов, объединить районы (области) с одинаковой динамикой тенденции и провести на этой основе более глубокий анализ причин, определяющих изменение уровня тенденции урожайности. Среди признаков, по которым возможна классификация динамики тенденции урожайности временных рядов, остановимся на двух: первой производной тенденции временных рядов — приросте тренда и второй производной — ускорении прироста тенденции урожайности. Они позволяют выделить периоды максимального и минимального ускорения, его отсутствие и соответственно определить границы между линейными и экспоненциальными участками кривых тенденции урожайности.

На их основе можно выделить четыре типа динамики тенденции урожайности сельскохозяйственных культур.

Тип Ia (линейный рост): кривая тенденции характеризуется стабильной положительной скоростью роста тенденции урожайности и отсутствием (или минимальными значениями) на отдельных участках тренда ускорения.

Тип Ib (линейный рост): для кривой этого вида характерно стабильное снижение уровня тенденции урожайности — отрицательная скорость роста тенденции.

Тип II (рост с уменьшением темпов): для кривой характерен устойчивый рост тенденции урожайности с последующим замедлением.

Тип III (параболическая кривая): первоначально интенсивный рост, затем замедление и отрицательная скорость роста тенденции.

Тип IVa (S-образная кривая): невысокий начальный экспоненциальный или почти экспоненциальный рост, линейный участок роста и последующее уменьшение темпов роста.

Тип IVb (S-образная кривая): интенсивный начальный экспоненциальный рост, линейный участок роста и последующее снижение темпов роста.

В соответствии с выделенными типами тенденции урожайности нами проведена классификация трендов урожайности основных сельскохозяйственных культур по рассматриваемым экономическим районам (табл. 2.2).

Таблица 2.2
Классификация тенденции урожайности сельскохозяйственных культур

Культура	Экономический район					
	Северо-Западный	Центральный	Волго-Вятский	Центрально-Черноземный	Поволжский	Северо-Кавказский
Зерновые	IVa	IVb	IVa	II	II	II
Озимая пшеница	IVa	IVb	IVa	II	IVb	II
Яровая пшеница	IVa	IVb	IVa	IVb	II	II
Озимая рожь	IVa	IVa	IVa	IVb	IVa	IVa
Яровой ячмень	IVb	IVb	IVb	II	II	II
Овес	IVa	IVb	IVb	IVb	IVb	Ia
Кукуруза	—	—	—	II	II	II
Просо	—	IVb	III	III	II	II
Гречиха	—	16	16	16	II	16
Зернобобовые	16	16	16	16	16	16
Картофель	IVa	II	16	16	IVa	IVa

Как видно из табл. 2.2, наиболее часто встречающимся типом динамики тенденции урожаев является тип IV. Существенно реже наблюдается тип II, еще реже — типы I и III.

Многолетние изменения тенденции урожайности зерновых культур в целом, а также озимых и ранних яровых зерновых культур, кукурузы, характеризуются типами II и IV динамики тренда. Более пестрая картина наблюдается в динамике тенденции урожайности проса и картофеля.

Обращает на себя внимание, что для трех сельскохозяйственных культур тенденция урожайности изменяется по типу Ib:

гречихи (Центральный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский), зернобобовых (Северо-Западный, Центральный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский) и картофеля (Волго-Вятский и Центрально-Черноземный экономические районы). Как было указано выше, этому типу динамики тенденции присуща устойчивая отрицательная скорость роста тренда урожайности.

Глава 3

Анализ случайной компоненты временных рядов урожайности

Последовательность случайных отклонений урожайности от тренда является вероятностным процессом с дискретным временем, так как время принимает только целочисленные значения — номер лет. Применим для анализа урожайности аппарат теории случайных функций [3, 46, 51, 162, 221].

3.1. Оценка статистических характеристик случайной компоненты

При описании свойств последовательности случайных отклонений урожайности от тренда нами рассматривались известные [126] статистические параметры: математическое ожидание μ , среднее квадратическое отклонение σ , медиана Me , мода Mo , показатели асимметрии C_a и эксцесса C_e , коэффициент вариации C_v . Изучалась последовательность случайной компоненты временных рядов в виде урожайности преобразованного исключением тренда временного ряда, выраженная в процентах от значений исходного уровня урожайности, что позволяет сравнивать полученные результаты.

Вычисленные статистические характеристики случайной компоненты временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур по экономическим районам ЕЧ РСФСР представлены в табл. 3.1.

Как видно из данных табл. 3.1, математическое ожидание случайной компоненты для зерновых культур в целом, озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ячменя, овса, зерновых, кукурузы и картофеля составляет 92—100 % от тренда, для гречихи и проса оно несколько меньше — 87—92 %, но в Северо-Кавказском районе оно возрастает для гречихи до 96 %.

Оценки медианы показывают, что снижение урожайности, вызванное неблагоприятными погодными условиями, наблюдается более часто, чем повышение, в результате благоприятного сочетания термического и водного режимов. За небольшим исключением значения медианы случайной компоненты составляют менее 100 % от тренда, а для гречихи и проса они еще ниже. Так, значения

Таблица 3.1

Основные статистические характеристики случайной компоненты временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур по экономическим районам ЕЧ РСФСР (% от тренда)

Экономический район	Математическое ожидание μ	Среднее квадратическое отклонение σ	Медиана Me	Мода Mo	Показатели		Коэффициент вариации C_v
					асимметрии C_a	эксцесса C_e	
Зерновые							
Северо-Западный	99,8	18,9	98,9	116,4	0,15	-1,27	19,0
Центральный	96,3	20,48	97,3	98,9	-0,15	-0,7	21,3
Волго-Вятский	99,2	20,0	98,1	96,6	0,15	-0,9	20,2
Центрально-Черноземный	93,0	22,7	94,4	101,5	-0,19	-1,1	24,4
Поволжский	94,2	26,8	92,5	104,2	0,19	-0,7	28,5
Северо-Кавказский	96,3	21,2	96,3	109,5	0,0	-1,1	22,0
Озимая пшеница							
Северо-Западный	99,9	17,9	103,3	111,1	-0,56	-0,3	17,9
Центральный	97,3	19,9	96,3	84,8	0,15	-0,1	20,5
Волго-Вятский	97,8	27,6	95,5	73,8	0,25	0,1	28,3
Центрально-Черноземный	95,2	24,7	97,2	104,4	-0,25	-0,5	25,9
Поволжский	92,3	33,4	86,0	79,8	0,56	-0,9	36,2
Северо-Кавказский	97,3	19,9	97,3	109,7	0,0	-1,1	20,4
Яровая пшеница							
Северо-Западный	100,7	21,8	104,8	114,3	-0,562	-1,0	21,7
Центральный	93,3	24,3	93,3	72,0	0,0	-0,7	26,0
Центрально-Черноземный	92,2	26,7	90,6	95,6	0,187	-0,2	29,0
Поволжский	93,6	28,8	96,5	104,4	-0,300	-0,4	30,8
Северо-Кавказский	94,5	32,2	85,3	82,5	0,857	0,2	34,0
Гречиха							
Центральный	89,3	42,0	80,6	73,6	0,62	-0,5	47,0
Волго-Вятский	88,0	54,7	77,8	94,9	0,60	1,9	62,1
Центрально-Черноземный	91,6	38,8	80,2	67,3	0,90	-0,5	42,4
Поволжский	92,4	43,1	84,3	76,2	0,60	1,3	46,7
Северо-Кавказский	96,3	34,5	100,6	109,3	-0,3	-0,2	35,8
Просо							
Центральный	87,8	49,0	75,5	69,4	0,80	-0,4	55,8
Волго-Вятский	92,4	46,8	92,4	133,4	0,0	0,9	50,7
Центрально-Черноземный	88,6	36,2	85,5	65,9	0,25	0,5	40,9
Поволжский	91,2	42,3	91,2	96,5	0,0	0,7	46,4
Северо-Кавказский	94,1	39,9	94,1	109,0	0,0	-0,3	42,4
Кукуруза на зерно							
Центрально-Черноземный	94,1	26,0	96,2	123,3	-0,25	-0,8	27,6
Поволжский	94,7	47,8	94,7	112,6	0,00	-1,0	50,4
Северо-Кавказский	95,6	24,2	94,1	86,6	0,19	-0,7	25,0

Экономический район	Математическое ожидание $\bar{y}$	Среднее квадратическое отклонение σ	Медиана Me	Мода Mo	Показатели		Коэффициент вариации C_v
					асимметрии C_s	экссесса C_e	
Картофель							
Северо-Западный	99,0	15,9	99,6	101,0	-0,11	-0,6	16,0
Центральный	100,1	18,1	102,8	111,4	-0,45	-0,6	18,1
Волго-Вятский	99,8	21,8	100,9	108,0	-0,15	0,1	21,8
Центрально-Черноземный	101,2	21,8	104,8	103,9	-0,50	-0,6	21,6
Поволжский	98,4	21,6	100,2	106,5	-0,25	0,4	22,0
Северо-Кавказский	98,7	14,0	95,2	90,0	0,75	-1,2	14,2
Озимая рожь							
Северо-Западный	99,9	16,1	101,2	101,9	-0,25	-0,1	16,1
Центральный	98,9	15,9	98,9	100,9	0,0	0,1	16,1
Волго-Вятский	100,1	18,2	102,4	102,4	-0,38	-1,1	18,2
Центрально-Черноземный	96,9	20,1	95,6	99,4	0,20	-0,4	20,8
Поволжский	96,9	22,1	95,1	94,2	0,25	-0,1	22,8
Северо-Кавказский	98,9	23,5	98,9	119,4	0,0	-0,7	23,7
Зернобобовые							
Северо-Западный	95,3	31,5	96,6	130,8	-0,12	-0,9	33,0
Центральный	92,5	28,9	96,2	110,6	-0,38	-0,3	31,2
Волго-Вятский	94,7	29,4	91,9	127,8	0,28	-1,5	31,0
Центрально-Черноземный	92,3	27,8	96,6	102,6	-0,50	-0,9	29,9
Поволжский	92,9	27,3	98,0	103,1	-0,56	-1,1	29,3
Северо-Кавказский	97,4	25,7	92,6	87,8	0,56	-1,1	26,4
Яровой ячмень							
Северо-Западный	98,2	21,8	98,2	111,8	0,00	-0,9	22,2
Центральный	92,1	25,8	94,0	95,3	-0,21	-0,6	28,0
Волго-Вятский	97,4	26,5	95,8	74,2	0,19	-1,0	27,2
Центрально-Черноземный	91,2	29,7	93,7	94,9	-0,25	-0,4	32,5
Поволжский	91,2	38,2	93,1	105,5	-0,15	-1,0	41,8
Северо-Кавказский	95,6	26,7	93,9	72,2	0,19	-0,7	27,9
Овес							
Северо-Западный	99,8	21,3	98,4	123,7	0,19	-1,2	21,3
Центральный	96,2	23,6	94,3	93,3	0,25	-0,4	24,5
Волго-Вятский	98,9	27,8	99,7	102,3	-0,09	-0,4	28,1
Центрально-Черноземный	93,1	26,6	88,6	83,1	0,50	-0,4	28,5
Поволжский	93,6	27,8	93,6	104,1	0,00	-1,1	29,7
Северо-Кавказский	96,5	27,8	98,9	113,9	-0,25	-1,1	28,8

медианы для гречихи составляют 78—84 % (за исключением Северо-Кавказского района), для проса 76—94 %.

На основании данных табл. 3.1 можно сделать вывод о значительной вариабельности случайной компоненты временных рядов урожайности. Изменчивость урожаев будем оценивать согласно классификации В. М. Пасова.

Для зерновых культур в целом коэффициенты вариации случайной компоненты удерживаются в пределах 19—22 % (для Центрально-Черноземного и Поволжского районов 24—28 %). Рассматриваемая территория может быть отнесена к зоне умеренно-устойчивых урожаев.

Среди озимых культур озимая рожь отличается большей устойчивостью урожаев: коэффициент вариации отклонений урожайности от тренда для этой культуры составляет 16—24 %, тогда как для озимой пшеницы он колеблется в пределах 18—36 %.

Можно выделить группу сельскохозяйственных культур (ранние яровые зерновые и зернобобовые), территория возделывания которых может быть отнесена к зоне умеренно-устойчивых урожаев. Для этих культур коэффициент вариации случайной компоненты находится в пределах 21—33 %, за исключением Поволжского района, где он составляет 42 %.

Значительная изменчивость присуща случайной компоненте временных рядов урожайности гречихи, проса и кукурузы. Коэффициент вариации для гречихи колеблется от 36 до 47 %, проса — от 42 до 56 %. Весьма значительна вариация отклонений урожайности от тренда в Поволжском районе. Районы, в которых возделываются эти культуры, могут быть отнесены (применительно к их возделыванию) к зоне неустойчивых урожаев.

Наибольшей стабильностью отличается урожайность картофеля. Для этой культуры характерны минимальные коэффициенты вариации отклонений урожайности от тренда (14—22 %).

Оценка характера распределения случайной компоненты по показателям асимметрии и эксцесса, а также по критерию χ^2 показала, что в преобладающем числе случаев нет достаточных оснований для того, чтобы отвергнуть гипотезу о нормальном распределении.

3.2. Анализ внутрирядных связей

Статистический анализ временных рядов урожайности методами теории случайных процессов, достаточно полный обзор которых приведен в [122, 129, 139, 159], позволил выработать определенные представления о характере изменения во времени структуры временных рядов урожайности. С учетом этих закономерностей создан ряд авторегрессионных моделей различного типа для прогнозирования урожайности [289].

Характер внутрирядных связей, для описания которых использовалась автокорреляционная функция, выступал в качестве граничных условий при выборе вида авторегрессионной модели.

Таблица 3.2
Автокорреляционные функции случайной компоненты временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур

Экономический район	Сдвиги, число лет							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Зерновые								
Северо-Западный	0,006	0,130	-0,205	-0,267	-0,240	0,077	-0,198	0,004
Центральный	0,241	0,057	-0,477	-0,236	-0,256	-0,027	-0,019	-0,023
Волго-Вятский	-0,052	-0,127	-0,220	-0,159	-0,129	0,161	-0,079	-0,121
Центрально-Черноземный	-0,304	-0,039	-0,127	0,076	-0,021	-0,246	0,218	-0,229
Поволжский	-0,588	0,042	-0,046	0,019	0,017	0,037	-0,090	-0,099
Северо-Кавказский	-0,376	-0,180	0,014	0,208	-0,166	-0,107	0,094	0,176
Озимая пшеница								
Северо-Западный	0,043	0,265	-0,121	0,050	-0,586	-0,264	-0,339	-0,223
Центральный	0,228	0,004	0,009	0,008	0,002	0,013	0,003	0,012
Волго-Вятский	-0,434	0,170	-0,361	0,215	-0,275	0,077	0,119	-0,100
Центрально-Черноземный	-0,277	0,046	-0,294	0,153	-0,131	-0,134	0,083	-0,008
Поволжский	-0,483	0,102	-0,144	0,086	-0,032	-0,183	0,012	0,019
Северо-Кавказский	-0,306	-0,192	-0,055	0,097	0,007	-0,150	-0,026	0,295

Яровая пшеница

Северо-Западный	0,141	-0,018	-0,464	-0,458	-0,233	0,278	0,121	0,300
-----------------	-------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------

Центральный

Волго-Вятский	0,008	0,214	-0,477	0,020	-0,230	-0,840	-0,087	-0,052
Центрально-Черноземный	-0,163	-0,066	-0,210	0,032	-0,062	-0,040	0,054	-0,428
Поволжский	-0,149	-0,171	-0,076	0,107	-0,0005	-0,327	0,129	-0,175
Северо-Кавказский	-0,490	0,033	-0,066	-0,016	-0,035	0,070	-0,119	-0,077
	-0,449	-0,056	0,108	0,135	-0,293	-0,019	0,151	-0,206

Озимая рожь

Северо-Западный	-0,136	-0,005	-0,017	0,107	-0,253	-0,051	-0,344	0,105
Центральный	0,101	-0,062	0,004	-0,274	-0,176	0,003	-0,634	-0,143
Волго-Вятский	-0,242	-0,095	-0,125	0,163	-0,104	-0,189	-0,073	-0,003
Центрально-Черноземный	-0,024	-0,188	-0,052	0,100	-0,045	-0,250	-0,307	-0,312
Поволжский	-0,477	0,157	-0,270	-0,022	0,169	-0,287	0,121	-0,170
Северо-Кавказский	-0,280	-0,546	0,283	0,242	-0,266	-0,195	0,253	0,066

Ячмень

Северо-Западный	0,143	0,254	-0,295	-0,447	-0,338	-0,065	-0,123	0,115
Центральный	0,247	0,093	-0,576	-0,401	-0,215	-0,050	0,206	0,052
Волго-Вятский	0,004	-0,0005	-0,336	-0,258	0,010	0,006	-0,088	-0,136
Центрально-Черноземный	-0,264	-0,041	-0,066	-0,072	0,072	-0,228	0,139	-0,202
Поволжский	-0,610	-0,005	0,073	0,048	-0,122	-0,230	-0,270	-0,046
Северо-Кавказский	-0,452	-0,024	-0,051	0,254	-0,408	0,148	0,110	0,002

Сдвиги, число лет

Экономический район	1	2	3	4	5	6	7	8
Овес								
Северо-Западный	-0,063	0,040	-0,086	-0,184	-0,147	0,135	-0,286	-0,082
Центральный	0,151	0,177	-0,437	-0,226	-0,254	-0,073	0,054	-0,046
Волго-Вятский	0,030	0,017	-0,146	-0,398	-0,181	0,030	0,031	-0,227
Центрально-Черноземный	-0,232	-0,003	-0,007	-0,016	-0,110	-0,166	0,011	-0,441
Поволжский	-0,276	-0,120	0,029	-0,026	-0,239	0,096	-0,118	-0,237
Северо-Кавказский	-0,473	-0,197	0,042	0,395	-0,478	-0,029	0,438	-0,049
Кукуруза на зерно								
Центрально-Черноземный	-0,193	-0,089	0,090	-0,299	-0,262	0,028	0,009	-0,083
Поволжский	-0,272	-0,089	0,022	0,216	-0,413	0,003	-0,112	0,0003
Северо-Кавказский	-0,116	-0,095	-0,088	-0,262	-0,294	0,094	-0,130	0,120
Просо								
Центральный	0,306	0,074	-0,143	0,036	-0,066	-0,426	-0,469	-0,378
Волго-Вятский	0,418	0,045	-0,292	-0,296	-0,309	-0,216	-0,102	-0,216
Центрально-Черноземный	-0,088	0,046	-0,402	0,189	-0,128	-0,263	-0,073	-0,014
Поволжский	-0,291	-0,237	0,113	-0,234	0,059	0,137	-0,079	-0,134
Северо-Кавказский	-0,339	-0,146	-0,223	0,304	-0,024	-0,114	-0,110	0,169

Гречиха

Центральный	0,067	-0,038	0,206	-0,078	-0,295	-0,028	-0,407	-0,539
Волго-Вятский	-0,230	-0,067	0,019	-0,324	0,123	0,135	-0,162	-0,197
Центрально-Черноземный	-0,060	0,096	-0,228	-0,105	-0,083	0,018	-0,057	-0,478
Поволжский	-0,060	-0,407	-0,083	-0,235	0,199	0,307	-0,220	-0,279
Северо-Кавказский	-0,092	-0,353	0,037	0,176	-0,168	-0,126	0,053	-0,269

Зернобобовые

Северо-Западный	0,268	0,071	-0,436	-0,824	-0,130	0,028	0,217	0,177
Центральный	0,232	0,002	-0,266	-0,246	-0,193	-0,157	0,000	-0,171
Волго-Вятский	0,019	-0,169	0,167	-0,462	-0,402	0,365	-0,206	-0,143
Центрально-Черноземный	-0,401	0,018	-0,118	-0,029	-0,171	0,124	0,241	-0,091
Поволжский	-0,326	0,124	-0,231	0,023	-0,212	0,181	-0,196	-0,150
Северо-Кавказский	-0,388	-0,223	0,033	0,459	-0,518	-0,128	0,463	0,065

Картофель

Северо-Западный	-0,062	0,095	-0,182	0,004	-0,253	-0,091	-0,117	-0,229
Центральный	-0,414	0,296	-0,338	0,229	-0,405	0,117	-0,319	0,169
Волго-Вятский	-0,516	0,230	-0,210	0,052	-0,178	0,118	-0,166	-0,105
Центрально-Черноземный	-0,197	0,123	-0,096	-0,118	-0,148	-0,0008	-0,129	-0,108
Поволжский	-0,392	-0,218	0,183	-0,114	-0,068	0,201	-0,031	-0,330
Северо-Кавказский	-0,202	-0,291	0,0004	0,039	-0,244	0,229	-0,172	0,060

Изменения во времени структуры временных рядов изучены пока еще недостаточно. Эта задача представляет самостоятельный интерес, и ее решение может быть также связано с типизацией временных рядов урожайности.

Для анализа внутрирядных связей временных рядов урожайности нами был принят подход, реализованный в [6].

На основе представлений о стационарности и эргодичности расчет автокорреляционных функций (АКФ) случайной последовательности отклонений урожайности от тренда производился по следующей формуле [6, 221]:

$$r(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_i - \bar{x}_i)(x_{i+\tau} - \bar{x}_{i+\tau})}{\sigma_i \sigma_{i+\tau} (n - \tau - 1)}, \quad (3.1)$$

где n — число членов исходного ряда; τ — величина сдвига; x_i и $x_{i+\tau}$ — члены ряда от x_1 до $x_{n-\tau}$ и от $x_{1+\tau}$ до x_n соответственно; $\bar{x}_i$, $\bar{x}_{i+\tau}$, σ_i , $\sigma_{i+\tau}$ — средние и дисперсии соответствующих отрезков ряда.

Как видно из данных табл. 3.2, коэффициенты корреляции между смежными членами АКФ менялись в широком диапазоне — от 0,6 до 0,4. Общей закономерностью для всех рассматриваемых культур, которая несколько нарушается для проса и картофеля, является более высокая связь между смежными членами ряда урожаев в Центрально-Черноземном, Поволжском и Северо-Кавказском экономических районах.

Характерной особенностью полученных АКФ является то, что для зерновых культур, озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, овса, гречихи и проса первые коэффициенты автокорреляции $r(1)$ в большинстве случаев, а для кукурузы и картофеля во всех случаях — отрицательны (табл. 3.3). Для АКФ последовательности случайных отклонений урожайности от тренда ячменя и зернобобовых положительные и отрицательные значения $r(1)$ равновероятны.

Анализ материалов, приведенных в табл. 3.2, показал, что значения коэффициентов корреляции и характер их затухания с ростом τ различен для разных культур и экономических районов. В дальнейшем нами аналогично [6] рассматривались два основных показателя корреляционной связности: значимость коэффициентов корреляции, т. е. неслучайности отличия эмпирической оценки $r(\tau)$ от нуля, и количества значимых коэффициентов корреляции, стоящих рядом на отрезке сдвига от 1 до 8 лет и отражающих затухание корреляционной связи с ростом τ .

Для оценки значимости коэффициентов корреляции при различных τ воспользуемся критерием Неймана [162], который позволяет получить представление о распределении $r(\tau)$ по областям значимых и незначимых величин:

$$\delta(\tau) = 1 - r(\tau). \quad (3.2)$$

Таблица 3.3

Количество экономических районов с $r(1)$ в указанных градациях

Культура	Градация $r(1)$					
	$-0,60$ V	$-0,40 \dots -0,20$	$-0,20 \dots -0,0$	$0,0 \dots 0,20$	$0,20 \dots 0,40$	$> 0,40$
Зерновые	1	2	1	1	1	
Озимая пшеница	2	2		1	1	
Яровая пшеница	2		2	2		
Озимая рожь	1	2	2	1		
Ячмень	2	1		2	1	
Овес	1	2	1	2		
Кукуруза		1	2			
Просо		2	1		1	1
Гречиха		1	3	1		
Зернобобовые	1	2		1	2	
Картофель	2	2	2			

При $n > 20$ величина δ распределена по нормальному закону, и критическая область при выбранном уровне значимости q (%) будет определяться неравенством $\delta < \delta_q$, где

$$\delta_q = 1 \pm u_q / \sqrt{n+1} \quad (3.3)$$

и u_q — квантиль нормального нормированного распределения.

Равенство (3.2) показывает, что если внутрирядная корреляция отсутствует ($r(\tau) = 0$), то $\delta = 1$; при наличии функциональной связи ($r(\tau) = \pm 1$) $\delta = 0$ или $\delta = 2$. Таким образом, мерой оценки значимости $r(\tau)$ служит степень отклонения от единицы величины δ .

Квантиль нормального нормированного распределения определен нами по [3]. Оценка значимости $r(\tau)$ для сдвига в 1—8 лет выполнена на 5 %-ном уровне значимости. После проведения оценки значимости на основе анализа материалов АКФ последовательности случайных отклонений урожайности от тренда выделились три типа АКФ:

I тип характеризуется незначимыми величинами первых коэффициентов корреляции;

II тип отличает АКФ со значимой связью при сдвиге на 1—2 года, при сдвиге более чем на 2 года связь отсутствует;

III типу присущ АКФ со значимыми коэффициентами корреляции с тремя и более смежными членами ряда.

В распределении по ЕЧ РСФСР рядов с повышенной связностью прослеживается определенная закономерность. Как показывают данные табл. 3.4, для большинства случайных отклонений

Таблица 3.4

Типизация АКФ случайной последовательности отклонений урожайности от тренда временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур по экономическим районам ЕЧ РСФСР

Культура	Экономический район					
	Северо-Западный	Центральный	Волго-Вятский	Центрально-Черноземный	Поволжский	Северо-Кавказский
Зерновые	I	II	I	II	II	II
Озимая пшеница	I	I	II	II	II	II
Яровая пшеница	I	I	I	I	II	II
Озимая рожь	I	I	I	I	II	II
Ячмень	I	I	I	II	II	II
Овес	I	I	I	I	II	II
Кукуруза	—	—	—	I	II	I
Просо	—	II	II	I	II	II
Гречиха	—	I	I	I	I	I
Зернобобовые	II	I	I	II	II	II
Картофель	I	III	II	I	II	I

урожайности от тренда временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур в Северо-Западном, Центральном и Волго-Вятском районах наблюдается I тип АКФ. Исключение составляют АКФ для зерновых культур, проса и картофеля в Центральном районе, озимой пшеницы, проса и картофеля в Волго-Вятском районе, зернобобовых в Северо-Западном районе. Следует отметить, что для временного ряда урожайности картофеля в Центральном районе характерна АКФ с тремя значимыми рядом стоящими коэффициентами корреляции (III тип АКФ).

Временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур в Центрально-Черноземном районе относятся и к I и ко II типу АКФ. В Поволжском и Северо-Кавказском районах преобладает II тип АКФ.

Таким образом, в северных районах ЕЧ РСФСР большая часть временных рядов урожайности характеризуется незначимой корреляцией во времени, тогда как в более южных районах временным рядам присуща значимая связь при сдвиге на 1—2 года.

Важнейшей сопряженной характеристикой статистической структуры случайного процесса является спектральная функция,

описывающая распределение дисперсии колебания по различным частотам.

Расчеты по спектральному анализу выполнены по следующей формуле [221]:

$$S(\lambda) \approx \left(\frac{2}{\pi}\right) \sum_{i=1}^k r'_i t \left[\frac{\sin(t_i \lambda)}{t_i \lambda} \right] \left[\frac{\sin(\Delta_i \lambda)}{\Delta_i \lambda} \right], \quad (3.4)$$

где $S(\lambda)$ — спектральная плотность; $k = \tau_{\max} - 1$; $r'_i = r_i - r_{i+1}$ — разность ординат соседних точек кривой функции $r(\tau)$; $\Delta_i(\tau_{i+1} - \tau_i)/2$ — полуразность абсцисс этих точек; t_i — абсциссы середины между этими точками; λ — частота.

Спектральные плотности для рядов урожайности представлены в табл. 3.5. Как показывают данные этой таблицы, в большинстве случаев имеется два максимума дисперсии: первый отмечается в интервале 2—3 года, второй имеет место в интервале 6—13 лет. Преобладающей в рассматриваемых временных рядах урожайности является высокочастотная составляющая, приходящаяся на период 2—3 года.

Таблица 3.5

Спектральная функция случайной компоненты временных рядов урожайности зерновых по экономическим районам

Период (число лет)	Частота, 1/год	Экономический район					
		Северо-Западный	Центральный	Волго-Вятский	Центрально-Черноземный	Поволжский	Северо-Кавказский
26,0	0,038	0,0163	0,0478	0,0221	0,0081	0,0002	0,0027
13,0	0,077	0,0904	0,0192	0,0050	0,0548	0,0314	0,0016
8,7	0,115	0,0156	0,0411	0,0728	0,0010	0,0147	0,0369
6,5	0,154	0,0047	0,0279	0,0121	0,1420	0,0235	0,0176
5,2	0,192	0,0563	0,0860	0,0002	0,0013	0,0294	0,0121
4,3	0,231	0,0379	0,0311	0,0377	0,0297	0,0415	0,0345
3,7	0,269	0,0157	0,0258	0,0007	0,0826	0,0730	0,0570
3,2	0,308	0,0385	0,0434	0,0143	0,1280	0,1520	0,0064
2,9	0,346	0,0324	0,0012	0,0214	0,0958	0,0873	0,0312
2,6	0,385	0,0004	0,0215	0,0050	0,0080	0,0002	0,0121
2,4	0,423	0,0034	0,0040	0,0002	0,0047	0,0184	0,0161
2,2	0,462	0,0089	0,0108	0,0336	0,0001	0,0045	0,1000
2,0	0,500	0,0029	0,0122	0,0368	0,1750	0,0004	0,0963

Полученные нами результаты хорошо согласуются с аналогичными результатами Ю. Л. Раунера [159].

Предпринятое нами рассмотрение закономерностей временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур (как их детерминированной, так и случайной составляющей) позволяет в дальнейшем классифицировать временные ряды по трем следующим основным признакам:

1) тип тенденции урожайности (оценка динамики тренда);

- 2) тип АКФ (оценка внутрирядных связей);
- 3) тип изменчивости урожайности (оценка вариации случайных отклонений урожайности по В. М. Пасову).

Такой подход позволяет в единых понятиях достаточно полно характеризовать временной ряд и вести поиск обобщающих закономерностей.

Систематизацию исследований временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур и результаты анализа временных рядов урожаев, полученные в 1-й части настоящей книги с помощью аппарата теории случайных функций, можно рассматривать как дальнейшее развитие стохастической агрометеорологии. Предметом исследований этого направления агрометеорологии является выявление вероятностных закономерностей в процессе формирования урожая (или любого другого агрометеорологического элемента) и описание его как единого целого с позиций теории вероятностных процессов.

Часть II

Моделирование продуктивности посевов

Интенсивное развитие исследований по моделированию влияния факторов внешней среды на продукционный процесс в нашей стране [9, 13, 16, 20, 22, 87, 132, 144, 183, 191, 203, 204] и за рубежом [239, 249, 261, 290, 295, 307, 310] способствовало созданию длиннопериодных динамических моделей продуктивности различных сельскохозяйственных культур. Достаточно полное обсуждение существующих моделей формирования урожая проведено в [9, 87, 132, 183, 191, 204, 230, 290]. Исчерпывающий обзор исследований по математическому описанию водно-теплого и углекислотного режима посевов дан в [25, 26].

Дальнейшее расширение применения методологии моделирования в агрометеорологических исследованиях способствовало развитию новых направлений — моделирования формирования качества урожая сельскохозяйственных культур [189, 191, 193, 194] и моделирования вегетативного и репродуктивного развития сельскохозяйственных культур [141].

Определился круг задач, решаемых с помощью моделей продукционного процесса в агрометеорологических прогнозах:

- оценка агрометеорологических условий произрастания,
- прогнозирование продуктивности сельскохозяйственных культур [132]. Их решение требует развития базовой модели формирования урожая сельскохозяйственных культур [132], создания методов определения параметров моделей, основанных на достаточно общих закономерностях биологических процессов и применении доступной агрометеорологической информации. Эти вопросы обсуждаются в главе 5.

Наряду с совершенствованием существующей базовой модели возникла необходимость углубления описания влияния агрометеорологических условий на основные процессы жизнедеятельности растений, моделирования таких процессов, как формирование всходов, побегов кушения, всей вегетативной и репродуктивной сферы, и в конечном итоге — формирования и налива зерна. Такое развитие модели позволило бы создать теоретическую основу для разработки целого ряда новых динамико-статистических методов агрометеорологических прогнозов: сроков появления, формирования всходов и их полноты, кушения, формирования продуктивного стеблестоя, формирования колоса, зерновки и налива зерна, оценки потерь урожая от возникновения таких крайне неблагоприятных явлений, как «запал», «стекание» зерна, «прорастание» зерна на корню и в валках. Все это потребовало разработки

принципиально новой модели роста, развития и формирования продуктивности злаков, описанию структуры которой посвящена следующая глава.

Глава 4

Модель роста, развития и формирования продуктивности злаков

Основная концепция, использованная нами при моделировании продуктивности злаков, состоит в том, что продуктивность злаков, как и других сельскохозяйственных культур, определяется не только интенсивностью ростовых процессов, но и главным образом развитием. Согласно учению Д. А. Сабинина [171], развитие — это «изменения в новообразовании элементов структуры организма, обусловленные прохождением организмом жизненного цикла». Поскольку «рост — это новообразование элементов структуры» (Д. А. Сабинин) [171] и, следовательно, развитие неотделимо от процессов роста, то рост и развитие моделируется нами неразрывно в комплексе и в зависимости от условий внешней среды.

Исследованиями Д. А. Сабинина [171], развиваемыми Т. И. Серебряковой [179], установлено, что элементарной единицей роста и развития побега является фитомер, состоящий из отдельных членков — узла с междоузлем, листом, почкой и придаточными корнями. Рост и развитие побега определяются закономерностями роста и развития фитомеров. В свою очередь, рост и развитие фитомеров, согласно сформулированному Т. И. Серебряковой [179] положению, определяется последовательностью и скоординированностью роста и развития составляющих его членков.

На основании исследований Т. И. Серебряковой [179] формирование вегетативной и репродуктивной сферы злаков рассматривается нами как обусловленный эндогенными и экзогенными факторами процесс роста и развития зародышевых фитомеров после прорастания семян, закладки и роста стеблевых вегетативных фитомеров и соцветия. Это позволяет определить время детерминации фитомера, т. е. момент начала видимого роста фитомера, и продолжительность периода его роста, число вегетативных фитомеров и число членков соцветия, а следовательно, и потенциальную продуктивность колоса.

Таким образом, большой цикл развития всего растения злака моделируется нами как последовательность жизненных циклов отдельных фитомеров, их членков, а в пределах членка — отдельных тканей (делящихся, растягивающихся, функционирующих и стареющих). На основании разработок Н. В. Обручевой [110] и В. Б. Иванова [41] рост отдельного органа определяется соотношением интенсивностей деления и растяжения клеток. Используя это положение, будем рассматривать рост отдельного членка

фитомера, а следовательно, и фитомера в целом как рост делением и (или) растяжением.

Рост моделируется как накопление сухой биомассы с учетом затрат на дыхание. Постулируется наличие в растении единого фонда углеводов и единого фонда азота.

При моделировании распределения ассимилятов используется концепция моделирования по потребности растущих органов, различной на разных фазах их развития. Распределение ассимилятов между делящимися и растягивающимися тканями членков фитомера и на этой основе — между членками и отдельными фитомерами реализуется нами на основании учения А. Л. Курсанова [75] о транспорте ассимилятов при взаимодействии между производящими и потребляющими органами. Система донорно-акцепторных отношений включает потребление продуктов фотосинтеза на новообразование структур в процессе роста, транспорт ассимилятов, затраты на дыхание. Активность аттрагирующих зон в растении рассматривается нами в зависимости от потенциальной способности каждого фитомера к росту делением и росту растяжением, что позволяет количественно определить «запрос» ассимилятов со стороны потребляющих тканей. Перестройка донорно-акцепторных отношений в большом цикле развития всего организма определяется в связи с прохождением жизненного цикла развития каждого членка фитомера. При этом учитывается «суровый закон» [75] распределения ассимилятов между листьями.

Распределение элементов минерального питания моделируется на основании представлений Д. А. Сабинина [172] о том, что в основе круговорота элементов минерального питания в растении лежит прохождение жизненного цикла последовательными фитомерами побега.

В соответствии с задачами нашей модели рост и развитие репродуктивных органов описывается начиная с момента перехода конуса нарастания в репродуктивное состояние и заканчивается созревaniem зерна. В период от начала удлинения конуса нарастания и до образования оплодотворенной завязи моделируется рост и развитие верхушечного фитомера (соцветия). Процессы формирования зерновки и налива зерна моделируются на основании сформулированных Н. Н. Кулешовым [65] представлений о том, что процесс зернообразования протекает в три фазы: формирование зародыша и эндосперма; налив зерна; созревание зерна.

Таким образом, сформулированная нами концепция моделирования продуктивности злаков содержит следующие основные положения:

- 1) продуктивность определяется изменением ростовых процессов при прохождении растением жизненного цикла в различных условиях внешней среды;
- 2) формирование вегетативной и репродуктивной сферы злаков описывается как обусловленный эндогенными и экзогенными факторами процесс роста и развития отдельных фитомеров;

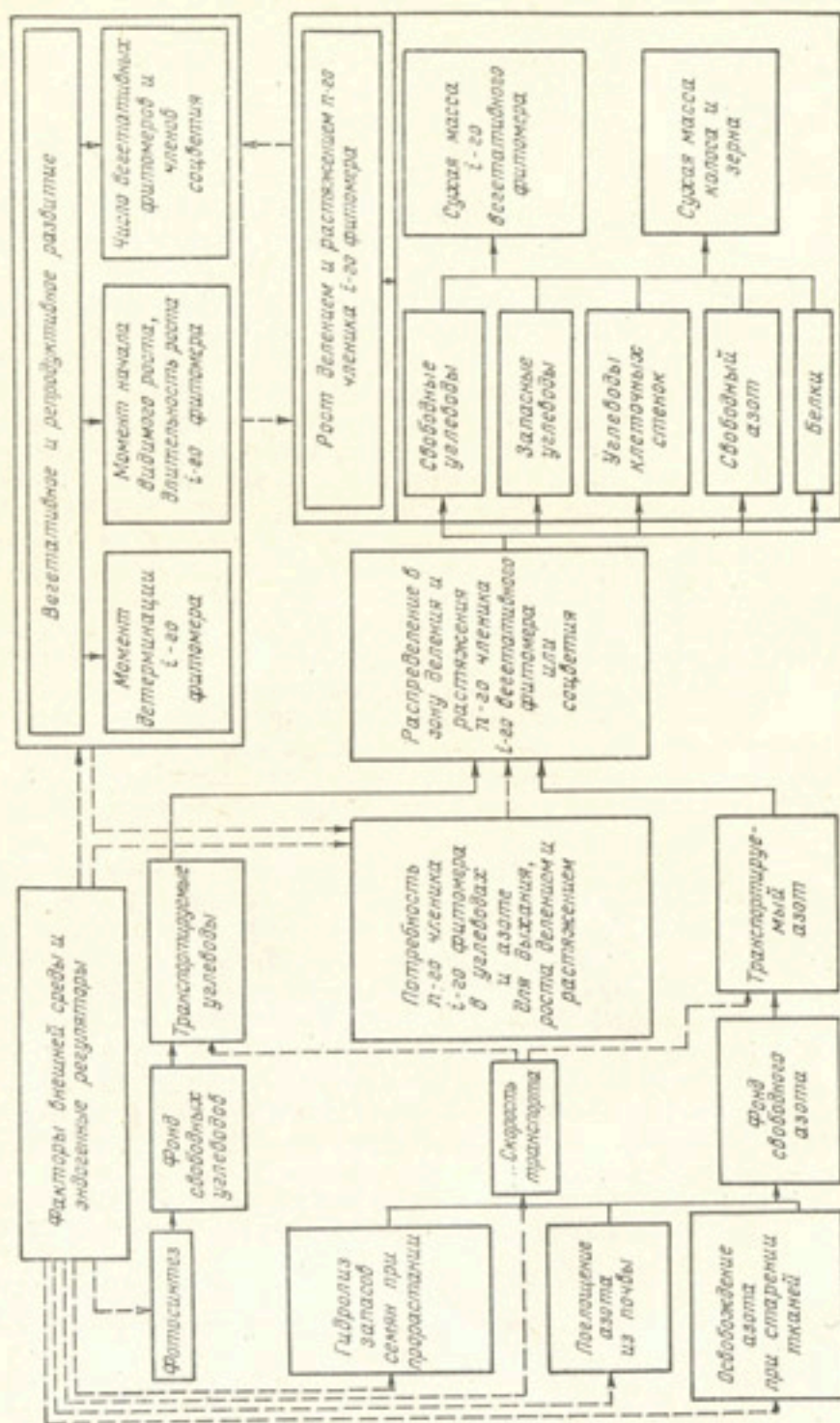


Рис. 4.1. Блок-схема модели роста, развития и формирования продуктивности злаков.

3) рост (накопление сухой биомассы) рассматривается как рост делением и растяжением отдельных членов вегетативного фитомера и соцветия и на этой основе — рост фитомеров и всего растения;

4) распределение ассимилятов и элементов минерального питания осуществляется в отдельные членки фитомера с учетом потребности для роста делением и растяжением; распределение в фитомере проводится с учетом распределения в членки фитомера;

5) рост и развитие репродуктивных органов описывается начиная с удлинения конуса нарастания при переходе его к репродуктивному развитию и до созревания зерна.

Блок-схема предложенной модели продуктивности злаков представлена на рис. 4.1

4.1. Моделирование процесса прорастания семян

Процесс прорастания представляет собой совокупность процессов, вызывающих переход семени из состояния вынужденного покоя в состояние активного роста. Необходимой предпосылкой начала роста способного к прорастанию семени является поглощение влаги. Метаболическая активность семян начинается при набухании и увеличивается при последующем прорастании, регулируемом всем комплексом факторов внешней среды.

В проблеме количественного описания влияния внешней среды на процесс прорастания, рост проростка и формирование всходов выделяются два основных аспекта. В связи с тем что начало проявления метаболической активности связано с поступлением влаги в семя, вполне естественно, что при объяснении процесса прорастания основное внимание уделено механизму поглощения влаги семенем [208, 232, 242, 266, 282]. На этой основе рассматривается критический уровень содержания влаги в семени, при котором оно может прорасти, и протекающие при этом процессы. В модели продуктивности хлопка [305] описывается поглощение влаги семенем, появление корня и удлинение гипокотыля. В [117] процесс прорастания при моделировании ростовых процессов в период прорастания семян представлен в виде двух взаимосвязанных процессов: поглощения воды зерновкой и роста зародышевого корешка и проростка. Рассматриваются затраты на дыхание поддержания, динамика биомассы зерновки, корней, биомассы и длины проростка.

В модели расходования запасов эндосперма семени зерновых культур в процессе прорастания [192] рост проростка до всходов рассматривается как результат протекания таких физиолого-биохимических процессов, как поглощение воды семенем, дыхание семени и проростка, гидролиз запасного белка и крахмала эндосперма, распределение продуктов гидролиза между органами проростка и мобилизация их для роста зародыша и проростка.

При моделировании процессов роста рассматриваются отдельно экологическая часть, включающая влияние факторов окружающей среды на рост, и собственно биологическая, содержащая информацию о внутренней организации и функционировании растительного организма. В модели роста и метаболизма растений на ранних этапах органогенеза [102] описываются три основные составляющие процесса прорастания: гидролиз запасных веществ и образование фондов, транспорт фондовых веществ к проростку и синтез из них новой структурной фитомассы при постоянных условиях внешней среды.

Тепло, влага и кислород — факторы, необходимые для прорастания семян. Сухие семена содержат только связанную воду, которая практически не участвует в обмене веществ. Для того чтобы началось прорастание, семена должны поглотить вполне определенное количество влаги, необходимой для активизации ферментов и создания соответствующей среды для химических реакций. Большое влияние на поступление влаги в семена оказывают температура и почвенные условия [27].

Исходя из сложившихся представлений о физиологии прорастания семян [27, 108, 114, 152, 208] нами этот процесс рассматривался как совокупность происходящих под воздействием факторов внешней среды физических и биохимических изменений в семенах в процессе их перехода из состояния покоя к активной жизнедеятельности. Запуск метаболических систем, деятельность которых приводит к началу роста, определяется уровнем содержания воды в семени.

Набухание семян осуществляется сначала в процессе диффузии воды, а в конце вступают в действие осмотические силы, возникающие вследствие накопления продуктов гидролиза белков, жиров и углеводов.

Рассмотрим две фазы в поступлении воды в семена: за счет диффузии по градиенту концентраций и в виде потока воды через мембрану в результате наличия градиента давления. Естественно предположить, что переход от первой фазы набухания ко второй происходит постепенно, при достижении вполне определенной критической концентрации воды в семени. Существует диапазон концентрации, в котором оба эти процесса идут одновременно.

Опишем первую фазу набухания семян выражением, аналогичным уравнению Фика [187]:

$$dn_c/dt = k_s A (c_n - c_c), \quad (4.1)$$

где n_c — число молей воды в семени; k_s — коэффициент проницаемости, $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$; A — площадь поверхности семени, см^2 ; c_n , c_c — концентрация воды в почве и семени, $\text{моль} \cdot \text{см}^{-3}$.

Температура почвы оказывает большое влияние на поступление воды в семена. С повышением температуры до определенного предела увеличивается и интенсивность поглощения воды семенами.

Коэффициент проницаемости рассматривается как функция температуры почвы, описываемая уравнением Аррениуса:

$$k_s = D \exp(-E/RT), \quad (4.2)$$

где D — проницаемость воды через ткань клетки, $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$; E — энергия активации диффузии, $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$; R — газовая постоянная, $\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$; T — абсолютная температура почвы на глубине заделки семян, К .

Установлена энергия активации диффузии воды при набухании семян. Для семян гороха, дурнишника и кукурузы значения энергии активации оказались довольно близкими: от 27 до 35 $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Эти значения для диффузии в твердом теле составляют 42 $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$, для химических реакций — 420 $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Таким образом, набухание семян — быстро и легко идущий процесс, требующий относительно малой энергии активации [114].

При описании второй фазы набухания семян — осмотического движения воды — учтем влияние структуры и механического состава почвы, химического состава семян на скорость поступления воды в семена. Следуя [187, 208], запишем

$$\frac{dV_c}{dt} = A (\psi_n - \psi_c) / (r_n + r_{n.p} + r_c), \quad (4.3)$$

где V_c — поток влаги в семена, см^3 ; ψ_n , ψ_c — водный потенциал почвы и семени, 10^5 Па ; r_n , $r_{n.p}$, r_c — сопротивление гидравлическому потоку в почве, на поверхности раздела почва—семена, внутри семени, $\text{с} \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{см}^{-2}$.

Химический состав семени, определяющий сопротивление гидравлическому потоку внутри семени, играет существенную роль в поглощении воды. В различных семенах содержится разное количество веществ, растворяющихся (сахара, органические кислоты, аминокислоты и др.), набухающих (белки, крахмал, клетчатка и др.) и не набухающих в воде (жиры, каротиноиды и др.). Например, в семенах пшеницы вещества, способные к набуханию в воде, составляют 80—85 %, у ржи — 72—75 %.

Крахмал, набухая, может поглотить до 35 % воды, белки — до 250 и слизи — до 800 %. Поэтому семена, эндосперм или семядоли которых состоят главным образом из крахмала, поглощают воды значительно меньше, чем семена, в которых преобладают белки.

Размер семян также влияет на поступление воды: мелкие семена поглощают больше воды (в % от массы), чем крупные. Так, семя кукурузы массой 251—270 мг поглощает через 36 ч 47 % воды, а массой 331—350 мг — 40 % [114].

Водный потенциал семени будем определять с помощью выражения [187]:

$$\psi_c = \frac{RT}{V_w} \ln N_w, \quad (4.4)$$

где V_w — парциальный молярный объем воды, $\text{см}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$; N_w — молярная доля воды.

Пусковые процессы гидролиза запасных веществ семени и прорастания семян происходят в период достижения семенем соответственно двух критических уровней оводненности.

При достижении первого критического уровня оводненности семян $S_{кр1}^c$ происходит «запуск» процессов гидролиза запасных веществ семени и синтеза углеводов и белков в зародыше.

Поступление воды в семена — необходимое условие для начала процессов метаболизма в покоящихся семенах. Но для «запуска» как ферментов, гидролизующих запасные вещества, так и ферментов, синтезирующих новые, необходимые соединения, требуется такая температура на глубине заделки семян $T_{кр}$, при которой эти ферменты могли бы проявить свою активность. Этим и объясняется то обстоятельство, что прорастание различных семян происходит при разных температурах. «Запуск» процессов гидролиза и синтеза и прорастание семян происходят при температуре выше нуля. Однако минимальная температура для начала этих процессов колеблется в больших пределах. Семена ржи, пшеницы, ячменя, овса, вики, чечевицы, гороха, чины, репы, моркови, брюквы, рыжика, конопли, горчицы прорастают при $1-2^\circ\text{C}$; семена кукурузы, проса, сои — при $8-10^\circ\text{C}$; фасоли, клеверины, сорго — при $10-12^\circ\text{C}$, а семена хлопчатника, риса, огурцов, тыквы, арбуза — при $12-14^\circ\text{C}$ [27].

Таким образом, на этапе достижения первого критического уровня оводненности семян $S_{кр1}^c$ и критической температуры почвы на глубине заделки семян $T_{кр}$ нами рассматривается регулируемый факторами среды гидролиз углеводов и белков семян, в процессе которого образуется фонд свободных углеводов и фонд азота, расходующийся на дыхание и рост зародыша.

Продукты гидролиза расходуются на дыхание семени, которое подразделяется в этот период на дыхание зародыша и дыхание эндосперма, а также идут на синтез белков и углеводов в растущем зародыше. В период от начала гидролиза, определяемого достижением первого критического уровня оводненности семян $S_{кр1}^c$, до прорастания, обусловленного достижением второго критического уровня оводненности семян $S_{кр2}^c$, мы рассматриваем зародыш как однородную меристематическую ткань, не выделяя его отдельные осевые органы.

Дыхание целого семени складывается из дыхания его запасных частей и растущих осевых органов. Основной вклад в дыхание семени вносят запасные вещества, поскольку их масса гораздо больше, хотя в пересчете на единицу сырой массы у них дыхание слабее, чем у осевых органов. Установлена [111] трехступенчатая зависимость дыхания от оводненности тканей семян. Дыхание прорастающих семян не регулируется временем, прошедшим от начала набухания семян, но зависит от влажности.

На первом этапе постепенное усиление дыхания обусловлено уровнем влажности, достигнутым семенами, а не затрудненным доступом кислорода или недостатком дыхательных субстратов. На втором этапе дыхание резко усиливается, оно регулируется уровнем дыхательного субстрата и не зависит от дальнейшего повышения оводненности. Третий этап отражает интенсивно идущее дыхание растущих осевых органов, которым присущи более высокие уровни влажности, поскольку клетки их вакуолизируются и растягиваются.

Скорость изменения свободных углеводов и азота в зародыше определяется соотношением скоростей притока свободных углеводов и азота эндосперма, затрат на синтез новых структур и дыхание, связанное как с процессами синтеза, так и поддержанием. При гидролизе белков пополняются фонд азота и фонд углеводов.

Совокупность физических и биохимических изменений, происходящих в семени в процессе их перехода из состояния покоя к активной жизнедеятельности, при достижении второго критического уровня оводненности семян $S_{кр2}^c$ заканчивается образова-

нием проростка. Влажность целого семени практически определяется влажностью, достигнутой эндоспермом, поскольку осевые органы зародыша обычно малы по сравнению с запасными частями семени. Потребность семян во влаге для начала их прорастания различна у разных видов семян. Семенам злаков для начала прорастания необходима более низкая оводненность; богатые белком семена бобовых поглощают больше воды, чем крахмалистые семена злаков. Очень много воды поглощают при набухании семена льна и сахарной свеклы, оболочки которых содержат слизистые гидрофильные полисахариды [27]. Критический уровень оводненности семян, при котором начинается прорастание, варьирует в широких пределах.

С момента достижения второго критического уровня оводненности семян $S_{кр2}^c$ зародыш семени становится проростком, состоящим из coleoptиле и зародышевых корней. Внутри coleoptиле заключены зародышевые фитомеры. Количество зародышевых фитомеров является устойчивым признаком экотипа [179]. Количество зародышевых корней зависит от сорта и размеров семян.

Однородная меристематическая ткань зародыша семян с момента достижения второго критического уровня оводненности семян $S_{кр2}^c$ рассматривается нами состоящей из трех частей: меристемы coleoptиле, меристемы зародышевых фитомеров и меристемы зародышевых корней.

Coleoptиль предохраняет зародышевые листья от прямого соприкосновения их с почвой и по строению представляет собой трубку, которая охватывает первый лист. Полагая радиус трубки и ее удельную плотность массы постоянными, определим скорость удлинения ростка (coleoptиле и зародышевых листьев) в зависимости от скорости накопления сухой биомассы ростка

и механического сопротивления почвы:

$$\frac{dh_p}{dt} = \frac{dm_p}{dt} \frac{1}{\rho \pi r_p^2} k_p(v), \quad (4.5)$$

где dh_p/dt — скорость удлинения ростка, $\text{см} \cdot \text{сут}^{-1}$; dm_p/dt — скорость изменения массы ростка, $\text{мг} \cdot \text{сут}^{-1}$; ρ — удельная плотность массы ростка, $\text{мг} \cdot \text{см}^{-3}$; r_p — радиус ростка, см ; $k_p(v)$ — функция влияния плотности почвы на скорость удлинения ростка, безразмерная.

Достижение ростком размеров, превышающих глубину заделки семян h_c , т. е. $h_p > h_c$, определяем как фазу всходов. Едва достигнув поверхности почвы, coleoptile прекращает рост, первый лист выходит через верхушку coleoptile, определяя начало перехода растения на автотрофное питание, формирование надземных вегетативных и репродуктивных частей побега.

4.2. Моделирование закладки, роста и развития фитомеров

Закладка и формирование вегетативной и репродуктивной сферы побега определяются генотипом и влиянием факторов внешней среды. Моделирование вегетативного и репродуктивного развития растений является наименее разработанной областью математического моделирования процессов жизнедеятельности растений.

В исследованиях выделяются три основных направления. Первое связано с созданием математических моделей переключения развития с вегетативного на репродуктивный путь. При этом переход конуса нарастания от вегетативного к репродуктивному росту связывается с критическим уровнем ферментов вегетативного роста и ферментов цветения [295], достижением критического размера конуса нарастания [241, 298], переключением с вегетативного на репродуктивное развитие при взаимодействии некоторого эндогенного метаболита и внешнего фактора [240].

Второе направление исследований связано с моделированием органогенеза. На уровне клетки [295, 297] рассматривается деление, растяжение, вегетативный рост и старение растения. В [48] предложена модель роста фитомеров как элемента морфологической структуры злаковых, описывающая увеличение длины фитомера как динамику размеров клеток и числа клеток дифференцирующейся части фитомера.

В рамках третьего направления делается попытка описать процессы развития с учетом влияния эндогенных и экзогенных факторов. Скорость кущения ячменя рассматривается как функция температуры и обеспеченности азотом и углеводами [267]. Новообразование побегов определяется уровнем доступных ассимилятов [246]. Число зерен в колосе озимой пшеницы рассматривается как функция сухой надземной биомассы растений [291]. Элементы продуктивности колоса (число колосьев, колосков, зерен) описы-

ваются в зависимости от количества доступных углеводов [264]. Предложена модель продукционного процесса зерновых культур с включением описания элементов органогенеза, дается оценка динамики формирования структурных элементов урожая (формирование побегов, образование завязей, налив зерна) в зависимости от основных факторов среды [34]. В [184, 185] представлена модель, реализующая принцип индивидуального роста каждого фитомера. Под фитомером авторами [184, 185] понимается класс одноименных органов. Для яровой пшеницы выделено девять классов фитомеров: зерновка, проросток, главный корень, первичные пары корней, вторичные пары корней, листья, стебли, колосья (оболочки), зёрна. Процессы морфогенеза описаны в зависимости от внутреннего состояния растения, характеризуемого функцией обеспеченности ростовых процессов субстратами — подвижными углеводами и азотом. Особое внимание уделено моделированию связей между условиями внешней среды и процессами роста и органогенеза.

В [141] развитие высшего растения рассматривается как процесс реализации запрограммированных в геноме изменений функциональной и формообразовательной деятельности. Органообразовательная деятельность верхушки побега описывается в связи с деятельностью конуса нарастания, а в целом формообразовательная деятельность описывается в связи с его функциональной деятельностью. Развитие органа после его инициации представляет собой последовательную смену типов функциональной деятельности: рост (новообразование структур), зрелость (осуществление структурами присущих им жизненных функций), старение (распад структур) и отмирание. При моделировании переключения развития с вегетативного на репродуктивный путь использована гормонально-трофическая теория развития.

В исследованиях морфогенеза побега злаков отмечается [179] высокая специфичность и однообразность формирования и строения вегетативной и репродуктивной сферы. Она берет свое начало от столь же высоко специфичного, отличного от других семейств типа зародыша, характеризующегося наличием специальных зародышевых органов (щиток, coleoptile, coleoptile). Отмечается строгая метамерность строения побега злаков.

Формирование побега у злаков идет путем последовательного вычленения на конусе нарастания повторяющихся метамерных образований побега — узла с зачатком листа и междоузлем, почки и придаточных корней. Эти периодически вычлняющиеся метамерные образования представляют собой единицы роста — фитомеры. Зачаточные фитомеры достаточно однородны и обладают более или менее одинаковыми потенциальными свойствами. Каждый фитомер может в дальнейшем довольно долго сохранять в разных своих участках способность к интеркалярному росту, но может и довольно рано его прекратить. Боковые образования (лист и почка) в процессе роста фитомера могут развиваться в разной степени. Придаточные корни, к образованию которых

потенциально способен каждый фитомер, могут образоваться рано и достичь мощного развития, а могут и совсем не образоваться. За счет самостоятельного автономного роста фитомеров в последующем осуществляется общий «суставочный» или «ярусный» рост побега злаков [179].

Последовательные фитомеры взрослого побега сильно различаются между собой [179]. Они подчиняются общей для всех цветковых растений закономерности, заключающейся в том, что метамеры одного побега изменяются от основания побега к его верхушке. Изменения выражаются сначала в возрастании до определенного максимума, а затем в уменьшении всех конституционных элементов побега: длины и толщины междоузлий, размеров листьев и их отдельных частей, степени развития почек и корней.

Эти изменения являются отражением процесса развития побега в онтогенезе. По Д. А. Сабинину [171], развитие следует понимать как «изменения в новообразованных элементах структуры организма, обусловленные прохождением организмом жизненного цикла». С этой точки зрения развитие неотделимо от процессов роста, которые заключаются, по Сабинину [171], именно в новообразовании элементов структуры организма от субмикроскопических до вполне микроскопических, от молекул и клеток до органов.

Удобной мерой развития побега служит фитомер, который рассматривается [171, 179] как элементарный этап роста и развития побега. Рост и развитие фитомеров злаков отличается строго определенной последовательностью.

Исходя из представлений современной морфофизиологии нами формирование вегетативной и репродуктивной сферы злаков рассматривается как обусловленный эндогенными и экзогенными факторами процесс возобновления ростовых процессов семени (прорастание), разветвления заложившихся фитомеров, их самостоятельного роста и развития, функционирования последовательности фитомеров в их сложной коррелятивной связи.

Функциональная деятельность фитомера, состоящего из узла с междоузлем, листом, почкой и придаточными корнями, рассматривается нами как функционирование элементарной единицы роста и развития злаков.

Строение и деятельность конуса нарастания побега злаковых культур, процессы закладки листьев, междоузлий, пазушных почек, придаточных корней, формирования соцветий изучены детально [40, 72, 179].

Размеры гладкой части конуса нарастания ритмически изменяются: при заложении нового примордия конус уменьшается до минимального размера, а затем постепенно увеличивается в высоту и в диаметре, достигая максимума перед заложением следующего листового примордия. Пластохрон — промежуток времени между заложением на конусе нарастания двух последовательных листовых примордиев, т. е. времени, занимаемого одним элементарным этапом развития побега (образованием узла, листа

и междоузлия). Пластохрон рассматривается как биологический показатель особенностей органообразования растений.

Интервалы онтогенеза побега, проходящие в течение одного пластохрона, называемые стадиями, нумеруются в соответствии с номером текущего пластохрона (на рис. 4.2а показаны 8-, 9-я и 10-я стадии; 9-я стадия — от момента оформления 9-го примордия до момента оформления 10-го примордия). В течение каждой стадии — пластохрона объем и масса конуса нарастания изменяются от минимального значения до максимального. В пределах стадии выделяются (рис. 4.2а) подстадии: ранняя, средняя и поздняя. На рис. 4.2а показаны три подстадии 9-й стадии — оформление 9-го примордия — соответственно ранняя, средняя и поздняя, а также указаны моменты переходов от 8-й стадии к 9-й и от 9-й к 10-й стадии. Отмечены периоды максимума и минимума размеров конуса нарастания. Изменения размеров конуса нарастания происходят только за счет изменения количества клеток. Размеры отдельных клеток меристемы остаются как в течение одного пластохрона, так и в течение ряда последовательных пластохронов примерно одинаковыми.

Конус нарастания побега злаков довольно однотипен по строению и функционированию. Начало заложения листового примордия (листового зачатка) идет за счет переклиальных делений туники конуса нарастания. Быстрое распространение делений по окружности конуса приводит к тому, что постепенно образуется выпячивание, которое называют листовым бугорком. Объем листового бугорка быстро увеличивается, и в него вовлекается значительная часть конуса нарастания. В этой области концентрируются клеточные деления. В зависимости от расстояния от кончика конуса нарастания (K), на котором возникает бугорок, в него вовлекается разное количество клеток конуса. Постепенно бугорок превращается в листовой зачаток — примордий (P) и выделяется из конуса нарастания. При этом объем конуса значительно уменьшается. Зачаток листа быстро растет в длину. Рост идет неравномерно, поэтому зачаточный лист загибается над верхушкой (рис. 4.2б).

После отделения листа происходит перераспределение клеточных делений, в результате чего объем конуса нарастания быстро восстанавливается и начинается образование нового листа. Последовательные примордии закладываются друг над другом вплотную; зачатков междоузлий (M) на конусе нарастания еще нет.

При моделировании процесса формообразовательной деятельности конуса нарастания в качестве единицы времени (помимо традиционных) будем рассматривать длительность элементарного этапа развития побега — пластохрон и исчисление времени функционирования отдельного фитомера, его членников и побега в целом вести в пластохронах.

Применим для описания процесса закладки на конусе нарастания побега злаков листового примордия и его отчленения теорию

катастроф [283], следуя концепции, изложенной в [298] и использованной для переключения от вегетативного к репродуктивному развитию верхушки побега.

Существует вполне определенная связь между характеристиками конуса нарастания, такими, как внутренняя удельная скорость роста конуса нарастания, размерами конуса нарастания и

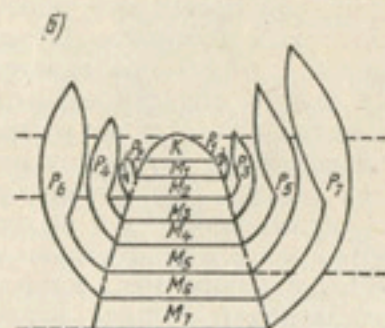
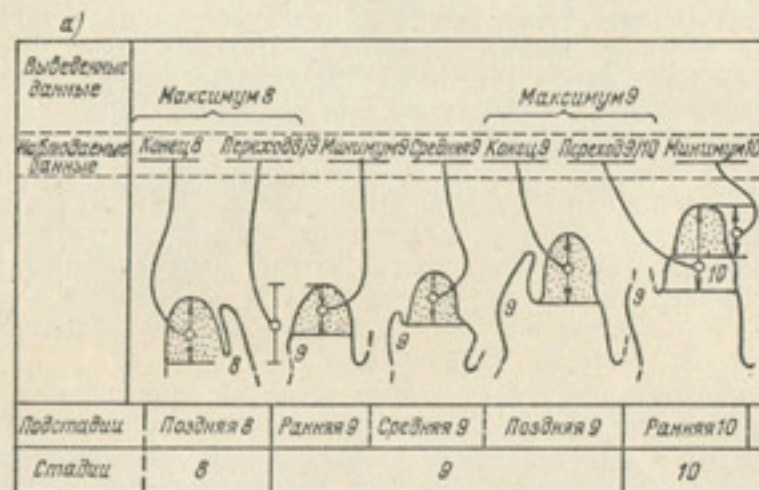


Рис. 4.2. Схема закладки листовых примордиев (а — по данным [42]) и выделение последовательных примордиев междоузлий (б — по данным [293]).

примордия, длительностью пластохрона и относительной скоростью роста конуса нарастания.

Обозначим через $m^{к.н(мер)}$ массу конуса нарастания перед закладкой листового примордия, а через $m^{пр(мер)}$ — массу листового примордия непосредственно после закладки. В связи с тем что рассматривается только меристематическая ткань, в дальнейшем индекс (мер.) опускаем.

Введем условные переменные, связывающие размеры конуса нарастания и примордия. Это переменная x , которая представ-

ляет собой отношение массы примордия к массе конуса нарастания:

$$x = m^{пр} / m^{к.н} \quad (4.6)$$

и переменная y , определяемая как

$$y = \alpha (m^{к.н} - c_a), \quad (4.7)$$

где c_a — параметр, мг; α — масштабный фактор, безразмерный.

Естественно, что весь конус нарастания не может превратиться в листовое примордие, вследствие этого величина x меняется в пределах

$$x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (4.8)$$

и величины x_{min} и x_{max} ограничивают пределы изменения x .

Полагаем, что выделяемый из прироста биомассы зародышевых фитомеров рост биомассы конуса нарастания в период от закладки до отчленения листового примордия определяется скоростью поступления в конус нарастания свободных углеводов и азота, синтеза запасных углеводов и белков, вещества клеточных стенок, которые, наряду с факторами среды, определяют рост клеток делением. Опишем скорость роста биомассы конуса нарастания уравнением

$$\frac{dm^{к.н}}{dt} = \left(\frac{dC_{св}^{к.н}}{dt} + \frac{dC_{зап}^{к.н}}{dt} + \frac{dC_{клет}^{к.н}}{dt} \right) K_c + \frac{dN_{св}^{к.н}}{dt} + \frac{dN_{зап}^{к.н}}{dt}, \quad (4.9)$$

где $dm^{к.н}/dt$ — прирост сухой биомассы конуса нарастания, $мг \times сут^{-1}$; $dC_{св}^{к.н}/dt$ — количество свободных углеводов, $мг С \cdot сут^{-1}$; $dC_{зап}^{к.н}/dt$ — скорость синтеза запасных углеводов, $мг С \cdot сут^{-1}$; $dC_{клет}^{к.н}/dt$ — скорость синтеза вещества клеточных стенок, $мг С \times сут^{-1}$; $dN_{св}^{к.н}/dt$ — количество свободного азота, $мг N \cdot сут^{-1}$; $dN_{зап}^{к.н}/dt$ — скорость синтеза белков, $мг N \cdot сут^{-1}$; K_c — коэффициент для пересчета углерода на органическое вещество.

Тогда относительная скорость роста конуса нарастания $R_m^{к.н}$ ($сут^{-1}$) определяется соотношением

$$R_m^{к.н} = \frac{1}{m^{к.н}} \frac{dm^{к.н}}{dt}. \quad (4.10)$$

Изменение величины x определим по уравнению вида [283, 298]:

$$\frac{dx}{dt} = \beta \left[-4b(x - x_0)^2 + 2a(x - x_0) - fy - \frac{h(2x - x_{min} - x_{max})}{(x_{max} - x)^2(x - x_{min})^2} \right], \quad (4.11)$$

где β — масштабный фактор, безразмерный; b — параметр, $сут^{-1}$; f — параметр, $мг^{-1} \cdot сут^{-1}$; h — параметр, $сут^{-1}$; a — параметр, $сут^{-1}$.

В уравнении (4.11) выражение в правой части рассматривается как уравнение состояния, определяющее связь между размерами конуса нарастания и листового примордия; оно является по существу функцией катастроф.

Вторая условная переменная y находится по уравнению

$$dy/dt = R_m^{k, n} (y + ac_a), \quad (4.12)$$

в котором y в точке $t=0$ эквивалентно $m^{k, n}$ в точке $t=0$.

Продолжительность периода от начала закладки до отчленения листового примордия, т. е. длительность одного пластохрона $t_{пл}$ (сут), определим по уравнению [283, 298]:

$$t_{пл} = \frac{\ln(1-x)}{R_m^{k, n} - \mu^{k, n}}, \quad (4.13)$$

где μ — внутренняя удельная скорость роста конуса нарастания, сут^{-1} .

Время окончания детерминации (отчленения) каждого n -го фитомера от даты посева $t_{дет}^{(n)}$ (сут) определяется как

$$t_{дет}^{(n)} = t_c + \sum_n t_{пл}^{(n)}, \quad (4.14)$$

где t_c — время прорастания семени, сут.

Прирост сухой биомассы n -го фитомера в период его детерминации $dm^{(n)}/dt$ ($\text{мг} \cdot \text{сут}^{-1}$) находится по соотношению

$$\frac{dm^{(n)}}{dt} = \frac{dx}{dt} m^{k, n}. \quad (4.15)$$

Установлено [171], что от окончания процесса детерминации зачатка вегетативного органа побега — фитомера до начала его видимого роста проходит три пластохрона. Тогда время начала видимого роста n -го фитомера от даты посева $t_{в.р}^{(n)}$ (сут) может быть определено по выражению

$$t_{в.р}^{(n)} = \sum_n t_{дет}^{(n+3)}. \quad (4.16)$$

Общее количество фитомеров побега злаковых состоит из зародышевых фитомеров и вновь сформировавшихся. Это величина сравнительно постоянная для данного вида, разновидности, сорта. Максимально возможное количество фитомеров $n_{\max}$ относят к числу устойчивых признаков, характеризующих экотип или сорт.

Последовательные фитомеры, слагающие побег, изменяются закономерно, в соответствии с внутренним ритмом развития побега и влиянием внешних факторов. Будучи достаточно константным видовым признаком, количество фитомеров на побеге может варьировать у данного вида, но варьирование, как и соотношение числа фитомеров в разных зонах побега, подчинено определенной

числовой закономерности, отражающей внутренний ритм деятельности конуса нарастания. Отмечается [172, 179], что после заложения такого вполне определенного числа фитомеров у злаковых наступает заложение соцветия. Исходя из этого при

$$n = n_{\max} \quad (4.17)$$

происходит закладка соцветия, превращение вегетативного конуса нарастания в репродуктивный.

Соцветие злаков — это система видоизмененных побегов, его образование — процесс очень сложный, дробный, повторяющийся много раз, поддающийся расчленению на этапы [171, 172].

Рассматривая соцветие как самостоятельный сложный (верхушечный) фитомер побега, выделим в нем последовательный процесс образования новых метамеров — сегментов (зачаточных члеников) оси соцветия, а также появления на зачаточной оси соцветия конусов нарастания второго порядка — зачаточных колосков. Для удобства интерпретации физиологических процессов во время роста и развития соцветия возьмем в качестве единицы времени длительность процесса детерминации новых метамеров — сегментов и зачаточных колосков. Процедура определения времени начала и окончания процесса детерминации метамеров колоса аналогична описанной выше.

Конус второго порядка представляет собой самостоятельное образование, из которого формируются новые метамерные органы — идут последовательно процессы закладки и дифференциации цветковых бугорков. При этом в зависимости от вида соцветия могут рассматриваться конусы нарастания третьего, четвертого и последующих порядков.

С момента закладки соцветия скорость роста конуса нарастания значительно возрастает и на нем происходит образование сегментов (зачаточных члеников) оси соцветия. Определив скорость роста конуса нарастания по уравнению (4.9), снова введем условную переменную, определяющую соотношение размеров сегмента $m_{сегм}$ и конуса нарастания:

$$x' = m_{сегм} / m^{k, n}. \quad (4.18)$$

Полагаем, что весь конус нарастания не может превратиться в сегмент, в связи с этим величина x' меняется в пределах

$$x'_{\min} \leq x' \leq x'_{\max}. \quad (4.19)$$

Применив уравнения (4.10) — (4.16), определим время начала видимого роста сегментов $t_{в.р}^{сегм(j)}$, их число j и размеры после окончания процесса детерминации $m_{сегм(j)}$.

Будем рассматривать сухую биомассу j -го сегмента, рассчитанную по уравнению, аналогичному уравнению (4.15), как начальную биомассу конуса нарастания второго порядка, из которого формируются новые метамеры — цветковые бугорки.

Опишем скорость роста биомассы j -го сегмента после детерминации в зависимости от поступления в него свободных углеводов и азота, синтеза запасных углеводов и белков, синтеза вещества клеточных стенок уравнением, аналогичным (4.9).

Будем полагать, что весь сегмент — конус нарастания второго порядка — не может превратиться в цветковый бугорок. Исходя из этого условная переменная x'' , определяющая соотношение размеров цветкового бугорка m^{cb} и сегмента

$$x'' = m^{cb} / m^{сегм}, \quad (4.20)$$

будет изменяться в пределах

$$x''_{\min} \leq x'' \leq x''_{\max}. \quad (4.21)$$

По аналогии с моделированием детерминации на конусе нарастания первого порядка определим по уравнениям (4.10) — (4.16) время начала видимого роста цветковых бугорков $t_{в.р.}^{cb(q)}$, их число q и размеры после завершения процесса детерминации $m^{cb(q)}$.

При моделировании развития вегетативной и репродуктивной сферы злаков нами в качестве элементарной ростовой единицы (единицы роста и развития) рассматривался фитомер и в качестве элементарной единицы времени — длительность физиологического акта детерминации.

Мы определили время детерминации фитомеров побега, соцветия, их количество, начальные размеры метамеров после окончания процесса детерминации. Время может быть выражено в любой временной шкале — календарно в днях от посева, суммах активных или эффективных температур, накопившихся от начала посева до даты наступления изменений в конусе нарастания.

Скорость заложения новых фитомеров (темп формообразовательной деятельности конуса нарастания) определяется длительностью пластохронов. Пластохрон оказывается удобной и наиболее приемлемой, по [171, 179], временной единицей внутреннего ритма развития побега. Данные об абсолютной продолжительности пластохронов у злаков немногочисленны [179]. У одного из видов бамбука продолжительность пластохрона 2,1 дня, у большинства сортов риса пластохрон равен 10 дням, у тимopheевки в зависимости от периода вегетации — 9,8—14 дням [179]. У кукурузы в течение эмбриогенеза продолжительность пластохронов от первого к пятому и шестому неуклонно возрастает (от 4 до 13 дней), а в течение вегетативной фазы роста побега последовательные пластохроны все более укорачиваются (от 4 дней до 1/4 дня) [224].

В [77] подтверждается закономерность уменьшения длины пластохронов по мере развития вегетативной сферы луговых злаков.

Понятие пластохрон в [224, 271, 288] рассматривается и в более широком смысле — для определения возраста примордиев, отдельных органов и всего растения в пластохронах.

4.3. Моделирование распределения ассимилятов и элементов минерального питания

Количественное описание процессов распределения продуктов фотосинтеза и минеральных элементов в растении является одним из центральных вопросов при разработке длиннопериодных динамических моделей формирования продуктивности посевов. Не останавливаясь подробно на рассмотрении моделирования (достаточно полные обзоры приведены в [9, 132, 191, 204]), отметим наличие трех основных подходов к решению этой проблемы.

Наиболее широко используется в моделях предложенное Ю. К. Россом [163] распределение ассимилятов, основанное на учете ростовых функций. Подход Ю. К. Росса получил развитие в [20, 132] и реализован во многих моделях; обзор этих моделей приведен в [9, 132].

Второй подход к распределению ассимилятов, основанный на концепции фондов, предложен де Витом [308], фундаментально разработан Дж. Торли [295], а для условий водного дефицита — Х. А. Молдау [95]. Эта концепция нашла применение в [10, 102, 185, 235, 238, 239, 243, 269, 276, 284].

В рамках третьего подхода, предложенного в [258, 259], ведется учет потребности растущих органов в ассимилятах в связи с особенностями морфогенетического развития культуры; этот подход получил дальнейшее развитие в [230, 262, 263, 265, 300] и использован в [68, 192]. В модели формирования качества урожая сельскохозяйственных культур, разработанной М. А. Строгановой [191], распределение ассимилятов описано также с учетом потребности в них растущих органов.

В соответствии с задачами нашей модели концепция распределения ассимилятов по потребности предусматривает учет потребности растущих за счет деления или растяжения тканей членников фитомера и на этой основе — учет потребности всего фитомера. Таким образом, нами непосредственно оценивается запрос на ассимиляты в период роста делением и в период роста растяжением отдельных членников и фитомера в целом.

Перейдем к рассмотрению основных положений предлагаемого нами подхода к моделированию распределения продуктов фотосинтеза и минеральных элементов.

Продукты фотосинтеза, образуясь в фотосинтезирующих органах, перемещаются оттуда к потребляющим тканям. Такими тканями являются в первую очередь активные меристемы, а также ткани запасных органов, которые нередко образуют главную емкость для ассимилятов. В клетках верхушечных меристем потребляющими процессами являются рост и дыхание. В запасных тканях наряду с ростом происходит интенсивное отложение

веществ в запас. Эти два процесса обычно тесно сопряжены между собой и оба приводят к увеличению органической массы тканей. Принципиальная схема транспорта и распределения ассимилятов в целом растении состоит в том, что зоны, находящиеся в состоянии роста, ориентируют на себя поток ассимилятов [75]. В основе круговорота элементов минерального питания в метаболизме растения как целого лежит прохождение жизненного цикла последовательными метамерами побега [172]. Закономерности, определяющие процессы роста метамеров растения, определяют закономерности организации общего метаболизма растения.

Рост органа растения определяется соотношением интенсивностей деления клеток и их растяжения [41, 110]. Рост может осуществляться или только за счет увеличения числа клеток, или только за счет растяжения, или же за счет обоих процессов, соотношение которых может различаться у различно растущих органов на разных этапах их роста [113].

Делящиеся меристематические клетки все время воспроизводят самих себя. Поэтому накапливаемые белки распределяются между отдельными частями клетки в том же соотношении, что и в исходных клетках. Происходит воспроизведение клеток, похожих на материнские [41].

Обособление вновь образующихся клеток осуществляется путем образования разделяющей целлюлозной пластинки в делящейся клетке. Прекратившие деление клетки меристемы увеличиваются в объеме, переходя в фазу растяжения. Основой роста клетки на фазе растяжения является непрерывное увеличение массы протоплазмы и клеточной оболочки [27].

На основе закономерностей транспорта ассимилятов в растении [75], круговорота элементов минерального питания [172], физиологической интерпретации сигмоидных кривых роста растения [113, 171] и клеточного подхода к анализу ростовых кривых [41, 110] определим потребность фитомера в ассимилятах и элементах минерального питания.

Под потребностью мы будем понимать запрос активно растущих меристем и зоны растяжения на получение азота и углеводов в количествах, которые обеспечивают наиболее интенсивное протекание процессов деления и растяжения клеток при складывающихся условиях среды. Будем полагать количество меристематических клеток в каждом из рассматриваемых органов пропорциональным их общей биомассе и соответственно содержанию в них азота и углеводов.

Тогда минимальным потребным количеством азота $N_{\text{потр } i}$ и углеводов $C_{\text{потр } i}$ для роста органов будет то количество, которое обеспечит интенсивное протекание процесса деления клеток. Количество углеводов и азота, необходимое для воспроизведения клеток, будет пропорционально исходному количеству азота и углеводов в меристеме растущего органа, а также потенциальной интенсивности деления клеток. Естественно, что последняя регули-

руется условиями внешней среды и в первую очередь термическим режимом.

Первый уровень потребности в азоте и углеводах для роста делением n -го члена фитомера запишем в виде

$$\frac{dC_{\text{потр } i}^n}{dt} = \left(\frac{dC_{\text{св}}^n(s)}{dt} + \frac{dC_{\text{зан}}^n(s)}{dt} + \frac{dC_{\text{клет}}^n(s)}{dt} \right) \gamma_{\text{д}}^n K_{\text{д}}^n(T), \quad (4.22)$$

$$\frac{dN_{\text{потр } i}^n}{dt} = \left(\frac{dN_{\text{св}}^n(s)}{dt} + \frac{dN_{\text{зан}}^n(s)}{dt} \right) \gamma_{\text{д}}^n K_{\text{д}}^n(T),$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, 9, \quad (4.23)$$

где $dC_{\text{потр } i}^n/dt$ — количество углеводов, необходимое для роста делением n -го члена фитомера, мг $C \cdot \text{сут}^{-1}$; $dN_{\text{потр } i}^n/dt$ — количество азота, потребное для роста делением n -го члена фитомера, мг $N \cdot \text{сут}^{-1}$; $\gamma_{\text{д}}^n$ — потенциальная интенсивность деления клеток меристемы n -го члена фитомера, безразмерная; $K_{\text{д}}^n(T)$ — функция влияния температуры внешней среды на скорость деления клеток, безразмерная; n — номер члена фитомера; 0 — колеоптиль (кол); 1 — листовая пластинка (л. п); 2 — листовое влагалище (л. в); 3 — междоузлие (м. у); 4 — зародышевые корни (з. к); 5 — боковая почка (б. п); 6 — узловое корни (у. к); 7 — сегмент (сегм); 8 — цветковый бугорок (цв. б); 9 — конус нарастания (к. н); s — меристема (мер).

Будем рассматривать четыре группы фитомеров, включающие n -е члены фитомеров:

I группа — зародышевые фитомеры, состоящие из листа (листовая пластинка и листовое влагалище), укороченного междоузлия, зародышевых корней, боковой почки и боковых корней, $n = 1, 2, \dots, 6$;

II группа — вновь детерминированные вегетативные фитомеры, включающие лист и междоузлие, $n = 1, 2, 3$;

III группа — конус нарастания вегетативного побега, $n = 9$;

IV группа — верхушечный фитомер — соцветие, которое состоит из конусов нарастания второго порядка и цветковых бугорков, $n = 7, 8$.

Минимальная потребность в азоте и углеводах i -го фитомера, относящегося к любой из четырех групп, определяется как сумма потребностей членов фитомера:

$$dC_{Q_{\text{потр } i}}^i/dt = \sum_n dC_{\text{потр } i}^n/dt, \quad (4.24)$$

$$dN_{Q_{\text{потр } i}}^i/dt = \sum_n dN_{\text{потр } i}^n/dt, \quad (4.25)$$

$$Q \in \text{I, II, III, IV,}$$

где $dC_{Q_{\text{потр } i}}^i/dt$ — количество углеводов, необходимое для роста

делением i -го фитомера, $\text{мг С} \cdot \text{сут}^{-1}$; $dN_{\text{потр}i}^i/dt$ — количество азота, необходимое для роста делением i -го фитомера, $\text{мг N} \times \text{сут}^{-1}$; Q — номер группы фитомеров; I — зародышевые фитомеры; II — вновь детерминированные фитомеры; III — конус нарастания вегетативного побега; IV — верхушечный фитомер.

Второй уровень потребности в азоте и углеводах для роста растяжением закончивших деление клеток мы рассматриваем как то количество азота и углеводов, которое может обеспечить высокую интенсивность процесса растяжения клеток при складывающихся условиях среды. Если запрос со стороны потребляющих тканей при таком уровне обеспеченности азотом и углеводами удовлетворяется полностью, то создаются оптимальные условия для роста растяжением. Вероятно, такой уровень потребности можно считать максимальной потребностью в азоте и углеводах растущих тканей.

У coleoptile злаков последовательные фазы роста клетки разделены во времени, первоначально идет рост делением, затем рост растяжением [181]. У зародышевых фитомеров деление и растяжение клеток идут одновременно длительное время [196]. Рост корня локализован в самом кончике, в зонах деления и растяжения. Размеры зоны деления мало изменяются в ходе роста [112].

В coleoptile пшеницы клеточные деления идут в течение 18—60 ч после намачивания семени. Рост заканчивается к 96 ч. Делится примерно 80—90 % клеток, и число их возрастает с 36 000 до 125 000. К моменту окончания деления coleoptile достигает в длину 17 мм. У овса клеточные деления прекращаются, когда coleoptile достигает в длину 8 мм и число клеток увеличивается в нем с 25 000 до 75 000. Деления могут происходить в крупных вакуолизированных клетках [40].

В coleoptile кукурузы, в которых еще идет деление клеток (длина 6—15 мм), содержание свободных аминокислот (в расчете на единицу сырого вещества) остается практически на одном уровне. С прекращением деления клеток у coleoptile кукурузы (начиная с 72 ч от момента замачивания семян) наступает период «чистого» роста растяжением, который продолжается двое суток и заканчивается к 120 ч прорывом coleoptile первым настоящим листом, после чего рост coleoptile практически прекращается [211].

Лист злаков возникает из тканей конуса нарастания вначале в виде листового бугорка, который, разрастаясь вокруг конуса, приобретает серповидную форму. Затем зачаток листа растет вертикально, удлиняется. Край его постепенно накладываются один на другой и лист приобретает коническую форму с расширением у основания. Верхняя часть листового зачатка дает начало листовой пластинке, а нижняя — влагалищу [196]. Начиная с момента заложения листа яровой пшеницы до того времени, когда он достигнет в длину 7 мм, все его клетки находятся в состоянии деления. К этому времени появляется первый проводя-

щий сосуд, лист длиной свыше 7 мм проявляет признаки дифференциации. Одновременно в большей части листа интенсивно делятся клетки во всех направлениях до тех пор, пока лист не достигнет 10 мм. Хотя от момента заложения листа до достижения длины 10 мм клетки успевают пройти в основном фазу деления, все же одновременно происходят процессы их растяжения и дифференциации. В период удлинения листа от 10 до 50 мм интенсивным делением охвачены не все клетки и не во всех направлениях; в эту фазу роста листа наряду с интенсивным делением клеток происходит их растяжение, а также их дифференциация [157]. С повышением ярусности меристематическая активность листа увеличивается [196].

В связи с тем что у надземных члеников фитомера длительное время деление и растяжение клеток идут одновременно [40, 113, 196], потребность в азоте и углеводах для роста растяжением пропорциональна количеству азота и углеводов всех закончивших деление клеток и потенциальной скорости растяжения клеток с учетом влияния условий среды. Второй (максимальный) уровень потребности в азоте и углеводах надземных члеников фитомера можно определить по выражениям

$$\frac{dC_{\text{потр}2}^n}{dt} = \left[\sum_i \sum_s \frac{dC_{\text{сн}}^{n(s)}}{dt} + \sum_i \sum_s \frac{dC_{\text{зан}}^{n(s)}}{dt} + \sum_i \sum_s \frac{dC_{\text{клет}}^{n(s)}}{dt} \right] \times \\ \times \gamma_p^n K_p^n(T^n) K_p^n(\psi^n), \quad (4.26)$$

$$\frac{dN_{\text{потр}2}^n}{dt} = \left[\sum_i \sum_s \frac{dN_{\text{сн}}^{n(s)}}{dt} + \sum_i \sum_s \frac{dN_{\text{зан}}^{n(s)}}{dt} \right] \gamma_p^n K_p^n(T^n) K_p^n(\psi^n), \\ n = 1, 2, 3, 5, 7, 8; \quad s \in \text{мер, раст}, \quad (4.27)$$

где $dC_{\text{потр}2}^n/dt$ — количество углеводов, необходимое для роста растяжением n -го членика фитомера, $\text{мг С} \cdot \text{сут}^{-1}$; $dN_{\text{потр}2}^n/dt$ — количество азота, необходимое для роста растяжением n -го членика фитомера, $\text{мг N} \cdot \text{сут}^{-1}$; γ_p^n — потенциальная относительная скорость растяжения всех закончивших деление клеток n -го членика фитомера, сут^{-1} ; $K_p^n(T^n)$ — функция влияния температуры растения на скорость роста растяжением, безразмерная; $K_p^n(\psi^n)$ — функция влияния водного потенциала растения на скорость роста, безразмерная.

Запуск роста корня сопровождается формированием структуры корня, позволяющей разделить в пространстве и времени оба ростовых процесса: сначала в меристеме клетки интенсивно делятся, затем в зоне растяжения быстро увеличиваются в размерах [41].

У корня зона деления и зона растяжения пространственно разделены. Период деления и роста клеток в корнях значительно короче, чем в побеге, однако деления клеток происходят чаще, а растяжения быстрее, чем в побегах. Благодаря этому корни интенсивно растут, обладая короткими зонами роста в пределах каждой оси. В корнях проростков относительная скорость роста растяжением [42] часто составляет 0,5—0,2 ч⁻¹, что значительно выше, чем у растущих coleoptiles, листьев и междоузлий (0,06—0,005 ч⁻¹).

У корня деятельность зоны деления клеток и зоны растяжения строго координирована, в результате чего в меристеме осуществляется регулярно идущее интенсивное деление; из меристемы в зону растяжения клетки поступают с постоянной скоростью и быстро растягиваются до максимальной длины [113]. Из отмеченных особенностей роста корня следует, что потребность в азоте и углеводах для роста корня растяжением пропорциональна содержанию азота и углеводов в закончивших деление клетках, поступающих в зону растяжения, и потенциальной интенсивности растяжения клеток с учетом влияния на нее факторов внешней среды.

Опишем второй (максимальный) уровень потребности в азоте и углеводах для роста растяжением подземных членников фитомера — зародышевых и узловых корней в виде:

$$\frac{dC_{\text{потр2}}^n}{dt} = \left(\frac{dC_{\text{ca}}^n(s)}{dt} + \frac{dC_{\text{зан}}^n(s)}{dt} + \frac{dC_{\text{клет}}^n(s)}{dt} \right) \gamma_p^n K_p^n(T) K_p^n(\psi^n), \quad (4.28)$$

$$\frac{dN_{\text{потр2}}^n}{dt} = \left(\frac{dN_{\text{ca}}^n(s)}{dt} + \frac{dN_{\text{зан}}^n(s)}{dt} \right) \gamma_p^n K_p^n(T) K_p^n(\psi^n),$$

$$n = 4, 6; \quad s \in \text{мер}, \quad (4.29)$$

где $dC_{\text{потр2}}^n/dt$ — количество углеводов, потребное для роста растяжением зародышевых и узловых корней, мг С · сут⁻¹; $dN_{\text{потр2}}^n/dt$ — количество азота, требуемое для роста растяжением корней, мг N · сут⁻¹; γ_p^n — потенциальная интенсивность растяжения закончивших деление клеток, безразмерная; $K_p^n(T)$ — функция влияния температуры почвы на скорость роста корней, безразмерная; $K_p^n(\psi^n)$ — функция влияния водного потенциала корней на скорость роста растяжением, безразмерная.

Второй (максимальный) уровень потребности в азоте и углеводах i -го фитомера может быть определен как сумма потребностей n -х членников фитомера. При этом мы рассматриваем четыре группы фитомеров: зародышевые, которые наиболее разнообразны по составу, $n=1, 2, \dots, 6$; вновь детерминированные, $n=1, 2, 3$; конус нарастания вегетативного побега, $n=9$; верхушечный фитомер, $n=7, 8$.

Максимальный уровень потребности определим по выражениям:

$$dC_{Q_{\text{потр2}}}^i/dt = \sum_n dC_{\text{потр2}}^n/dt, \quad (4.30)$$

$$dN_{Q_{\text{потр2}}}^i/dt = \sum_n dN_{\text{потр2}}^n/dt,$$

$$Q \in I, II, III, IV, \quad (4.31)$$

где $dC_{Q_{\text{потр2}}}^i/dt$ — количество углеводов, необходимое для роста делением i -го фитомера, мг С · сут⁻¹; $dN_{Q_{\text{потр2}}}^i/dt$ — количество азота, потребное для роста делением i -го фитомера, мг N · сут⁻¹.

Продукты фотосинтеза ориентируются при передвижении по флоэме на те ткани, которые их активно используют. Так как удаление растущего или запасающего органа или затормаживание его активности приводит к приостановке транспорта ассимилятов в его сторону, сложилось представление, что активно растущие меристемы посылают какие-то сигналы — «запросы», которые обычно достигают ближайших листьев и вызывают отток из них ассимилятов в сторону ткани, подающей эти сигналы [75].

При распределении ассимилятов в растении может возникать конкуренция на почве одновременного запроса ассимилятов несколькими потребляющими зонами с примерно одинаковой аттрагирующей силой. Как указывается в [75], растущий конус нарастания имеет обычно большую аттрагирующую силу в период вегетативного роста, хотя он не представляет большой емкости для ассимилятов из-за малого объема и относительно ограниченной метаболической активности. Тем не менее конус нарастания не только снабжается в первую очередь, но и может контролировать распределение веществ между другими частями растения. Сильное аттрагирующее действие могут оказывать и корни, особенно в период их роста и интенсивной поглотительной деятельности.

Обычно в растении возникает не одна, а несколько аттрагирующих зон, соответствующих, например, верхушечной меристеме стебля, кончикам корней, участкам интеркалярного роста, плодам и запасающим паренхимным тканям. Эти зоны и составляют главные центры, между которыми распределяется большая часть подвижных ассимилятов. Такие зоны возникают не одновременно, а в определенной последовательности, соответствующей программе онтогенеза данного растения.

Относительная величина запроса у каждого из таких центров неодинакова, вследствие чего и радиус, на который распространяется их влияние, различен. В ходе развития растения запрос одних зон может слабеть и утрачиваться, а других, напротив, возрастать, ориентируя на себя транспорт ассимилятов из более удаленных листьев. На завершающем этапе это может приводить

к тому, что весь транспорт подчиняется одному запросу, исходящему, например, от запасающего корня или семян.

В результате не только прекращаются все другие ростовые процессы, но наблюдается даже деполимеризация структурных и запасных веществ других тканей, и начинается перемещение продуктов их распада к доминирующему центру [75, 118].

Природа аттрагирующего фактора остается неясной, и это вынуждает пока рассматривать распределение ассимилятов в растениях главным образом в феноменологическом аспекте [75].

Транспорт углеводов и аминокислот к потребляющим зонам регулируется запросом со стороны потребляющих тканей. Относительная величина такого запроса будет неодинакова вследствие того, что он складывается из сочетания запросов на процесс деления и процесс растяжения клеток, которые у каждого органа формируются по-разному.

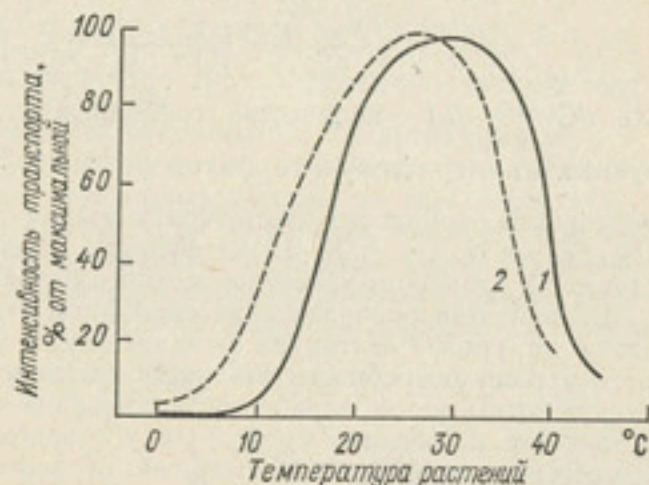
При моделировании роста, развития и формирования урожая злаков сформулируем основные положения, на которых будет основываться распределение углеводов и азота между растущими тканями в соответствии с их запросом. Под запросом будем иметь в виду введенные нами понятия о первом и втором уровнях потребности растущей меристемы фитомеров в азоте и углеводах: потребность для роста делением и потребность для роста растяжением.

Взаимодействия между производящими и потребляющими тканями рассматриваются на двух уровнях: уровне фитомера и уровне членников фитомера. Функциональную деятельность фитомера, состоящего в зависимости от типа фитомера из определенного набора его членников, рассматриваем как функционирование элементарной единицы роста злаков.

Одним из важных условий, влияющих на транспорт ассимилятов, является температурный режим растений и внешней среды, который постоянно меняется как в суточном ритме, так и в течение вегетационного периода. Для большинства растений он возможен в пределах 5—45 °C, хотя у некоторых теплолюбивых видов транспорт прекращается уже при 10 °C. У широкого круга растений оптимальная температура флоэмного транспорта лежит в пределах 22—25 °C, хотя в зависимости от видовых особенностей и экотипа растений этот оптимум может несколько смещаться в ту или иную сторону. Температурная кривая флоэмного транспорта при непродолжительных воздействиях крайними температурами имеет вид типичной биологической кривой (рис. 4.3): более пологий подъем от нулевых температур до оптимальных и более крутое падение в сторону критических высоких температур. Температурный коэффициент линейной скорости флоэмного транспорта в пределах, близких к оптимальным (25 °C), равен 2,5—3,0, т. е. соответствует Q_{10} ферментативных реакций [75]. Можно считать, что все основные закономерности передвижения ассимилятов по флоэме приложимы и к передвижению элементов минерального питания [172].

Рассмотрим распределение свободных углеводов и азота на уровне фитомера. Между потребляющими тканями распределение идет в два этапа. На первом этапе распределение свободных углеводов и азота идет по запросам только первого уровня потребности растущих фитомеров. Это происходит в ситуациях, когда суммарное количество свободных углеводов и свободного азота

Рис. 4.3. Обобщенные кривые зависимости флоэмного транспорта от температуры у растений с высокой (1) и низкой (2) чувствительностью к охлаждению. По данным [75].



в растении меньше или соответствует суммарному первому уровню потребности всех растущих фитомеров в углеводах и азоте, т. е.

$$dC_{\text{св}}/dt \leq \sum_i dC_{Q_{\text{потр}i}}^i/dt, \quad (4.32)$$

$$dN_{\text{св}}/dt \leq \sum_i dN_{Q_{\text{потр}i}}^i/dt. \quad (4.33)$$

При возникновении таких ситуаций распределение проводится с помощью вводимой нами функции распределения для роста делением, которая характеризует долю потребности i -го фитомера в азоте и углеводах в суммарной потребности всех растущих фитомеров для роста делением. Эта функция находится по соотношениям:

$$\beta_{Q_C}^i = \frac{dC_{Q_{\text{потр}i}}^i/dt}{\sum_i dC_{Q_{\text{потр}i}}^i/dt}, \quad (4.34)$$

$$\beta_{Q_N}^i = \frac{dN_{Q_{\text{потр}i}}^i/dt}{\sum_i dN_{Q_{\text{потр}i}}^i/dt}, \quad (4.35)$$

где $\beta_{Q_C}^i$ — функция поступления углеводов в i -й фитомер для роста делением, безразмерная; $\beta_{Q_N}^i$ — функция поступления азота в i -й фитомер для роста делением, безразмерная. Назовем функции $\beta_{Q_C}^i$ и $\beta_{Q_N}^i$ функциями роста делением i -го фитомера.

Для этих случаев количество свободных углеводов и свободного азота, транспортируемых в растущие ткани i -го фитомера, можно определить по выражениям:

$$\frac{dC_{Q_{св. тр}}^{i(мер)}}{dt} = \left(\beta_{Q_C}^i \frac{dC_{св}}{dt} \right) K_{тр}(T), \quad (4.36)$$

$$\frac{dN_{Q_{св. тр}}^{i(мер)}}{dt} = \left(\beta_{Q_N}^i \frac{dN_{св}}{dt} \right) K_{тр}(T), \quad (4.37)$$

где $dC_{Q_{св. тр}}^{i(мер)}/dt$ — количество свободных углеводов, транспортируемых в меристему i -го фитомера, мг С · сут⁻¹; $dN_{Q_{св. тр}}^{i(мер)}/dt$ —

количество свободного азота, поступившего в меристему i -го фитомера, мг N · сут⁻¹; $K_{тр}(T)$ — функция влияния температуры растения на транспорт углеводов и азота, безразмерная.

Второй этап распределения свободных углеводов и свободного азота на уровне фитомера реализуется с учетом запросов второго уровня потребности растущих фитомеров. Сигналом к «запуску» этого этапа служит возникновение следующей ситуации: суммарное количество свободных углеводов и свободного азота в растении превышает суммарный первый уровень потребности растущих фитомеров в углеводах и азоте:

$$dC_{св}/dt > \sum \frac{dC_{Q_{потр1}}^i}{dt}, \quad (4.38) \quad dN_{св}/dt > \sum \frac{dN_{Q_{потр1}}^i}{dt}. \quad (4.39)$$

Здесь принципиальное отличие от распределения ассимилятов и азота в растущий фитомер на первом этапе состоит в том, что распределение проводится с учетом первого (для роста делением) и второго (для роста растяжением) уровней потребности в углеводах и азоте. Рассматриваются сочетание и соотношение обоих запросов растущих меристем i -го фитомера и в соответствии с этим две фазы распределения.

В первой фазе распределение идет по первому уровню потребности. В связи с этим количество свободных углеводов и азота, транспортируемое в потребляющие ткани i -го фитомера и требуемое для роста делением, будет равно минимальной потребности этого фитомера.

Вторая фаза включает распределение по запросу растущих тканей второго уровня потребности. При этом оставшееся после удовлетворения запросов первого уровня потребности количество свободных углеводов и свободного азота в растении будет распределяться в i -й фитомер для роста растяжением. Осуществление этого распределения производится с помощью вводимой нами функции распределения для роста растяжением. Эта функция характеризует долю потребности i -го фитомера в углеводах и азоте в суммарной потребности всех растущих фитомеров для роста растяжением. Функции распределения углеводов и азота для роста i -го фитомера растяжением находятся по выражениям:

$$V_{Q_C}^i = \frac{dC_{Q_{потр2}}^i}{dt} / \sum \frac{dC_{Q_{потр2}}^i}{dt}, \quad (4.40)$$

$$V_{Q_N}^i = \frac{dN_{Q_{потр2}}^i}{dt} / \sum \frac{dN_{Q_{потр2}}^i}{dt}, \quad (4.41)$$

где $V_{Q_C}^i$ — функция поступления углеводов в i -й фитомер для роста растяжением, безразмерная; $V_{Q_N}^i$ — функция поступления азота в i -й фитомер для роста растяжением, безразмерная.

В случае когда возникает ситуация, описываемая выражениями (4.38) и (4.39), т. е. суммарное количество свободных углеводов и свободного азота в растении превышает минимальный запрос растущих меристем растения — суммарный первый уровень потребности растущих фитомеров, распределение проводится с помощью функций $V_{Q_C}^i$ и $V_{Q_N}^i$. Уравнения, описывающие поступление углеводов и азота в i -й фитомер на рост растяжением, представим в виде:

$$\frac{dC_{Q_{св. тр}}^{i(рост)}}{dt} = V_{Q_C}^i \left(\frac{dC_{св}}{dt} - \sum \frac{dC_{Q_{потр1}}^i}{dt} \right) K_{тр}(T), \quad (4.42)$$

$$\frac{dN_{Q_{св. тр}}^{i(рост)}}{dt} = V_{Q_N}^i \left(\frac{dN_{св}}{dt} - \sum \frac{dN_{Q_{потр1}}^i}{dt} \right) K_{тр}(T), \quad (4.43)$$

где $dC_{Q_{св. тр}}^{i(рост)}/dt$ — количество свободных углеводов, поступивших в i -й фитомер для роста растяжением, мг С · сут⁻¹; $dN_{Q_{св. тр}}^{i(рост)}/dt$ — количество свободного азота, транспортируемого в i -й фитомер для роста растяжения, мг N · сут⁻¹.

Вполне естественно, что при распределении ассимилятов и элементов минерального питания суммарное количество свободных углеводов и свободного азота в растении рассматривается как сумма количества свободных углеводов и азота, находящихся в каждом i -м фитомере.

В общем виде изменение содержания свободных углеводов и азота в i -м фитомере определяется соотношением скоростей: притока свободных углеводов и азота в фитомер, синтеза новых и распада стареющих структур, обновления белков, дыхания, связанного с ростом и поддержанием структур.

Как уже ранее отмечалось, взаимодействие между производящими и потребляющими тканями нами рассматривается на двух уровнях. Первый уровень — фитомер — рассмотрен выше. Второй уровень — распределение поступивших в фитомер свободных углеводов и свободного азота на уровне членика фитомера. Рассмотрим моделирование транспорта ассимилятов и элементов минерального питания в соответствии с запросом растущих меристем члеников фитомера.

Запрос члена фитомера определен нами как то требуемое количество свободных углеводов и азота, которое обеспечивает интенсивное протекание процессов роста: деления и растяжения клеток при вполне конкретных агрометеорологических условиях. Формулы (4.22), (4.23), (4.26) и (4.27) позволяют определить размеры запроса потребляющих членков фитомера — первый и второй уровни потребности в азоте и углеводах для роста делением и растяжением. Между растущими меристемами членков фитомера распределение идет в два этапа. Если при распределении ассимилятов между фитомерами растения выполняется условие, записанное в виде соотношений (4.32), (4.33), то распределение между составными частями фитомера — его членками происходит по запросу первого уровня потребности. Для реализации распределения вводим функции распределения для роста делением β_C^n , β_N^n , которые показывают, какую долю в суммарной потребности в азоте и углеводах i -го фитомера составляет n -й членок фитомера. Они могут быть вычислены по соотношениям; аналогичным (4.34) и (4.35).

Транспорт продуктов фотосинтеза и элементов минерального питания в растущие ткани n -го членка i -го фитомера определим по формулам, аналогичным (4.36) и (4.37). Во всех остальных случаях распределение ассимилятов между членками i -го фитомера идет с учетом запросов растущих меристем на удовлетворение первого и второго уровней потребностей — потребностей для роста делением и потребностей для роста растяжением n -х членков i -го фитомера. Учитывается соотношение этих запросов и в связи с этим рассматриваются две фазы распределения.

Для первой фазы характерно распределение на рост делением n -х членков фитомеров — по первому уровню потребности. Количество свободных углеводов и азота, поступающее в ткани n -го членка i -го фитомера и необходимое для роста делением, равно минимальной потребности этого членка [(4.22) и (4.23)].

Во второй фазе распределение свободных углеводов и азота в членки i -го фитомера идет по запросу потребляющих тканей второго уровня потребности. В этом случае то количество свободных углеводов и свободного азота в i -м фитомере, которое осталось после удовлетворения запросов членков фитомера по первому уровню потребности, будет распределяться в n -й членок фитомера для роста растяжением. Распределение ассимилятов и элементов минерального питания в активные меристемы членков фитомера реализуется с помощью вводимой нами функции распределения для роста растяжением. Последняя показывает долю потребности n -го членка i -го фитомера в азоте и углеводах в суммарной потребности всех растущих членков i -го фитомера для роста растяжением. Функции распределения свободных углеводов и азота V_C^n , V_N^n для роста n -го членка i -го фитомера растяжением находятся по соотношениям, аналогичным (4.40) и (4.41).

При наступлении второй фазы распределения (в тех случаях, когда суммарное количество свободных углеводов и свободного

азота в фитомере больше первого уровня потребности) ее реализация выполняется с привлечением функций V_C^n и V_N^n .

Следует отметить еще одну особенность описанного подхода к распределению ассимилятов и элементов минерального питания. В соответствии со сформулированным в [75] «суровым законом» распределения ассимилятов между листьями нами при моделировании распределения не рассматривается обмен ассимилятами между листьями (листовыми пластинками), закончившими рост. Свободные углеводы не транспортируются во взрослый лист, даже если он оказывается в стрессовых условиях, ингибирующих процесс фотосинтеза.

При распределении ассимилятов в растении может возникать конкуренция на почве одновременного запроса ассимилятов несколькими потребляющими зонами с примерно одинаковой атрагирующей силой. Конкуренция между зонами может особенно обостряться при ограниченной выработке ассимилятов, недостаток которых приводит к усилению запроса каждой из зон и часто ведет к безусловному преобладанию одной из них [75].

Так, при снижении интенсивности ФАР наблюдается увеличение доли ассимилятов, направляемых в апикальную часть побега, и ослабление транспорта в сторону корней. Если значения ФАР ниже критического ($I < I_{\text{крит}}$) и суммарное количество свободных углеводов и азота в растении меньше запросов второго уровня потребности верхушечных фитомеров, то количество углеводов и азота, транспортируемых в меристемы верхушечных фитомеров, может быть определено из сопоставления этих двух величин:

$$\sum_Q^{II, III, IV} \frac{dC_{Cn}^{(s)}(s)}{dt} = \begin{cases} \frac{dC_{Cn}}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{Cn}}{dt} < \sum_Q^{II, III, IV} \frac{dC_{Q_{\text{потр}2}}^i}{dt}, \\ \sum_Q^{II, III, IV} \frac{dC_{Q_{\text{потр}2}}^i}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{Cn}}{dt} \geq \sum_Q^{II, III, IV} \frac{dC_{Q_{\text{потр}2}}^i}{dt}, \end{cases} \quad (4.44)$$

$$\sum_Q^{II, III, IV} \frac{dN_{Cn}^{(s)}(s)}{dt} = \begin{cases} \frac{dN_{Cn}}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{Cn}}{dt} < \sum_Q^{II, III, IV} \frac{dN_{Q_{\text{потр}2}}^i}{dt}, \\ \sum_Q^{II, III, IV} \frac{dN_{Q_{\text{потр}2}}^i}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{Cn}}{dt} \geq \sum_Q^{II, III, IV} \frac{dN_{Q_{\text{потр}2}}^i}{dt}, \end{cases} \quad (4.45)$$

$Q \in II, III, IV$; $s \in \text{мер, раст.}$

Тогда в растущие меристемы нижних фитомеров будет транспортироваться следующее количество свободных углеводов и азота:

$$\sum_Q \frac{dC_{Q_{\text{св. тр}}}^i(s)}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{dC_{\text{св}}}{dt} \leq \sum_{Q, \text{ II, III, IV}} \frac{dC_{Q_{\text{потр2}}}^i}{dt}, \\ \frac{dC_{\text{св}}}{dt} - \sum_{Q, \text{ II, III, IV}} \frac{dC_{Q_{\text{потр2}}}^i}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{\text{св}}}{dt} > \sum_{Q, \text{ II, III, IV}} \frac{dC_{Q_{\text{потр2}}}^i}{dt}, \end{cases} \quad (4.46)$$

$$\sum_Q \frac{dN_{Q_{\text{св. тр}}}^i(s)}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{dN_{\text{св}}}{dt} \leq \sum_{Q, \text{ II, III, IV}} \frac{dN_{Q_{\text{потр2}}}^i}{dt}, \\ \frac{dN_{\text{св}}}{dt} - \sum_{Q, \text{ II, III, IV}} \frac{dN_{Q_{\text{потр2}}}^i}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{\text{св}}}{dt} > \sum_{Q, \text{ II, III, IV}} \frac{dN_{Q_{\text{потр2}}}^i}{dt}. \end{cases} \quad (4.47)$$

Распределение продуктов фотосинтеза между потребляющими тканями членков всех типов фитомеров производится по уравнениям (4.36), (4.37), (4.42) и (4.43).

В условиях длительной и повторяющейся засухи снижение общей продуктивности растений происходит в зависимости по крайней мере от трех причин: 1) ослабления фотосинтеза; 2) нарушения транспорта и распределения ассимилятов в растении и 3) приостановки ростовых процессов [75].

Одной из причин, ограничивающей продуктивность растений в условиях водного стресса, является приостановка роста меристем, происходящая после потери тургора. Завядшие ткани перестают посылать в сторону листьев запрос на ассимилянты, что логически должно приводить и к задержке флоэмного транспорта [75].

При действии прогрессирующей засухи имеется определенная последовательность в нарушении основных процессов, составляющих энергомассообмен растений: рост $\rightarrow$ фотосинтез $\rightarrow$ дыхание. По устойчивости к обезвоживанию эти процессы располагаются в обратном порядке: дыхание $>$ фотосинтез $>$ рост [70, 81]. Наблюдается следующая схема (рис. 4.4) изменения соотношения между интенсивностью фотосинтеза, дыхания и прироста при прогрессирующей засухе [70]. В качестве основного критерия рассматривается изменение показателей, характеризующих массообмен, которые неуклонно уменьшаются начиная с момента времени t_1 — начала действия засухи. Смену состояния растений под

действием прогрессирующей засухи можно условно разделить на три фазы: положительного ($t_1 t_2$), нулевого ($t_2 t_3$) и отрицательного ($t_3 t_5$) баланса органического вещества. Первая фаза характеризуется относительно благоприятными для протекания различных физиологических процессов условиями, но новообразование уже заторможено и надземная часть не в состоянии освоить продукты фотосинтеза, т. е. «предложение» превышает «спрос» и происходит «затоваривание» углеводами, что выражается в повышении их концентрации.

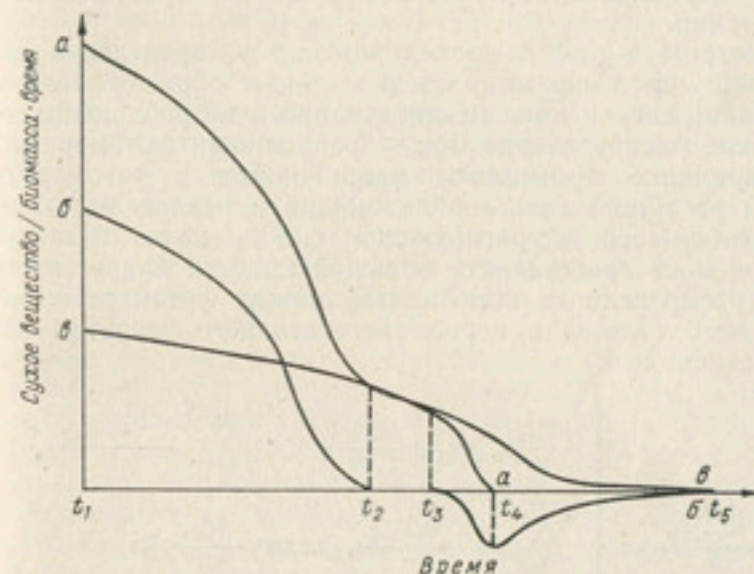


Рис. 4.4. Изменение соотношения между интенсивностью фотосинтеза, дыхания и прироста при прогрессирующей засухе.

a — фотосинтез, б — прирост, в — дыхание. По данным [70].

Несмотря на усиливающуюся напряженность в обеспечении растения водой, корневая система, которая находится в относительно более благоприятных условиях, может использовать эти углеводные «излишки» на освоение новых объемов почвы. Следовательно, компенсационные реакции первой фазы, протекая на фоне положительного баланса биомассы, связаны в значительной степени с организменным уровнем регуляции и сопровождаются активным проникновением растения в более влажные горизонты. При дальнейшем усилении засухи в результате снижения интенсивности фотосинтеза и ухудшения условий роста массообмен падает до компенсационного уровня (вторая фаза); при этом новообразование возможно только за счет внутренних резервов и лишь в весьма ограниченных зонах роста. К этому времени может быть израсходована вся доступная влага, вследствие чего рост корней приостановится. Компенсационные реакции в таком состоянии уже меньше связаны с организмом как целостной системой и осущест-

входят в значительной степени за счет локального сопротивления отдельных органов, тканей и клеток.

В третью фазу энергия, затрачиваемая на существование активной биомассы, уже не покрывается за счет внешнего энергообмена. Меняется соотношение между активными и пассивными (омертвевшими) элементами клеток и тканей в пользу последних, служащих, с одной стороны, донорами вещества и энергии, с другой — физической защитой активных элементов от разрушительного действия внешней среды. Постепенно начинают преобладать глубокие необратимые нарушения, приводящие к гибели растения.

Рассмотрим в рамках моделирования распределения ассимилятов между фитомерами растения, каким образом можно описать влияние засухи на изменение запаса потребляющих тканей и изменение распределения между различными фитомерами.

Одновременно ассимиляты направляются в фитомер первой группы и растущий апекс, обладающий в период вегетативного роста наибольшей аттрагирующей силой, хотя из-за малого объема он и не представляет большой емкости для ассимилятов. Опишем распределение ассимилятов между фитомерами в условиях водного стресса в период вегетативного развития следующими уравнениями:

$$\sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dC_{Q_{св. тр}}^i}{dt} = \begin{cases} \frac{dC_{св}}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{св}}{dt} < \sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dC_{Q_{потр2}}^i}{dt}, \\ \sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dC_{Q_{потр2}}^i}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{св}}{dt} \geq \sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dC_{Q_{потр2}}^i}{dt}, \end{cases} \quad (4.48)$$

$$\sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dN_{Q_{св. тр}}^i}{dt} = \begin{cases} \frac{dN_{св}}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{св}}{dt} < \sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dN_{Q_{потр2}}^i}{dt}, \\ \sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dN_{Q_{потр2}}^i}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{св}}{dt} \geq \sum_{Q \in I, III, IV} \frac{dN_{Q_{потр2}}^i}{dt}. \end{cases} \quad (4.49)$$

Так в условиях засухи осуществляется распределение продуктов фотосинтеза и элементов минерального питания в фитомеры I группы (зародышевые фитомеры, состоящие из листа, укороченного междоузлия, зародышевых корней, боковой почки — побега, боковых корней) и в зависимости от периода вегетации III группы — конус нарастания вегетативного побега или IV группы — верхушечного фитомера — соцветия.

Некоторое оставшееся после распределения в фитомеры I, III и IV групп количество свободных углеводов и азота будет распределяться в фитомеры II группы по правилам, аналогичным показанным выражениями (4.46) и (4.47).

Здесь необходимо остановиться на моделировании кушения и распределения питательных веществ в побеге кушения. Формирование зоны кушения у проростка злака происходит у основания его главного побега, растущего из зародышевой почки. Побег последующих порядков образуются тем же способом, что и у главного, но имеют меньшее число вегетативных фитомеров до соцветия, так как заложение соцветий происходит одновременно в точках роста всех порядков. Не каждый фитомер злака развивает жизнеспособную почку, и не каждая почка способна развиваться в побег кушения. В ходе образования боковых побегов на главной оси существенную роль играют коррелятивные отношения между побегами в системе кушения, связанные с влиянием ауксинов и перераспределением питательных веществ [179].

При моделировании процесса распределения ассимилятов и элементов минерального питания распределение между фитомерами бокового побега, возникшего из боковой почки зародышевого фитомера, а также побегов второго и последующих порядков осуществляется по уравнениям (4.36), (4.37) и (4.42), (4.43). Возникновение стрессовой ситуации и вызванное этим сокращение транспорта питательных веществ в боковые побеги соответствующего порядка определяется по уравнениям (4.48) и (4.49). По условию, введенному в модель, побеги первых порядков пользуются большим приоритетом, чем побеги более высоких порядков.

В условиях засухи распределение между различными члениками фитомеров I группы, свободных углеводов и азота будет идти по-разному. На фоне усиления поступления ассимилятов в одни членики фитомера (зародышевые и боковые корни), в другие членики (лист, боковая почка, побег) их транспорт резко сокращается. Распределение ассимилятов между различными члениками I группы фитомеров описывается выражениями вида:

$$\sum_n \frac{dC_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt} = \begin{cases} \frac{dC_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt} < \sum_n \frac{dC_{потр2}^n}{dt}, \\ \sum_n \frac{dC_{потр2}^n}{dt}, & \text{если } \frac{dC_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt} \geq \sum_n \frac{dC_{потр2}^n}{dt}, \end{cases} \quad (4.50)$$

$$\sum_n \frac{dN_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt} = \begin{cases} \frac{dN_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt} < \sum_n \frac{dN_{потр2}^n}{dt}, \\ \sum_n \frac{dN_{потр2}^n}{dt}, & \text{если } \frac{dN_{Q_{св. тр}}^i(s)}{dt} \geq \sum_n \frac{dN_{потр2}^n}{dt}, \end{cases} \quad (4.51)$$

$Q \in I; n = 4, 6; s \in \text{мер, раст, дифф.}$

Возможное оставшееся в фитомере количество нераспределенных продуктов фотосинтеза и элементов минерального питания распределяется в лист и боковую почку (побег) по уравнениям, аналогичным (4.46) и (4.47).

Особенности распределения ассимилятов и минеральных элементов между различными члениками нижних фитомеров — фитомеров I группы — хорошо отражают наблюдаемое в условиях засухи отмирание нижних листьев и молодых побегов кущения.

Говоря об особенностях распределения между надземными и подземными частями растений, необходимо отметить, что оно обеспечивается поглощением элементов минерального питания различными зонами корней. При моделировании распределения это обстоятельство впервые было учтено в моделях формирования качества урожая сельскохозяйственных культур [191].

Поглощение и обеспечение минеральными элементами растущих меристем корня (зоны деления и зоны растяжения) осуществляется за счет поглощения питательных элементов, которое идет этими зонами. В надземные органы поступают элементы минерального питания, поглощаемые дифференцированной зоной корня. Если количество поглощаемых питательных веществ недостаточно для обеспечения растущих тканей корня, они поступают из его дифференцированной зоны, сокращая обеспечение надземных органов [146].

Опишем эту особенность в дифференцированном обеспечении питательными элементами корней и надземных частей растения. Если количество поглощаемого растущей зоной (зоной деления и зоной растяжения) корня азота ($dN_{\text{погл}}^{i(s)}/dt$, $s \in \text{мер, раст}$) меньше второго уровня потребности в азоте этих зон, т. е.

$$dN_{\text{погл}}^{i(s)}/dt < \frac{dN_{\text{потр2}}^{i(s)}}{dt}, \quad (4.52)$$

то распределение азота в корнях — подземные членики нижних фитомеров ведется по выражению

$$\frac{dN_{Q_{\text{св. тр. (п)}}}^{i(s)}}{dt} = \begin{cases} \frac{dN_{\text{потр2}}^{i(s)}}{dt}, & \text{если } \left(\frac{dN_{\text{погл}}^{i(s)}}{dt} + \frac{dN_{\text{погл}}^{i(\text{лиф})}}{dt} \right) \geq \frac{dN_{\text{потр2}}^{i(s)}}{dt}, \\ \left(\frac{dN_{\text{погл}}^{i(s)}}{dt} + \frac{dN_{\text{погл}}^{i(\text{лиф})}}{dt} \right), & \text{если } \left(\frac{dN_{\text{погл}}^{i(s)}}{dt} + \frac{dN_{\text{погл}}^{i(\text{лиф})}}{dt} \right) < \frac{dN_{\text{потр2}}^{i(s)}}{dt}, \end{cases} \quad s \in \text{мер, раст.} \quad (4.53)$$

В остальных случаях распределение проводится по описанному выше способу.

Таким образом, нами рассмотрено моделирование распределения продуктов фотосинтеза и элементов минерального питания

в растении на двух уровнях — уровне фитомеров и уровне членика фитомера. Распределение свободных углеводов и азота в растении происходит в соответствии с изменяющейся в онтогенезе потребностью его растущих тканей в пластических материях и элементах минерального питания. В соответствии с «суровым законом» распределения ассимилятов между взрослыми листьями ассимиляты не транспортируются в закончившие рост листья. Потребляющие ткани ориентируют на себя транспорт углеводов и азота путем наличия «запроса» — потребности в углеводах и азоте для роста делением и растяжением.

4.4. Моделирование углеводного и азотного баланса растения

Процесс фотосинтеза, ответственный за образование органических соединений как запасных, так и включающихся в разнообразные вторичные реакции, представляет собой важнейшее звено метаболизма, определяющее продуктивность растений [106]. Являясь генетически заданной функцией растительного организма, фотосинтез и структурная организация фотосинтетического аппарата обладают присущими любым биологическим системам фундаментальными свойствами — способностью к самонастраиванию, саморегуляции и к адаптивным перестройкам в соответствии с внутренними потребностями организма и меняющимися условиями внешней среды [177].

Нами рассматривается процесс фотосинтеза всех фотосинтезирующих члеников фитомера: листовой пластинки и листового влагалища, видимой части междоузлия, верхушечного фитомера — соцветия. Регуляция интенсивности процесса фотосинтеза осуществляется как факторами внешней среды: интенсивностью ФАР, температурой и водным потенциалом растения, так и внутренними факторами: содержанием белков — количеством запасного азота в фотосинтезирующем членике фитомера, а также содержанием свободных углеводов в членике фитомера, которые определяют эндогенную регуляцию фотосинтеза и адаптивные реакции фотосинтетического аппарата.

Применим для определения интенсивности фотосинтеза каждого из фотосинтезирующих члеников i -го фитомера формулу Монси и Сазки [277] в модифицированном нами виде

$$\frac{d\Phi_{Q_n}^i}{dt} = \frac{\Phi_{Q_{\text{max}}}^i K_{\Phi} (N_{\text{зап}}^i) a_{\Phi}^i K_a (N_{Q_{\text{зап}}}^i) I_{Q_n}^i}{\Phi_{Q_{\text{max}}}^i K_{\Phi} (N_{Q_{\text{зап}}}^i) + a_{\Phi}^i K_a (N_{Q_{\text{зап}}}^i) I_{Q_n}^i} K_{\Phi} (C_{Q_{\text{св}}}^i) K_{\Phi} (T) K_{\Phi} (\psi_{Q_n}^i), \quad (4.54)$$

где $d\Phi_{Q_n}^i/dt$ — интенсивность фотосинтеза n -го членика i -го фитомера, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; $\Phi_{Q_{\text{max}}}^i$ — интенсивность фотосинтеза при

световом насыщении, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; $a_{\Phi Q}^i$ — начальный наклон световой кривой фотосинтеза, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} / (\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2})$; I_Q — интенсивность ФАР, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; $K_{\Phi}(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$, $K_a(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ — функции влияния содержания запасного азота на уровень плато и начальный наклон световой кривой фотосинтеза, безразмерные; $K_{\Phi}(C_{Q_{\text{св}}}^i)$ — функция влияния избытка свободных ассимилятов на интенсивность фотосинтеза, безразмерная; $K_{\Phi}(T)$, $K_{\Phi}(\psi_Q^i)$ — функции влияния температуры и водного потенциала фитомеров на фотосинтез, безразмерные.

В этой формуле параметры $K_{\Phi}(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ и $K_a(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ отражают

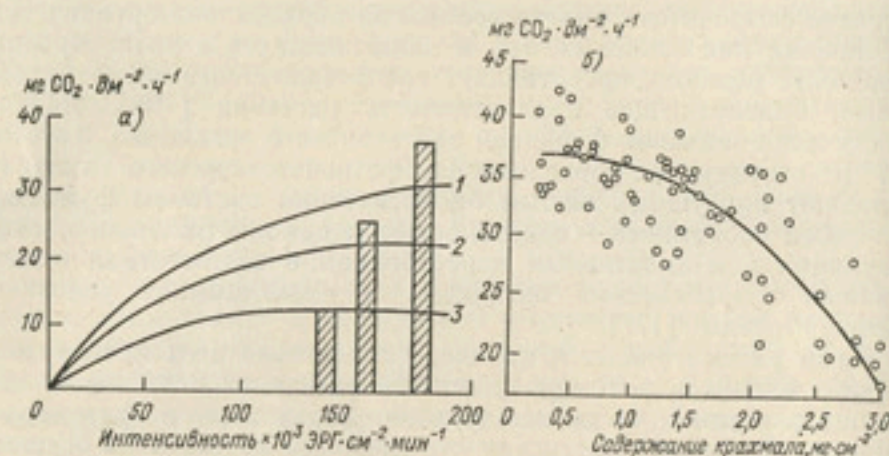


Рис. 4.5.

а — зависимость световых кривых фотосинтеза и количества белка фракции I (столбики) от уровня азотного питания (растения бобов). 1 — одна норма азота, 2 — $1/4$ нормы азота, 3 — $1/8$ нормы азота. По данным [5].
б — зависимость между содержанием крахмала и фотосинтезом в листьях сои. По данным [92].

влияние содержания белков в растении на формирование фотосинтетического аппарата.

Адаптация фотосинтеза к условиям освещения происходит только при достаточном снабжении растений азотом. Азот в данном случае необходим как субстрат для синтеза различных белков. Он является также активным фактором, вызывающим перестройку фотосинтетического аппарата, которая происходит только на фоне интенсивности света, обеспечивающей функцию синтеза белков хлоропласта. Наличие в хлоропластах собственной белоксинтезирующей системы, обеспечивающей эндогенную регуляцию фотосинтеза, дает возможность растениям наиболее быстро реагировать на изменения окружающей среды. В этих условиях увеличение норм азота при выращивании растений приводит к дополнительному синтезу белка фракции I и к повышению ее

активности, вследствие чего увеличивается интенсивность фотосинтеза на плато световой кривой (рис. 4.5). При этом увеличивается активность и других ферментов углеродного цикла [5].

Укажем на еще одну важную особенность параметров $K_{\Phi}(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ и $K_a(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ уравнения (4.54), отражающих влияние количества белков в фотосинтезирующем органе на интенсивность процесса фотосинтеза. Листья растений характеризуются определенным содержанием белков, изменяющимся в зависимости от возраста растения и листа. Установлено [196], что онтогенетическая изменчивость абсолютного и относительного содержания белков в листе описывается одновершинной кривой со спадом к концу развития растения. Старые листья характеризуются ослабленной интенсивностью синтеза, а также изменениями самой белоксинтезирующей системы. Убыль белков при старении листьев и уменьшении скорости их обновления связана как со снижением синтеза белков, так и с усилением их распада [196]. В связи с этим включение параметров $K_{\Phi}(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ и $K_a(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$

в уравнение (4.54) позволяет сделать заключение о том, что наряду с учетом влияния содержания белков в листе на интенсивность фотосинтеза эти параметры позволяют одновременно учитывать онтогенетический аспект фотосинтеза — через изменения содержания белков в фотосинтезирующем органе в онтогенезе. По существу этим параметрам применительно к отдельному фотосинтезирующему члену фитомера присущи все особенности, которые характерны и для онтогенетической кривой фотосинтеза отдельных фотосинтезирующих органов растения, понятие о которой введено нами в [128, 132]. Определяемое с помощью расчетов по модели закономерное снижение при старении содержания белков в каждом фотосинтезирующем члене фитомера обусловит посредством параметров $K_{\Phi}(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ и $K_a(N_{Q_{\text{зап}}}^i)$ снижение его фотосинтетической активности.

С помощью параметра $K_{\Phi}(C_{Q_{\text{св}}}^i)$ в уравнении (4.54), аналогично [10], учитывается еще один путь эндогенной регуляции фотосинтеза — регуляторное действие на фотосинтез конечных продуктов — крахмала и сахарозы.

В тех случаях, когда образование ассимилятов в листьях превосходит их транспорт и использование в растущих и запасующих тканях, фотосинтезирующие клетки и прежде всего сами хлоропласты испытывают торможение со стороны переполняющих их ассимилятов. Торможение фотосинтеза может вызываться избытком крахмала (рис. 4.5), что приводит к механическому воздействию на хлоропласты, увеличению всех форм сопротивления диффузии CO_2 — устьичного, мезофильного, карбоксилирования; структурными изменениями хлоропластов; ингибированием отдельных ферментов фотосинтетического аппарата избытком образующихся продуктов [10, 75, 92].

Уравнение (4.54) позволяет определить интенсивность процесса фотосинтеза у каждого из фотосинтезирующих членников i -го фитомера на единицу площади ассимилирующей поверхности.

Суммарный фотосинтез n -го членника i -го фитометра $\Phi_{Q_n}^i$ (мг С · сут⁻¹) за светлое время суток равен

$$\Phi_{Q_n}^i = \frac{d\Phi_{Q_n}^i}{dt} L_{Q_n}^i \tau_d, \quad (4.55)$$

где $L_{Q_n}^i$ — площадь ассимилирующей поверхности n -го членника i -го фитомера, дм²; τ_d — продолжительность светлого времени суток, ч.

Тогда суммарный фотосинтез i -го фитомера Φ_Q^i и всего растения Φ найдем как сумму вкладов каждого n -го фотосинтезирующего членника фитомера в суммарный фотосинтез растения (мг С · сут⁻¹):

$$\Phi_Q^i = \sum_n \Phi_{Q_n}^i \quad (4.56)$$

и

$$\Phi = \sum_i \Phi_Q^i. \quad (4.57)$$

При прорастании семени, старении растений и в стрессовых условиях внешней среды продукты распада белков и запасных углеводов пополняют фонд свободных углеводов и азота в растении.

Воспользуемся уравнением Михаэлиса—Ментен для описания процесса гидролиза углеводов и белков n -го членника фитомера, эндосперма семени:

$$\frac{dC_{Q_n \text{ гидр}}^i}{dt} = \frac{C_{\text{гидр}}^{\max} \bar{C}_{Q_n \text{ зап}}^i}{\bar{C}_{Q_n \text{ зап}}^i + K_{\text{гидр}}^C} K_{\text{гидр}}(T^i) K_{\text{гидр}}(\psi^i),$$

при $\bar{C}_{Q_n \text{ зап}}^i < \bar{C}_{\text{зап}}^{\text{кр}}$, (4.58)

$$\frac{dN_{Q_n \text{ гидр}}^i}{dt} = \frac{N_{\text{гидр}}^{\max} \bar{N}_{Q_n \text{ зап}}^i}{\bar{N}_{Q_n \text{ зап}}^i + K_{\text{гидр}}^N} K_{\text{гидр}}(T^i) K_{\text{гидр}}(\psi^i)$$

при $\bar{N}_{Q_n \text{ зап}}^i < \bar{N}_{\text{зап}}^{\text{кр}}$, (4.59)

где $dC_{Q_n \text{ гидр}}^i/dt$ — скорость гидролиза запасных углеводов n -го членника i -го фитомера, мг С · сут⁻¹; $C_{\text{гидр}}^{\max}$ — максимально возмож-

ная скорость гидролиза углеводов, мг С · сут⁻¹; $\bar{C}_{Q_n \text{ зап}}^i$ — концентрация запасных углеводов в n -м членнике i -го фитомера, мг СХ × мг⁻¹ (с. в.); $K_{\text{гидр}}^C$ — константа Михаэлиса—Ментен, мг С · мг⁻¹ (с. в.); $dN_{Q_n \text{ гидр}}^i/dt$ — скорость гидролиза белков, мг N · сут⁻¹; $N_{\text{гидр}}^{\max}$ — максимально возможная скорость гидролиза белков, мг N · сут⁻¹; $\bar{N}_{Q_n \text{ гидр}}^i$ — концентрация белков в n -м членнике фитомера, мг N · мг⁻¹ (с. в.); $K_{\text{гидр}}^N$ — константа Михаэлиса—Ментен, мг N · мг⁻¹ (с. в.); $K_{\text{гидр}}(T^i)$, $K_{\text{гидр}}(\psi^i)$ — функции влияния температуры и водного потенциала растения на процесс гидролиза, безразмерные.

Общее количество свободных углеводов и азота, образовавшихся в процессе гидролиза в растении, определим как суммарное по всем членникам всех фитомеров:

$$C_{\text{гидр}} = \sum_i \sum_n dC_{Q_n \text{ гидр}}^i/dt \quad (4.60)$$

и

$$N_{\text{гидр}} = \sum_i \sum_n dN_{Q_n \text{ гидр}}^i/dt, \quad (4.61)$$

где $C_{\text{гидр}}$ — количество свободных углеводов, образовавшихся в процессе гидролиза запасных углеводов, мг С · сут⁻¹; $N_{\text{гидр}}$ — количество свободного азота, образовавшегося в процессе гидролиза белков, мг N · сут⁻¹.

Фонд свободных углеводов растения будут составлять продукты фотосинтеза и продукты распада запасных углеводов и белков (при гидролизе белков одновременно пополняется и фонд углеводов):

$$dC_{\text{св}}/dt = \Phi + C_{\text{гидр}} + K_N N_{\text{гидр}}, \quad (4.62)$$

где K_N — коэффициент для расчета количества углерода в гидролизованном белке.

Поступление элементов минерального питания в растение идет активным и пассивным путем [146, 172]. Активное поглощение минеральных элементов определяется обменом веществ поглощающих клеток. Под пассивным понимают проникание веществ в клетку по градиенту концентрации. Движущей силой этого процесса признаются диффузия и осмос.

Считаем, что суммарное поглощение азота растением определяется меняющимся под влиянием условий внешней среды соотношением двух основных слагаемых этого процесса — поглощения активным путем и поглощения пассивным путем — выносом азота в надземные органы с транспирационным током. При этом аналогично [98, 191, 253, 275], первое слагаемое опишем уравнением Михаэлиса—Ментен, второе — с помощью одного из наиболее

простых соотношений пропорциональности поглощения концентрации азота в почвенном растворе и интенсивности транспирации:

$$\frac{dN_{\text{погл}}^{i(s)}}{dt} = \frac{N_{\text{погл}}^{\text{max}} \bar{N}_{\text{п.к}} m^{i(s)}}{K_{\text{погл}}^N + \bar{N}_{\text{п.к}}} K_{\text{погл}}^N (T^i) + \frac{dE_p}{dt} \bar{N}_{\text{п.р}},$$

$$s \in \text{мер, раст, дифф.} \quad (4.63)$$

где $dN_{\text{погл}}^{i(s)}/dt$ — скорость поглощения азота корнем, мг N · сут⁻¹; $N_{\text{погл}}^{\text{max}}$ — максимально возможная скорость поглощения азота кор-

нем, мг N · г⁻¹ (с. в.) · сут⁻¹; $\bar{N}_{\text{п.к}}$ — концентрация азота у поверхности корней, мг N · кг⁻¹; $K_{\text{погл}}^N$ — константа Михаэлиса—Ментен,

мг N · кг⁻¹; dE_p/dt — интенсивность транспирации, кг · сут⁻¹; $\bar{N}_{\text{п.р}}$ — концентрация доступного азота в почвенном растворе, мг N · кг⁻¹; $K_{\text{погл}}^N (T_i)$ — функция влияния температуры почвы на интенсивность процесса поглощения азота корнем.

В уравнении (4.63) второе слагаемое правой части при расчете скорости поглощения азота зоной клеточного деления и зоной растяжения корня равны нулю.

Параметр $K_{\text{погл}}^N (T)$ уравнения (4.63) отражает влияние температуры внешней среды на поглощение минеральных веществ корневой системой. Установлено [60], что при температуре почвы ниже 10 °C все процессы в почве в той или иной мере подавлены. В интервале от 10 до 20—25 °C интенсивность этих процессов возрастает. Даже самое незначительное повышение температуры почвы оказывает благоприятное влияние на развитие процесса поглощения растениями элементов минерального питания.

Фонд свободного азота растения включает в себя суммарное количество азота, поглощенного активным путем всеми поглощающими зонами (деления, растяжения, дифференцирования) корня, и количество свободного азота, образовавшегося в процессе гидролиза белков:

$$dN_{\text{св}}/dt = \sum_i \sum_s dN_{\text{погл}}^{i(s)}/dt + N_{\text{гидр}}. \quad (4.64)$$

Потребление фонда свободных ассимилятов после их распределения между фитомерами растения включает расходование на процессы синтеза новых структур — запасных углеводов и веществ клеточной стенки, а также затраты на дыхание. Фонд свободного азота расходуется на синтез белков в растущих (меристема, зона растяжения) тканях фитомеров и обновление белков дифференцированных тканей.

Опишем скорость синтеза углеводов и белков в растущих тканях члеников фитомеров, а также синтез вещества клеточных

стенок уравнениями кинетики односубстратной и двухсубстратной ферментативной реакции:

$$\frac{dC_{Q_{\text{зап}}}^{i(s)}}{dt} = \frac{C_{\text{синт}}^{\text{max}} \bar{C}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)}}{\bar{C}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)} + K_{\text{синт}}^C} K_{\text{синт}} (T^i) K_{\text{синт}} (\psi^i), \quad (4.65)$$

$$\frac{dN_{Q_{\text{зап}}}^{i(s)}}{dt} = \frac{N_{\text{синт}}^{\text{max}} \bar{N}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)}}{(\bar{N}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)} + K_{\text{синт}}^N) (\bar{C}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)} + K_{\text{синт}}^{\text{CN}})} \times$$

$$\times K_{\text{синт}} (T^i) K_{\text{синт}} (\psi^i), \quad (4.66)$$

$$\frac{dC_{Q_{\text{клет}}}^{i(s)}}{dt} = \frac{C_{\text{клет}}^{\text{max}} \bar{C}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)}}{\bar{C}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)} + K_{\text{клет}}^C} K_{\text{синт}} (T^i) K_{\text{синт}} (\psi^i),$$

$$s \in \text{мер, раст,} \quad (4.67)$$

где $dC_{Q_{\text{зап}}}^{i(s)}/dt$ — скорость синтеза запасных углеводов в s -й зоне n -го членика i -го фитомера, мг C · сут⁻¹; $dN_{Q_{\text{зап}}}^{i(s)}/dt$ — скорость

синтеза белков, мг N · сут⁻¹; $dC_{Q_{\text{клет}}}^{i(s)}/dt$ — скорость синтеза ве-

ществ клеточных стенок, мг C · сут⁻¹; $C_{\text{синт}}^{\text{max}}$ — максимально возможная скорость синтеза запасных углеводов, мг C · сут⁻¹;

$\bar{C}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)}$ — концентрация свободных углеводов, мг C · мг⁻¹ (с. в.);

$K_{\text{синт}}^C$, $K_{\text{клет}}^C$, $K_{\text{синт}}^{\text{CN}}$ — константы Михаэлиса—Ментен, мг C · мг⁻¹

(с. в.); $N_{\text{синт}}^{\text{max}}$ — максимально возможная скорость синтеза белков,

мг N · сут⁻¹; $\bar{N}_{Q_{\text{св.тр}}}^{i(s)}$ — концентрация свободного азота, мг N ×

× мг⁻¹ (с. в.); $K_{\text{синт}}^N$ — константа Михаэлиса—Ментен, мг N ×

× мг⁻¹ (с. в.); $C_{\text{клет}}^{\text{max}}$ — максимально возможная скорость синтеза

веществ клеточных стенок, мг C · сут⁻¹; $K_{\text{синт}} (T^i)$, $K_{\text{синт}} (\psi^i)$ —

функции влияния температуры и водного потенциала растений на

интенсивность процессов синтеза веществ, безразмерные.

При моделировании процесса дыхания членика фитомера нами

рассматривается дыхательная активность трех зон: меристемати-

ческой, роста растяжением и дифференцированной зоны:

$$\frac{dR_{Q_n}^{i(s)}}{dt} = C_{\text{г}}^{\text{г}} \left[\left(\frac{dC_{Q_{\text{зап}}}^{i(s)}}{dt} + \frac{dC_{Q_{\text{клет}}}^{i(s)}}{dt} \right) + K_N \frac{dN_{Q_{\text{зап}}}^{i(s)}}{dt} \right] +$$

$$+ C_m m_{Q_n}^{i(s)} \psi^i, \quad (4.68)$$

$$dR_{Q_n}^{i(\text{дифф})}/dt = C_m m_{Q_n}^{i(\text{дифф})} \psi^i,$$

$$s \in \text{мер, раст,} \quad (4.69)$$

где $dR_{Q_n}^{(s)}/dt$ — скорость дыхания s -й зоны n -го члена i -го фитомера, $\text{мг С} \cdot \text{сут}^{-1}$; $dR_{Q_n}^{(i(\text{диф}))}/dt$ — скорость дыхания дифференцированной зоны n -го члена i -го фитомера, $\text{мг С} \cdot \text{сут}^{-1}$; C_G — коэффициент, характеризующий затраты, связанные с синтезом новых структур, безразмерный; C_m — коэффициент дыхания поддержания, $\text{мг} \cdot \text{С} \cdot \text{мг}^{-1}$ (с. в.) $\cdot \text{сут}^{-1}$; φ_R — функция влияния температуры на дыхание, безразмерная.

У растений разных видов скорость обновления белков отличается незначительно, в онтогенезе она резко изменяется. Наиболее интенсивна она в молодых быстро растущих тканях. У быстро растущих листьев пшеницы и табака скорость обновления белка составляет 0,5—1,5 % в час; в интенсивно растущем втором листе пшеницы — 0,4—0,5 % в час; у закончивших рост первых листьев — 0,2—0,3 % в час. По мере старения растения интенсивность обновления белков снижается: за сутки в старых тканях обновляется лишь 1—3 % белка [196].

Интенсивность процесса обновления белков s -й зоны n -го члена i -го фитомера можно принять пропорциональной содержанию белков в этой зоне

$$\frac{dN_{Q_n \text{ обн}}^{(s)}}{dt} = \frac{d\alpha_{\text{обн}}^s}{dt} N_{Q_n \text{ зап}}^{(s)}, \quad s \in \text{мер, раст, дифф.} \quad (4.70)$$

где $dN_{Q_n \text{ обн}}^{(s)}/dt$ — скорость обновления белков, $\text{мг N} \cdot \text{сут}^{-1}$; $d\alpha_{\text{обн}}^s/dt$ — относительная скорость обновления белков, сут^{-1} .

Количество свободных углеводов и азота в каждой зоне n -го члена i -го фитомера определяется соотношением скоростей; притока свободных углеводов и азота в s -ю зону n -го члена i -го фитомера, синтеза новых и распада стареющих структур, обновления белков растущих и дифференцированных зон, затрат на дыхание роста и дыхание поддержания. Изменение содержания свободных углеводов и азота в каждой зоне члена фитомера равно

$$\frac{dC_{Q_n \text{ св}}^{(s)}}{dt} = \frac{dC_{Q_n \text{ св, тр}}^{(s)}}{dt} - \frac{dC_{Q_n \text{ зап}}^{(s)}}{dt} - \frac{dC_{\text{клет}}^{(s)}}{dt} - \frac{dN_{Q_n \text{ зап}}^{(s)}}{dt} K_N - \frac{dR_{Q_n}^{(s)}}{dt}, \quad (4.71)$$

$$\frac{dN_{Q_n \text{ св}}^{(s)}}{dt} = \frac{dN_{Q_n \text{ св, тр}}^{(s)}}{dt} - \frac{dN_{Q_n \text{ зап}}^{(s)}}{dt} - \frac{dN_{Q_n \text{ обн}}^{(s)}}{dt}, \quad s \in \text{мер, раст, дифф.} \quad (4.72)$$

Динамика сухой биомассы каждой из трех зон (меристема, зона растяжения, зона дифференциации) n -го члена i -го фитомера определяется как баланс свободных углеводов и азота, за-

пасных углеводов и азота, вещества клеточных стенок в каждой зоне:

$$\frac{dm_{Q_n}^{(s)}}{dt} = \left(\frac{dC_{Q_n \text{ св}}^{(s)}}{dt} + \frac{dC_{Q_n \text{ зап}}^{(s)}}{dt} + \frac{dC_{Q_n \text{ клет}}^{(s)}}{dt} \right) K_C + \frac{dN_{Q_n \text{ св}}^{(s)}}{dt} + \frac{dN_{Q_n \text{ зап}}^{(s)}}{dt}, \quad s \in \text{мер, раст, дифф.} \quad (4.73)$$

Для определения прироста сухой биомассы отдельного члена фитомера, фитомера и растения в целом следует просуммировать приросты соответственно всех зон, членов фитомера и фитомеров:

$$dm_{Q_n}^i/dt = \sum_s dm_{Q_n}^{(s)}/dt, \quad (4.74)$$

$$dm_{Q_n}^i/dt = \sum_n dm_{Q_n}^i/dt, \quad (4.75)$$

$$dM/dt = \sum_i dm_{Q_n}^i/dt,$$

$$s \in \text{мер, раст, дифф}; \quad n \in 1, 2, 9; \quad i \in 1, 2, \dots, N. \quad (4.76)$$

Функциональная деятельность каждого фитомера и его отдельного члена завершается наступлением процессов старения. Это состояние связано [78] с мобилизационными взаимоотношениями между отдельными частями растения, так как присутствие активных центров мобилизации (цветки, плоды) может вызвать старение других частей растения. Старение органа — это, в сущности, усиление и ускорение тех процессов изнашивания, которые начинаются как только орган достигает своего предельного размера.

Старение может давать растению ряд преимуществ в отношении развития [78]. Так, например, старение нижних листьев на стебле обеспечивает сохранение и повторное использование органических и неорганических питательных веществ, содержащихся в этих листьях. Старение целого растения — это, очевидно, один из способов адаптации к неблагоприятным условиям внешней среды, например к периодам усиливающейся конкуренции с соседними растениями, к слишком низким и слишком высоким температурам или к недостатку воды.

Постепенное ослабление фотосинтеза и дыхания фитомеров, а также снижение содержания в них РНК, белков и углеводов, которое происходит как за счет ослабления их синтеза, так и за счет усиления распада, являются показателями начала естественного снижения функциональной активности, ведущего к старению [56, 64, 78].

Моделирование процесса старения растений впервые выполнено нами в [132] на основе использования универсального закона старения биологических систем. При этом введено понятие «функционирующая» биомасса, под которой подразумевается

метаболически активная биомасса в отличие от общей сухой биомассы органов.

При моделировании процесса старения, являющегося как последним звеном в жизненном цикле фитомера, так и адаптивной реакцией на воздействие стрессовых условий внешней среды, нами учитывается снижение интенсивности фотосинтеза фотосинтезирующего членика фитомера, снижение содержания белков и запасных углеводов в членике фитомера, отток продуктов распада из стареющего членика фитомера. Эти процессы уменьшают количество активно функционирующей биомассы члеников фитомеров. Ее количество определяется достигнутым уровнем функционирующей биомассы и интенсивностью процесса отмирания части функционирующей биомассы — распадом белков и углеводов, отмиранием веществ клеточных стенок. Полагаем относительную скорость отмирания веществ клеточных стенок пропорциональной отношению уменьшения содержания белков к их общему содержанию в членике фитомера.

Обозначим функционирующую биомассу через $\tilde{m}$. Определим количество функционирующей биомассы n -го членика i -го фитомера по уравнению:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{m}_{Q_n}^i}{dt} = & \begin{cases} \frac{dm_{Q_n}^i}{dt} & \text{при } \bar{N}_{Q_n}^i \geq \bar{N}_{\text{крит1}}^i, \\ \frac{dm_{Q_n}^i}{dt} - \left[\frac{dN_{Q_n}^i}{dt} \left(1 + K_N K_C + K_C \frac{C_{Q_n}^i}{N_{Q_n}^i} \right) + \frac{dC_{Q_n}^i}{dt} K_C \right] & \text{при } \bar{N}_{\text{крит1}}^i > \bar{N}_{Q_n}^i, \end{cases} \quad (4.77) \end{aligned}$$

где $\bar{N}_{\text{крит1}}^i$ — критическое содержание белков в n -м членике i -го фитомера, характеризующее возможное уменьшение содержания белков в пределах внутрисуточной естественной физиологической изменчивости содержания белков, не вызывающее изменения их функциональной деятельности.

Снижение содержания белков в членике фитомера сопровождается пожелтением этого членика.

Считая, что площадь ассимилирующей поверхности членика фитомера пропорциональна количеству функционирующей биомассы, определим размеры ассимилирующей поверхности n -го членика i -го фитомера с помощью предложенного нами в [132] соотношения

$$dL_{Q_n}^i/dt = (\tilde{m}_{Q_n}^i/dt) \cdot (1/\sigma_n^i), \quad (4.78)$$

где σ_n^i — удельная поверхностная плотность n -го членика i -го фитомера, г·дм⁻².

Таким образом, нами рассмотрено формирование составляющих углеводного и азотного баланса фитомеров растения. В растении выделен единый фонд углеводов и единый фонд азота. Изменение содержания свободных углеводов в фитомере является результирующим скоростей процессов: транспорта свободных ассимилятов в фитомер, синтеза запасных углеводов и белков, вещества клеточных стенок, дыхания. Баланс свободного азота в фитомере определяется интенсивностью процессов: транспорта свободного азота в фитомер, синтеза белка, затрат на обновление белков растущих и дифференцированных зон фитомеров.

4.5. Моделирование процесса зернообразования

Влияние факторов внешней среды на процессы цветения, оплодотворения, формирования зерновки, налива и созревания зерна является чрезвычайно сложным. Механизмы, регулирующие распределение ассимилятов и элементов минерального питания в репродуктивных органах злаков, пока еще не ясны, что объясняет отсутствие достаточно стройной теории моделирования этих процессов.

Существуют различные подходы к моделированию формирования репродуктивных органов. В [291] рассматривается развитие колоса, обеспеченность его ассимилятами, рост зерна. Получено уравнение, связывающее количество зерен на единице площади с количеством общей сухой надземной массы растения. В качестве основных процессов, протекающих при наливе зерна, исследуются превращения и накопления углеводов и белков. Предложено уравнение баланса ассимилятов в зерне после цветения. Рост зерна определяется уровнем обеспеченности углеводами и азотом.

Применение фактора озерненности в зависимости от температуры воздуха и осадков в период цветения позволило в [34] оценить влияние внешней среды на формирование колоса в этот период.

В [304] предложены два варианта моделирования роста пшеницы после цветения. В первом варианте модели период налива зерна делится на три последовательные стадии (лаг-период, линейную и стадию созревания). Фонд углеводов пополняется продуктами фотосинтеза и расходуется на синтез крахмала в зерне и затраты на дыхание. Потребность зерна в азоте находится с учетом потенциальной скорости накопления азота в зерне. Продолжительность периода налива зерна определяется с помощью задаваемой суммы температур. На аналогичных принципах основана и более ранняя модель [303].

Второй вариант модели [304] рассматривает взаимодействие углеводов и азота в растении при постоянной температуре. Масса зерна рассчитывается по скорости роста зерна. Потенциальная скорость роста зависит от числа зерен и потенциальной скорости

накопления углеводов. Скорость роста зерна определяется потенциальной скоростью роста и доступностью углеводов и азота.

В работе [264] изложена названная автором «предварительной» модель органогенеза. Определен темп формирования побегов кушения в зависимости от обеспеченности вегетативного роста углеводами. Вводится понятие о потоке углеводов, который может монополюльно потребляться одним побегом. Скорость закладки колоса находится как функция числа уже заложившихся колосьев и количества доступных углеводов на один побег. Общее число колосков определяется временем, в течение которого они могли закладываться, а также условиями, регулирующими уровень обеспеченности ассимилятами. Количество зерен рассчитывается как функция обеспеченности колоска углеводами, а масса зерна — как функция потока углеводов, доступных для роста зерна; обеспеченность азотом в модели не рассматривается.

В модели роста зерна пшеницы от цветения до созревания [296] динамика сухой массы зерна определяется концентрацией углеводов по уравнению Михаэлиса—Ментен.

При моделировании формирования урожая зерновых культур нами [67, 132] предложено уравнение для описания прироста сухой биомассы зерна в зависимости от поступления ассимилятов в колос и максимально возможного прироста биомассы зерна. В [268] при моделировании накопления крахмала в зерне рассматривается переток сахарозы из флагового листа в колос.

Субмодель налива зерна наиболее полно разработана в [190, 191] в рамках модели формирования качества урожая зерновых культур. Субмодель описывает процессы формирования зерна в период цветения — начала налива и синтеза белка и крахмала в период налива.

Нами процесс формирования соцветия у злаков рассматривается на всех этапах от образования сегментов (зачаточных члеников) оси соцветия и цветка до формирования соцветия. Количественное описание этого процесса приведено в разделе 4.3. Уравнения (4.10) — (4.16) позволяют определить количество цветков, а уравнения (4.74), (4.75) — биомассу цветков.

Исходным для образования нового дочернего организма в материнском теле является процесс опыления и оплодотворения. Продолжительность процессов оплодотворения в значительной мере зависит от условий внешней среды. Обычно температура 20—25 °C и влажность воздуха 40—50 % ускоряют эти процессы, а высокие (30—40 °C) и низкие (5—10 °C) температуры, так же как и высокая влажность воздуха (90—100 %), замедляют процессы опыления и оплодотворения [72]. Цветение отдельных цветков одного колоса протекает неодновременно: начинается оно с цветков, находящихся несколько ниже середины колоса, затем зацветают выше- и нижележащие колоски колоса [72].

Будем полагать интенсивность процессов цветения и оплодотворения пропорциональной исходному количеству цветков и относительной скорости этих процессов, определяемой эндогенными

факторами и регулируемой условиями внешней среды. Учет интенсивности отмирания неоплодотворенных завязей, которые опадают. Примем во внимание также хорошо известное положение о наличии низких критических температур $T_{кр}$, вызывающих полную стерильность колоса.

Опишем скорость изменения количества оплодотворенных цветков (завязей) колосков уравнениями вида:

$$\frac{dq_{опл. ш}}{dt} = q_{ш} \left[\frac{dy_{опл}}{dt} K_{опл}(T) K_{опл}(\psi) - \frac{d\omega_{отм}}{dt} \right]$$

при $T > T_{кр}$, (4.79)

$$q_{опл. ш} = 0 \text{ при } T \leq T_{кр}, \quad (4.80)$$

где $dq_{опл. ш}/dt$ — изменение количества оплодотворенных завязей в колоске, цветок · колосок⁻¹ · сут⁻¹; $q_{ш}$ — количество цветков в колоске, цветок · колосок⁻¹; $dy_{опл}/dt$ — относительная скорость процессов цветения и оплодотворения, сут⁻¹; $d\omega_{отм}/dt$ — относительная скорость изменения количества неоплодотворенных завязей, сут⁻¹; $K_{опл}(T)$, $K_{опл}(\psi)$ — функции влияния температуры и водного потенциала цветков на интенсивность процессов цветения и оплодотворения, безразмерные.

Оплодотворенная завязь начинает быстро расти.

При моделировании процессов формирования зерновки и налива зерна мы исходили из существующих представлений [65, 72] о наличии трех фаз процесса зернообразования. Первая фаза формирования зерна — от оплодотворения до начала молочной спелости — соответствует X этапу органогенеза. Сухая масса 1000 оплодотворенных завязей пшеницы — около 1 г, содержание воды — около 80 %. К концу этой фазы зерновка достигает конечных размеров длины зрелой зерновки. Консистенция содержимого изменяется от мутноводянистой до жидкомолочной вследствие начавшегося процесса отложения крахмальных зерен. Влажность к концу этой фазы (X этапа) снижается до 65—70 %. Продолжительность фазы в зависимости от температурных условий составляет 12—14 дней.

Вторая фаза — фаза налива зерна — совпадает с XI этапом органогенеза (от начала молочной спелости до начала восковой). При неизменяющейся в этой фазе длине зерновка за счет интенсивного накопления органических веществ продолжает расти в ширину и толщину. Окраска зерновки изменяется от интенсивно зеленой в начале фазы до телесного цвета в конце. Консистенция изменяется от молочной через тестообразную до восковой. Содержание влаги снижается от 65—70 до 38—40 %. Продолжительность этой фазы 20—30 дней. С завершением этой фазы (XI этапа органогенеза) прекращается поступление веществ в зерновку пшеницы.

Третья фаза созревания зерновки (XII этап органогенеза) характеризуется завершением процессов отчленения зерновки от

материнского организма. Вследствие продолжающейся потери воды, содержание которой к концу XII этапа снижается от 35—40 до 15—18 %, зерновка к концу XII этапа несколько уменьшается в размерах.

Процесс формирования зерновки включает рост и развитие зародыша, формирование эндосперма, образование оболочек зерна.

После опыления и оплодотворения в зародыше цветка злаков интенсивно идут процессы деления и дифференциации, приводящие к формированию зародыша.

Скорость синтеза запасных углеводов, белков и веществ клеточных стенок зародыша зерновки определяется уровнем содержания свободных углеводов и азота, поступающих в цветок. Опишем интенсивность протекания этих процессов с помощью уравнения Михаэлиса—Ментен. По уравнению вида (4.65) определим $dC_{\text{зап}}^{\text{зар}}/dt$ — скорость синтеза запасных углеводов зародыша, мг С · сут⁻¹; по выражению, аналогичному (4.66), $dN_{\text{зап}}^{\text{зар}}/dt$ — интенсивность процесса синтеза белков зародыша, мг N · сут⁻¹; по формуле типа (4.67) $dC_{\text{клет}}^{\text{зар}}/dt$ — скорость синтеза веществ клеточных стенок зародыша, мг С · сут⁻¹.

В зародышевом мешке одновременно с формированием зародыша также происходят изменения. Идет процесс образования клеток эндосперма, в которых в последующем будет идти процесс отложения крахмала и белков, а также процесс формирования семенной и плодовой оболочек зерновки. Полагая скорость процессов синтеза тканей эндосперма, семенной и плодовой оболочек зерновки зависимой от содержания свободных углеводов в цветке, опишем их уравнением Михаэлиса—Ментен. С помощью уравнения, аналогичного (4.65), определим скорость синтеза тканей эндосперма и вещества клеточных стенок оболочек.

Как указывается в [108], только после того, как полость зародышевого мешка выполнена отдельными клетками, в последних откладывается крахмал. Идет процесс образования и накопления белков. Интенсивность этих процессов регулируется факторами внешней среды. Условия внешней среды оказывают [114] большое влияние на активность ферментов, что проявляется в большем или меньшем накоплении тех или иных продуктов их деятельности. При созревании семян происходит их неуклонное обезвоживание, связанное с транспирацией всей зерновки. Транспирация влаги связана с освобождением ее при синтезе запасных углеводов и белков из более простых соединений.

Интенсивность процессов образования крахмала и белков в эндосперме зерновки опишем уравнениями:

$$\frac{dC_{\text{крахм}}^{\text{энд}}}{dt} = \frac{C_{\text{крахм}}^{\text{макс}}(C_{\text{св. тр}}^{\text{энд}})^n}{(C_{\text{св. тр}}^{\text{энд}})^n + K_{\text{снт}}^{\text{крахм}}} K_{\text{снт}}(E_{\text{зерн}}) K_{\text{снт}}(T^{\text{св}}), \quad (4.81)$$

$$\frac{dN_{\text{зап}}^{\text{энд}}}{dt} = \frac{N_{\text{зап}}^{\text{макс}}(C_{\text{св. тр}}^{\text{энд}})^n}{(C_{\text{св. тр}}^{\text{энд}})^n + K_{\text{снт}}^{\text{N}}(C_{\text{св. тр}}^{\text{энд}})^n} K_{\text{снт}}(T^{\text{св}}) K_{\text{снт}}(E_{\text{зерн}}), \quad (4.82)$$

где $dC_{\text{крахм}}^{\text{энд}}/dt$ — скорость синтеза крахмала в эндосперме зерновки, мг С · сут⁻¹; $dN_{\text{зап}}^{\text{энд}}/dt$ — интенсивность синтеза белков в эндосперме, мг N · сут⁻¹; $K_{\text{снт}}(E_{\text{зерн}})$ — функция влияния скорости транспирации зерновки на синтез крахмала и белка в эндосперме зерновки, безразмерная; $K_{\text{снт}}(T^{\text{св}})$ — функция влияния температуры цветков на интенсивность процессов синтеза, безразмерная.

Процессы, описываемые уравнениями (4.79)—(4.82), протекают в течение первой и второй (по Н. Н. Кулешову) фаз зернообразования.

Интенсивность дыхания в этот период определяется как

$$\frac{dR_{\text{зерн}}}{dt} = C_{\text{г}}^{\text{зерн}} \left[\left(\frac{dC_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} + \sum_e \frac{dC_{\text{клет}}^e}{dt} + \frac{dC_{\text{крахм}}^{\text{энд}}}{dt} \right) + K_N \left(\frac{dN_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} + \frac{dN_{\text{зап}}^{\text{энд}}}{dt} \right) \right] + C_{\text{м}}^{\text{зерн}} m_{\text{зерн}} \varphi_R, \quad (4.83)$$

$e \in \text{зар, клет. энд., клет. обол.},$

где $dR_{\text{зерн}}/dt$ — интенсивность дыхания зерновки, мг С · сут⁻¹; клет. энд. — клетки эндосперма; клет. обол. — вещества клеточных стенок оболочек.

Баланс свободных углеводов и азота в зерновке определяется интенсивностью притока свободных углеводов и азота в зерновку, синтезом новых структур и затратами на дыхание.

Запишем изменение содержания свободных углеводов и свободного азота в зерновке в виде балансового уравнения:

$$\frac{dC_{\text{св}}^{\text{зерн}}}{dt} = \frac{dC_{\text{св. тр}}^{\text{св. тр}}}{dt} - \left(\frac{dC_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} + \sum_e \frac{dC_{\text{клет}}^e}{dt} + \frac{dC_{\text{крахм}}^{\text{энд}}}{dt} \right) - K_N \left(\frac{dN_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} + \frac{dN_{\text{зап}}^{\text{энд}}}{dt} \right) - \frac{dR_{\text{зерн}}}{dt}, \quad (4.84)$$

$$\frac{dN_{\text{св}}^{\text{зерн}}}{dt} = \frac{dN_{\text{св. тр}}^{\text{св. тр}}}{dt} - \frac{dN_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} - \frac{dN_{\text{зап}}^{\text{энд}}}{dt}, \quad (4.85)$$

$e \in \text{зар, клет. энд., клет. обол.}$

Прирост сухой массы зерновки определим как

$$\frac{dm_{\text{зерн}}}{dt} = K_C \left(\frac{dC_{\text{св}}^{\text{зерн}}}{dt} + \frac{dC_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} + \sum_e \frac{dC_{\text{клет}}^e}{dt} + \frac{dC_{\text{крахм}}^{\text{энд}}}{dt} \right) + \frac{dN_{\text{св}}^{\text{зерн}}}{dt} + \frac{dN_{\text{зап}}^{\text{зар}}}{dt} + \frac{dN_{\text{зап}}^{\text{энд}}}{dt}. \quad (4.86)$$

С завершением второй фазы зернообразования (при достижении критического уровня влажности в зерне $W_{\text{кр}}$, равного 40 %)

прекращается поступление свободных углеводов и азота в зерновку.

В третьей фазе зернообразования происходит дальнейшее обезвоживание, снижается интенсивность дыхания, завершаются процессы отчленения зерновки от материнского организма.

Интенсивность дыхания в этот период будем рассматривать как дыхание поддержания и примем его пропорциональным массе зерновки с учетом влияния температуры и физиологического возраста зерновки на этот процесс:

$$dR_{\text{зерн}}/dt = C_{\text{т}}^{\text{зерн}} m_{\text{зерн}} \varphi_R \alpha_R^{\text{зерн}}, \quad (4.87)$$

$\alpha_R^{\text{зерн}}$ — относительное изменение интенсивности дыхания зерновки, обусловленное ее физиологическим возрастом, безразмерное.

Изменение сухой массы зерновки в период ее созревания определим как изменение за счет затрат на дыхание поддержания:

$$dm_{\text{зерн}}/dt = (-dR_{\text{зерн}}/dt) K_{\text{с}}. \quad (4.88)$$

Уравнения (4.79) — (4.88) описывают основные процессы, происходящие при зернообразовании злаков, и влияние на их интенсивность факторов внешней среды.

В рамках этого описания открывается возможность учета влияния стрессовых условий в период налива зерна на процессы зернообразования. Становится возможным описание таких явлений, как «запал» и «стекание» зерна, а также процессов, которые могут происходить после завершения созревания зерновки, — «прорастания зерна на корню».

Под «запалом» подразумевается [108] явление ненормального созревания зерна, когда оно под влиянием некоторых факторов созревает слишком быстро, вследствие чего получается шуплым, морщинистым.

При засухе [69] начиная с молочного состояния оно становится шуплым. Закончившие к этому времени рост зерновки содержат еще около 60 % воды. В нормальных условиях теряющаяся в дальнейшем влага полностью замещается запасными веществами, зерновку как бы все «распирает» изнутри, образуется крупное с высокой натурой зерно. При засухе же темпы обезвоживания слишком высоки, объем потерянной воды не успевает замещаться запасными веществами, ткани эндосперма спадаются, сморщиваются, образуется шуплое зерно с низкой натурой. При быстром обезвоживании под влиянием суховея это явление часто называют «захватом» зерна.

Интенсивность процессов синтеза крахмала и белков в зерновке, описываемых уравнениями (4.81), (4.82), в условиях засухи регулируется термическим режимом зерновки и ее транспирацией. В модели это учтено через значения параметров $K_{\text{синт}}(T^{\text{н}})$ и $K_{\text{синт}}(E_{\text{зерн}})$. Снижение оводненности зерновки до критического уровня ($W_{\text{кр}}$) прекращает приток свободных углеводов и свободного азота в зерновку. Процессы синтеза крахмала и

белков [уравнения (4.81), (4.82)] замедляются и вскоре прекращаются полностью. Зерно получается шуплым.

Шуплость зерна может вызываться и так называемым «стеканием» зерна [108]. Возникновение и развитие «стекания» обуславливается значительным повышением активности гидролитических ферментов как во время созревания семян, так и, что более существенно, при достижении ими полной спелости при увлажнении осадками или сильными, долго не спадающими росами и туманами. Образующиеся водорастворимые осмотически активные вещества увеличивают приток воды в зерно с его увлажненной поверхности и тем еще больше усиливают дальнейший гидролитический распад запасных питательных веществ, которые в конечном счете вытекают из зерна или расходуются в качестве дыхательного материала [36, 47, 225]. При этом биомасса сухого вещества формирующейся зерновки уменьшается и проявляется шуплость. В [175] отмечается, что сумма осадков за этот период свыше 70 мм снижает массу 1000 зерен.

При длительном повышении влажности воздуха в период налива содержание влаги в зерновке начинает возрастать. Достижение критического уровня оводненности зерновки вызывает «запуск» процессов гидролиза, описываемых уравнениями (4.58), (4.59). Продукты гидролиза вымываются за пределы зерновки. Снижение сухой массы зерновки при этом может быть определено по уравнению (4.86).

После завершения процесса созревания зерновки в посевах до уборки или же в валках при влажной погоде также происходит повышение оводненности зерновки. Достижение зерновкой критического уровня оводненности вызывает «запуск» процессов гидролиза [уравнения (4.58), (4.59)], второго критического уровня оводненности — начало прорастания зародыша. Этот процесс описывается уравнениями (4.58), (4.59), (4.65) — (4.67).

Отмеченные особенности возникших в растении процессов, которые описываются уравнениями (4.58), (4.59), (4.65) — (4.67), позволяют количественно охарактеризовать явление «прорастания зерна на корню или в валках».

Таким образом, процесс формирования зерновки моделируется как совокупность процессов: роста зародыша, формирования эндосперма, образования оболочек зерна, синтеза крахмала и белков. Учитывается также влияние экстремальных условий внешней среды на процессы налива и созревания зерна.

Предпринятое в главе 4 обсуждение позволило предложить новую длиннопериодную динамическую модель роста, развития и формирования урожая злаков. Модель построена на основе следующих теоретических представлений:

— положений Сабинина и Серебряковой о фитомере как элементарной единице роста и развития побега;

— концепций Обручева, Иванова и Ковалева о физиологической интерпретации сигмоидных кривых и росте как соотношении интенсивностей деления клеток и растяжения;

- учения Курсанова о транспорте ассимилятов;
- положений Сабинина о том, что в основе круговорота элементов минерального питания в процессе метаболизма растения как целого лежат закономерности роста фитомеров;
- представлений Кулешова о наличии трех фаз процесса зернообразования.

Моделируется жизненный цикл отдельных фитомеров, их сложной цепи и большой цикл развития растений от процессов прорастания зерна до формирования зерновки. С помощью теории катастроф описывается процесс появления каждого очередного фитомера и время начала роста и завершения роста членников этого фитомера. Моделируется влияние эндогенных и экзогенных факторов на процессы фотосинтеза, дыхания, донорно-акцепторных отношений между потребляющими и производящими тканями — изменение распределения ассимилятов и элементов минерального питания между фитомерами и их членниками в онтогенезе, формирование всей вегетативной и репродуктивной сферы злаков, формирование зерновки и налив зерна. Количественно описан механизм возникновения крайне неблагоприятных явлений, таких, как «запал» и «стекание» зерна, «прорастание зерна на корню и в валках».

Создание новой модели злаков открывает перспективы развития целого ряда новых видов динамико-статистических методов агрометеорологических прогнозов, совершенствования существующей базовой модели формирования урожайности.

Глава 5

Базовая динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур

Длиннопериодная динамическая модель, используемая в агрометеорологических расчетах и прогнозах, удовлетворяет целому ряду требований (как по структуре, так и по комплексу параметров), сформулированных нами в [132]. Эти требования состоят в следующем.

Структура модели, предназначенная для прогнозирования урожайности, с одной стороны, обеспечивает достаточно точное описание основных процессов жизнедеятельности (фотосинтеза, дыхания, роста) на уровне экосистем (поля), элементов (индивидуальные растения) и компонентов (органы растения). Дальнейшее «углубление» уровня «внутри» (деятельность устьиц, функционирование биохимических структур и т. д.), как это справедливо отмечено [219], необходимо лишь на стадии исследования отдельных процессов. Вместе с тем, «углубление» уровня описания, как это сделано в главе 4, позволяет вести на этой основе разработку новых видов агрометеорологических прогнозов, связанных с оценкой и прогнозом условий формирования всходов, кущения, форми-

рования вегетативной и репродуктивной сферы посевов, зернообразования злаков.

С другой стороны, структура модели, предназначенная для прогнозирования урожая, предусматривает использование только тех параметров, для оценки которых имеются достаточно полные экспериментальные данные.

Третий важный момент, который следует подчеркнуть, говоря об адаптации моделей для прогностических целей, состоит в возможности «поднятия» модели на более высокий уровень (по сравнению с уровнем «экосистемы») — на уровень «сельскохозяйственные области» и «регионы». Этого можно достигнуть лишь с помощью оценки географической изменчивости параметров модели [132]. Особенно это касается таких параметров, как ростовые функции. Разумеется, что косвенно это влияет и на структуру моделей.

Совершенно необходимым является также ограничение входной информации объемом поступающей оперативной агрометеорологической информации. Крайне важным является возможность оценки всех параметров моделей применительно к различным культурам и обеспеченность информацией для определения параметров.

5.1. Моделирование основных составляющих продукционного процесса растений

Урожайность растений в первую очередь зависит от их суммарной фотосинтетической продуктивности, качество которой определяется не только интенсивностью фотосинтеза, но и размерами ассимилирующей поверхности и временем ее работы. Хозяйственно полезная часть урожая, кроме того, зависит от характера распределения ассимилятов в растении, которое может быть весьма различным в зависимости от условий выращивания, вида и сорта [69, 106].

Процесс формирования урожая рассматривается нами как сложная совокупность целого ряда физиологических процессов, интенсивность которых определяется не только факторами внешней среды и биологическими особенностями растений, но и взаимосвязью между самими процессами.

Зерновые культуры. Моделирование формирования урожая зерновых культур включает количественное описание процессов фотосинтеза, дыхания и роста [132].

Фотосинтез — основной процесс образования органических веществ у растений. При описании процесса фотосинтеза любого из фотосинтезирующих органов нами взято за основу уравнение Монси и Сэки [277]:

$$\Phi_{e_i} = \frac{\Phi_{\max_i} a_{\Phi_i} I}{a_{\Phi_i} I + \Phi_{\max_i}}, \quad i \in l, s, p, \quad (5.1)$$

где Φ_{0i} — интенсивность фотосинтеза i -го органа при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности и реальных условиях освещенности, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; $\Phi_{\max i}$ — интенсивность фотосинтеза i -го органа при световом насыщении и нормальной концентрации CO_2 , $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; $a_{\Phi i}$ — начальный наклон световой кривой фотосинтеза, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} / (\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2})$; I — интенсивность фотосинтетически активной радиации, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; l — листья, s — стебли, p — колосья, j — номер суток расчетного периода.

Для расчета интенсивности фотосинтеза колосьев значение фотосинтетически активной радиации (ФАР) принимается равным значению ФАР на верхней границе посева, в остальных случаях учитывается ФАР внутри посева.

Исследования роли отдельных органов растений в формировании биологического урожая показали, что интенсивность фотосинтеза различна у разных органов растения [219]. Относительно высокой интенсивностью фотосинтеза обладают колосья. Например, в начале фазы молочной спелости интенсивность фотосинтеза элементов колоса не меньше, чем интенсивность фотосинтеза листьев двух верхних ярусов, и значительно больше, чем листьев третьего сверху яруса [201]. В модели эти особенности фотосинтетической активности возможно учесть, подбирая световые кривые для каждого фотосинтезирующего органа растения.

С помощью уравнения (5.1) ведется расчет интенсивности фотосинтеза в биологически оптимальных условиях среды. Для определения интенсивности фотосинтеза в реальных условиях необходимо учесть влияние внешних факторов и фазы развития растений.

Для учета влияния температуры воздуха и влажности почвы использованы функции влияния, меняющиеся от 0 до 1.

В динамических моделях продукционного процесса растений изменение интенсивности фотосинтеза в онтогенезе не учитывалось или учитывалось через эмпирические коэффициенты. Имеющиеся данные [196, 201] указывают, что фотосинтетическая активность листьев различна на разных этапах онтогенеза отдельного листа и растения в целом.

Фотосинтетический аппарат у молодых формирующихся листьев любого яруса сформирован еще не полностью и не обеспечивает высокой интенсивности фотосинтеза. Этой способностью он обладает только у зрелых функционирующих листьев. В онтогенезе целого растения наименьшей интенсивностью фотосинтеза обладают листья в фазе всходов у яровых культур и в фазе возобновления вегетации у озимых, когда анатомическая и морфологическая структура листа не обеспечивает оптимума фотосинтетической активности. Листья, которые являются фотосинтетически активными в более поздние фазы онтогенеза, отличаются структурными и физиологическими характеристиками, оптимальными для их фотосинтетической активности. Это листья среднего яруса. Такая разнокачественность листьев по ярусам определя-

ется неодновременностью их появления и тем, что их развитие связано с развитием растения в целом.

Изменение фотосинтеза в онтогенезе нами учтено [67, 132, 134] через функцию, которая описывает интенсивность фотосинтеза i -го органа в зависимости от физиологического возраста растения. Эта функция названа нами «онтогенетической кривой фотосинтеза» [134].

Уравнение (5.1) описывает процесс фотосинтеза при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности посевов. Для определения интенсивности фотосинтеза в полевых условиях необходимо учесть изменение фотосинтетической активности ассимилирующих органов в онтогенезе и влияние на эти изменения всего температурного режима посевов.

Для реальных условий среды уравнение (5.1) приобретает следующий вид:

$$\Phi_{\tau i}^l = \Phi_{0i}^l a_{\Phi i}^l \psi_{\Phi}^l \gamma_{\Phi}^l, \quad (5.2)$$

где $\Phi_{\tau i}$ — интенсивность фотосинтеза в реальных условиях среды, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; a_{Φ} — онтогенетическая кривая фотосинтеза, безразмерная; ψ_{Φ} — функция воздействия температуры воздуха, безразмерная; γ_{Φ} — функция влияния влажности почвы, безразмерная.

Температурная кривая фотосинтеза аппроксимирована, согласно [9], выражением

$$\psi_{\Phi}^l = 0.2 \frac{T_d^l - T_{d_0}}{T_{d_{\text{opt}}} - T_{d_0}} \left[6 - \left(\frac{T_d^l - T_{d_0}}{T_{d_{\text{opt}}} - T_{d_0}} \right) \right], \quad (5.3)$$

где T_d — среднедневная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; T_{d_0} и $T_{d_{\text{opt}}}$ — соответственно пороговая и оптимальная температура воздуха для фотосинтеза, $^{\circ}\text{C}$.

Кривая, характеризующая влияние влажности почвы на фотосинтез, аппроксимирована выражением:

$$\gamma_{\Phi} = d_0 + d_1 (W/W_{\text{FC}})^2 + d_2 W/W_{\text{FC}}, \quad (5.4)$$

где W — запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы, мм; W_{FC} — полевая влагоемкость, мм; d_0 , d_1 и d_2 — параметры, безразмерные.

Предложенный нами метод определения функции a_{Φ} приводится в [131, 132].

Функции a_{Φ} , ψ_{Φ} и γ_{Φ} , входящие в соотношение (5.2), нормированы и изменяются от 0 до 1.

Таким образом, уравнение (5.2) позволяет оценить фотосинтез в расчете на единицу площади ассимилирующей поверхности в час.

В динамических моделях формирования урожая, предназначенных для решения прикладных задач, предпочтительнее рассчитывать интенсивность фотосинтеза органа на относительную площадь ассимилирующей поверхности за светлое время суток:

$$\Phi_i^l = \varepsilon \Phi_i^l L_i^l \tau_d^l, \quad (5.5)$$

где Φ_i — интенсивность фотосинтеза i -го органа, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; ε — коэффициент для пересчета в единицы сухой массы, $\text{г} \cdot \text{мг}^{-1} \text{CO}_2$; L_i — относительная площадь ассимилирующей поверхности i -го органа, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; τ_d — продолжительность светлого времени суток, ч.

Определение фотосинтеза посева за сутки Φ_i связано с суммированием значений фотосинтеза отдельных органов (4.56), (4.57).

Имеющиеся данные указывают, что часть ассимилированного в процессе фотосинтеза углерода затрачивается на дыхание. Большинство моделей дыхания, используемых в количественной теории продукционного процесса, являются либо упрощенными вариантами, либо модификациями трех базовых моделей [104, 215, 306], построенных Тоомингом [299], Маккри [273] и де Витом [309]. Общепринятым при моделировании дыхания является подход, основанный на разделении дыхания на дыхание роста и дыхание поддержания структур.

Дыхание роста рассматривается пропорциональным фотосинтезу посева:

$$R_G^l = C_G \Phi^l, \quad (5.6)$$

где R_G — интенсивность дыхания роста, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; C_G — коэффициент, характеризующий затраты, связанные с ростом, безразмерный.

Дыхание поддержания структур пропорционально сухой биомассе посева и зависит от температуры и возраста растения:

$$R_M^l = C_M M^l \alpha_R^l \varphi_R^l, \quad (5.7)$$

где R_M — интенсивность дыхания поддержания, $\text{г} (\text{с. в.}) \cdot \text{м}^{-2} \times \text{сут}^{-1}$; M — сухая биомасса посева, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$; C_M — коэффициент дыхания поддержания, $\text{г} (\text{с. в.}) \cdot \text{г}^{-1} \text{сут}^{-1}$; α_R — параметр, характеризующий влияние фазы онтогенеза на скорость дыхания, безразмерный; φ_R — функция влияния температуры воздуха на дыхание, безразмерная.

Рассмотрение изменения интенсивности дыхания в онтогенезе весьма существенно, поскольку уровень дыхательного газообмена отражает наряду с биохимическими особенностями протопласта и ряд анатомо-морфологических свойств органа или ткани [166]. Биохимическая активность и структура тканей подвержены весьма сильным изменениям, связанным с возрастом и развитием расте-

ния, вследствие чего значительно меняется в онтогенезе и дыхание. Наиболее интенсивно дышат молодые, растущие ткани, при старении уровень дыхательного метаболизма падает [33, 71, 166, 205].

В модели продукционного процесса вид онтогенетической функции дыхания может быть различным и определяется, с одной стороны, подходом к расчету дыхания, с другой — структурой модели.

Если дыхание оценивается на единицу сухой массы растения, то в целом функция имеет вид, близкий к убывающей экспоненте; при оценке на одно растение — это одновершинная кривая; при оценке на единицу (величина, до некоторой степени отражающая количество активных белков) интенсивность дыхания меняется довольно незначительно, слабо возрастающая в ходе онтогенеза [166]. При описании интенсивности дыхания отдельных органов растения вид онтогенетической функции определяется не только возрастом органа, но и возрастом растения в целом и его стадийным развитием [166].

В связи с тем что в принятой нами структуре модели дыхание оценивается в целом по органам (например, по всем листьям), онтогенетическая функция имеет вид одновершинной кривой. Эта функция названа нами «онтогенетической кривой дыхания» [134].

Предложенный нами метод определения функции α_R приводится в [131, 132].

Обычно характер зависимости дыхания от температуры выражается с помощью коэффициента Q_{10} . Возможны два вида температурной функции, построенной с учетом Q_{10} . По средним значениям Q_{10} возможно построить обобщающую кривую температурной зависимости дыхания. В биологическом плане построение такой кривой описано в [71]. В математических моделях продукционного процесса часто используется такая обобщающая кривая в виде экспоненты [9, 273, 274].

Другой вид записи температурной функции приведен в [244, 245] и использован нами в виде

$$\varphi_R = Q_{10}^{0.1(T_A - T_{A_0})}, \quad (5.8)$$

где Q_{10} — температурный коэффициент, безразмерный; T_A — температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; T_{A_0} — температура, при которой берется исходное (для расчета) значение дыхания, $^{\circ}\text{C}$.

Количественный расчет общего прироста биомассы в динамике может быть сделан по разнице между фотосинтезом и дыханием. Однако решающее значение при моделировании процесса формирования урожая приобретает оценка прироста биомассы отдельных органов; в том числе и репродуктивных, т. е. распределение ассимилятов между органами.

При описании скорости изменения сухой биомассы отдельных органов нами на основании предложенных Ю. К. Россом [163] уравнений роста и с учетом модификаций Е. П. Галямина [20] и

Х. Г. Тооминга [203] принята следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta m_i^f}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^f \Phi^f}{1 + C_{G_i}} - \frac{(\alpha_{R_i}^f C_{m_i} \psi_R^f + v_i^f) \tilde{m}_i^f}{1 + C_{G_i}}, \\ \frac{\Delta m_p^f}{\Delta t} &= \frac{\beta_p^f \Phi^f}{1 + C_{G_i}} - \frac{(\alpha_{R_p}^f C_{m_p} \psi_R^f \tilde{m}_p^f - \sum_{i=1}^r v_i^f \tilde{m}_i^f)}{1 + C_{G_i}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

где $\Delta m_{i(p)}^f / \Delta t$ — скорость роста i -го вегетативного (репродуктивного) органа, $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$; $\tilde{m}_{i(p)}^f$ — функционирующая биомасса i -го вегетативного (репродуктивного) органа, $г \cdot м^{-2}$; β_i^f — ростовая функция вегетативного периода, безразмерная; v_i^f — ростовая функция репродуктивного периода, $^{\circ}C^{-1}$; r — корни.

В уравнении типа (5.9) дыхание роста и дыхание поддержания структур непосредственно не рассчитывается, а учтено через коэффициенты $\alpha_{R_i}^f$, C_{m_i} , C_{G_i} , ψ_R^f .

Впервые параметр $\tilde{m}$ введен Е. П. Галяминим [20]. Доля биомассы, оцененная через этот параметр, названа им «живой» биомассой. Полагаем более удобным для $\tilde{m}$ понятие «функционирующая» биомасса, подразумевая под этим биомассу, в составе которой имеются компоненты, осуществляющие и регулирующие обмен веществ. Оценка параметра проведена нами с иных позиций, чем это делает Е. П. Галямин. Динамика количества функционирующей биомассы определяется следующим образом [132].

Для периода активного роста вся биомасса является функционирующей, следовательно, прирост общей и функционирующей биомассы одинаков:

$$\tilde{m}_i^f / \Delta t = \Delta m_i^f / \Delta t \geq 0. \quad (5.10)$$

В случае возникновения стрессовых условий или при естественном старении растения, когда количество общей биомассы снижается (этот момент определяется на основании модели) вследствие преобладания процессов распада над процессами синтеза, количество функционирующей биомассы определяется как доля общей биомассы;

$$-\Delta \tilde{m}_i^f / \Delta t = -(\Delta m_i^f / \Delta t) / k_{s_i}, \quad (5.11)$$

где k_{s_i} — параметр, характеризующий долю жизнедеятельных структур и подвижных углеводов в общей биомассе органа, безразмерный.

Жизнедеятельные структуры, которые в растении представлены практически только белками, подвергаются распаду. Продукты распада белков, а также подвижные углеводы передвигаются в репродуктивные органы. Поскольку содержание белка и

углеводов в органах растений известно достаточно хорошо, то и определение численного значения k_{s_i} не представляет затруднений.

Такой подход к оценке количества функционирующей биомассы, основанный на использовании универсального закона старения биологических систем — распада жизнедеятельных структур, предложен нами в [132] впервые. Он позволяет по-новому описать скорость изменения площади ассимилирующей поверхности органа, избежав оценки эмпирических функций «пожелтения» или «отмирания», которые применяются в [2, 20, 183, 203]. В [132] предложено уравнение, позволяющее описать скорость изменения площади ассимилирующей поверхности i -го органа как при благоприятных условиях роста и развития растений, так и при воздействии стрессовых условий и в период старения:

$$\Delta L_i^f / \Delta t = (\Delta \tilde{m}_i^f / \Delta t) (1 / \sigma_i). \quad (5.12)$$

Прирост репродуктивного органа в существующих моделях формирования урожая зерновых культур оценивается только в целом (стержня колоса, колосков и зерен). Биомасса зерна рассчитывается как постоянная доля биомассы колоса, а колос рассматривается как некоторая емкость, куда притекают и «свежие» и «старые», запасенные ассимилянты. Однако хорошо известно, что соотношение массы зерна и массы колоса не является постоянным. При этом мы исходим из следующих положений.

Интенсивность освоения притекающих в колос ассимилятов на увеличение сухой массы зерна зависит от густоты стояния сформировавшегося в данных условиях продуктивного стеблестоя, количества колосков в колосе, зерен и присущей данному сорту массе 1000 зерен. Следовательно, скорость роста зерна является функцией количества притекающих в колос ассимилятов и максимально возможной в данных реальных условиях скорости роста зерна [67, 132], т. е. в конечном итоге определяется взаимодействием «источник—сток». В таком случае скорость роста зерна может быть описана уравнением типа Михаэлиса—Ментен [67, 132]:

$$\frac{\Delta m_g^f}{\Delta t} = \frac{\Delta m_{g_{\max}}^f}{\Delta t} \frac{\Delta \tilde{m}_p^f / \Delta t}{k_g + \Delta \tilde{m}_p^f / \Delta t}, \quad (5.13)$$

где $\Delta m_g^f / \Delta t$ — скорость прироста сухой биомассы зерна, $г \cdot м^{-2} \times сут^{-1}$; $\Delta m_{g_{\max}}^f / \Delta t$ — максимально возможная в реальных условиях среды скорость прироста сухой биомассы зерна, $г \cdot м^{-2} \times сут^{-1}$; k_g — константа Михаэлиса—Ментен, $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$.

В данном случае под реальными условиями понимаются условия, создаваемые структурой стеблестоя и элементами продуктивности колоса для максимально возможных (при данном стеблестое и соотношении элементов продуктивности колоса) размеров «стока».

Оценка максимально возможной скорости роста зерна проводится по предложенному нами в [67, 132] следующему уравнению:

$$\frac{\Delta m_{g_{\max}}^f}{\Delta t} = \frac{2,3b_g m_{g_{\max}} 10^{a_g - b_g t}}{(1 + 10^{a_g - b_g t})^2}, \quad (5.14)$$

где a_g — параметр, безразмерный; b_g — параметр, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; $m_{g_{\max}}$ — максимально возможная масса зерна, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$.

Максимально возможная масса зерна находится по формуле

$$m_{g_{\max}} = N_s S_p n_p m_g 10^{-3}, \quad (5.15)$$

где N_s — густота стояния растений, $\text{раст} \cdot \text{м}^{-2}$; S_p — продуктивная кустистость, $\text{колос} \cdot \text{раст}^{-1}$; n_p — число колосков в колосе, $\text{коло-сок} \cdot \text{колос}^{-1}$; n_g — число зерен в колоске, $\text{зерно} \cdot \text{колосок}^{-1}$; m_g — максимально возможная масса 1000 зерен, $\text{г} \cdot \text{зерно}^{-1}$.

В уравнении (5.15) под максимально возможной массой в данном случае понимается масса зерна при сформировавшемся в данных условиях продуктивном стеблестое и элементах продуктивности колоса на единице площади и присущей данному сорту массе 1000 зерен.

Параметр k_g определяется из соотношения

$$k_g = \frac{1}{k_m} \frac{\Delta m_{g_{\max}}^f}{\Delta t}, \quad (5.16)$$

где k_m — безразмерный коэффициент, характеризующий угол наклона кривой, описывающей скорость роста зерна в зависимости от скорости притока ассимилятов в колос.

Картофель. Моделирование фотосинтеза, дыхания и роста отдельных органов картофеля проведено нами в [128, 132] на основании тех же принципов, что у зерновых. При моделировании учитывалось, что картофельное растение обладает рядом биологических особенностей, отличающих его от зерновых культур.

Характерная особенность картофеля состоит в том, что основная масса запасенных веществ материнского клубня используется растением в процессе вегетации и значительно меньшая доля расходуется в период прорастания. Таким образом, материнский клубень является дополнительным источником, помимо ассимиляции CO_2 при фотосинтезе углеводов для роста растения [97, 109].

Переток запасных веществ в органы молодого растения в первом приближении можно записать пропорциональным запасам питательных веществ материнского клубня [128, 132]:

$$P^i = \chi^i M_c, \quad (5.17)$$

где P — скорость перетока углеводов из материнского клубня, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \text{сут}^{-1}$; χ — коэффициент, характеризующий скорость перетока, сут^{-1} ; M_c — запасы питательных веществ материнского клубня, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$.

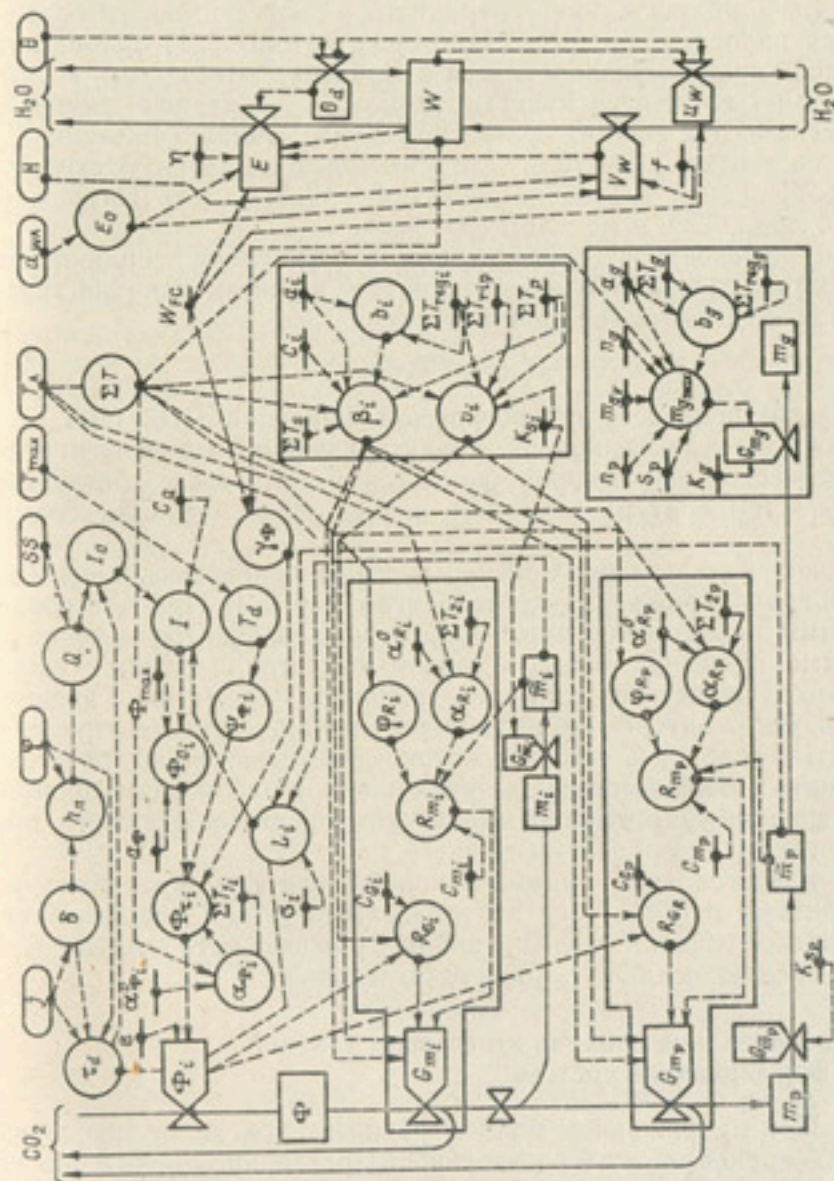


Рис. 5.1. Функциональная схема модели формирования урожая зерновых культур.

Наряду с перетоком углеводов из материнского клубня особенностью растения картофеля является также и то, что темновая фиксация CO_2 играет довольно существенную роль в углеводном балансе. Нефотосинтетическая фиксация CO_2 свойственна не только картофелю, а практически всем растениям, и вопрос о доле ее участия в поддержании углеродного и энергетического баланса растения является спорным. Некоторые авторы [91] придают достаточно большое физиологическое значение «темновым ассимилятам» листьев. Интенсивность темновой фиксации меняется в онтогенезе. На ранних фазах развития ночная фиксация CO_2 может составлять 15–20 % фотосинтеза в полдень. Исходя из этих соображений мы сочли целесообразным учесть гетеротрофную фиксацию CO_2 в модели картофеля.

Нами интенсивность гетеротрофной фиксации принимается [128, 132] пропорциональной фотосинтезу с учетом влияния температуры воздуха в темное время суток:

$$D^I = \varepsilon \omega^I \Phi_t^I \psi_D, \quad (5.18)$$

где D — интенсивность гетеротрофной фиксации CO_2 , г (с. в.) $\times$ $\text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; ω — коэффициент, характеризующий соотношение фотосинтетической и темновой фиксации в онтогенезе, безразмерный; ψ_D — температурная кривая ночной фиксации CO_2 , безразмерная.

Потоковая диаграмма описанных выше динамических моделей формирования урожая представлена на рис. 5.1. При построении диаграммы использован метод Форрестера [209]. Обозначения на диаграмме: прямоугольники — уровни вещества, вентили — скорости потоков вещества, эллипсы — входные параметры внешней среды, круги — внутренние параметры модели, короткие отрезки — константы, сплошные линии — потоки вещества, пунктирные линии — потоки информации; в функциональных информационных связях: кружки — аргументы, стрелочки — функции. Условные обозначения величин приведены в тексте.

Для представления динамической модели формирования урожая зерновых используется вся диаграмма, а для представления динамической модели формирования урожая картофеля из диаграммы следует исключить блок роста зерна.

5.2. Моделирование влияния стрессовых условий на формирование урожая

Засуха. При напряженном водном режиме происходит нарушение основных процессов жизнедеятельности растений. Увеличение дефицита влаги сопровождается непрерывным усилением дыхания; изменения фотосинтеза противоположны изменениям дыхания. Отмечается замедление роста и уменьшение отношения надземной массы растения к массе корней. При этом динамику соотношения между фотосинтезом, дыханием и приростом биомассы можно представить [71] в виде следующей схемы.

Можно выделить три фазы состояния растений: положительного, нулевого и отрицательного баланса органического вещества. С момента наступления засухи показатели, характеризующие интенсивность процессов фотосинтеза, дыхания и прироста биомассы, неуклонно понижаются. Надземная часть растений не в состоянии освоить образующиеся в процессе фотосинтеза углеводы. Корневая система, ориентируясь вдоль градиента влажности почвы, находится в более благоприятных условиях и может использовать углеводные «излишки» на освоение новых объемов почвы.

Наблюдающаяся тенденция увеличения доли подземных органов растения в условиях дефицита влаги может рассматриваться как специфическая адаптивная реакция растения, направленная на поддержание возможно высокого потенциала воды в фотосинтезирующих центрах более интенсивным снабжением подземных органов продуктами фотосинтеза [94, 223, 234, 292].

В условиях дальнейшего усиления засухи в результате снижения интенсивности фотосинтеза и ухудшения условий роста массообмен падает до компенсационного уровня. Такое состояние может сохраняться некоторое время, а затем продукты фотосинтеза перестают покрывать расходы на дыхание, происходит прекращение фотосинтеза — поддержание структурной целостности системы обеспечивается только за счет запасенной ранее энергии.

Полагаем, что под воздействием неблагоприятных условий в период вегетативного роста изменения характера роста надземной части растения происходят при

$$\Delta M^{I+1}/\Delta t < \Delta M^I/\Delta t,$$

если $\Delta M^{I+1}/\Delta t \neq 0$.

Предположим, что прирост биомассы корней сохраняется на одном уровне или же он равен приросту биомассы всего растения [67, 132]:

$$\frac{\Delta m_r^{I+1}}{\Delta t} = \begin{cases} \frac{\Delta m_r^I}{\Delta t}, & \text{если } \frac{\Delta M^{I+1}}{\Delta t} \geq \frac{\Delta m_r^I}{\Delta t}, \\ \frac{\Delta M^{I+1}}{\Delta t}, & \text{если } \frac{\Delta M^{I+1}}{\Delta t} < \frac{\Delta m_r^I}{\Delta t}. \end{cases} \quad (5.19)$$

тогда прирост надземной биомассы определим из соотношения [67, 132]:

$$\frac{\Delta m_{\text{shoot}}^{I+1}}{\Delta t} = \begin{cases} \frac{\Delta M^{I+1}}{\Delta t} - \frac{\Delta m_r^{I+1}}{\Delta t}, & \text{если } \frac{\Delta m_r^{I+1}}{\Delta t} < \frac{\Delta M^{I+1}}{\Delta t}, \\ 0, & \text{если } \frac{\Delta m_r^{I+1}}{\Delta t} \geq \frac{\Delta M^{I+1}}{\Delta t}, \end{cases} \quad (5.20)$$

где m_{shoot} — биомасса надземных органов, г $\cdot$ м $^{-2}$.

Распределение продуктов фотосинтеза между надземными органами растения проведем введя, аналогично [20], ростовые функции надземной части растения

$$\beta_{i(dr)}^l = \beta_i^l / \sum_{l,s,p} \beta_i^l, \quad (5.21)$$

где $\beta_{i(dr)}^l$ — ростовая функция периода вегетативного роста надземного органа в условиях засухи, безразмерная.

Уравнение динамики биомассы надземных органов запишем в виде

$$\Delta m_{i(dr)}^{l+1} / \Delta t = \beta_{i(dr)}^{l+1} (\Delta m_{shoot}^{l+1} / \Delta t), \quad (5.22)$$

где $\Delta m_{i(dr)}^{l+1} / \Delta t$ — прирост сухой биомассы i -го надземного органа в условиях засухи, $г \cdot м^{-2}$.

Динамика приростов общей биомассы посева рассматривается в качестве внутреннего переключателя для адаптивного увеличения доли подземных органов при воздействии на растение неблагоприятных условий.

Заморозки. Повреждение растений заморозками приводит в ряде случаев к необратимым изменениям важнейших физиологических процессов. При разработке структуры субмодели влияния заморозков на урожай сельскохозяйственных культур [132, 143] следует прежде всего охарактеризовать особенности воздействия заморозков на основные физиолого-биохимические процессы формирования урожая. При этом нужно иметь в виду, что физиологические изменения, происходящие в растении под непосредственным воздействием заморозка и в период его последствий, неоднозначны. Кроме того, характер изменения физиологических процессов несколько различен при заморозках с переохлаждением и льдообразованием [35].

Переохлаждение во время заморозков у активно вегетирующих незакаленных растений приводит к нарушению некоторых физиолого-биохимических процессов (фотосинтеза, дыхания), а в последствии — к снижению продуктивности растений [198]. Заморозки с образованием льда в тканях вызывают разрушение структур фотосинтетического и дыхательного аппарата [174, 226, 272]. Впоследствии это приводит к уменьшению содержания хлорофилла, снижению интенсивности фотосинтеза и дыхания, изменениям в белковом комплексе [198]. Степень нарушения физиологических процессов зависит от силы заморозка, генотипа растения и его фенотипической устойчивости. Гибель растения или отдельных его органов происходит только в случае образования льда в тканях.

При моделировании влияния заморозка необходимо принимать во внимание не только его непосредственное воздействие и последствие, но и репарационные возможности растений. Известно, что в период восстановления после повреждения заморозком вновь создаваемые в процессе ассимиляции вещества затрачива-

ются на репарацию и тем самым отвлекаются от формирования продуктивных частей растения [15]. Это изменяет характер распределения ассимилятов в растениях, незакончивших рост.

И наконец, важное значение при моделировании воздействия заморозков имеет факт неоднозначного его влияния в зависимости от фазы развития растений [14, 15]. Моделирование их репарационных возможностей необходимо лишь на ранних этапах онтогенеза до цветения.

Структура субмодели воздействия заморозков зависит от структуры модели продукционного процесса, для которой разрабатывается субмодель. В принятой нами структуре модели формирования урожая субмодель влияния заморозков должна содержать блоки фотосинтеза, дыхания и распределения ассимилятов.

Моделирование фотосинтеза при заморозке основывается на следующих предположениях. Известно, что воздействие заморозка приводит прежде всего к нарушению структуры хлоропластов, в результате чего уменьшается содержание хлорофилла в листе [115, 119, 198]. Получены данные о снижении интенсивности фотосинтеза под влиянием заморозка [61, 115, 198]. В физиологической литературе приведено достаточно полное теоретическое обоснование зависимости интенсивности фотосинтеза от содержания хлорофилла [105, 158, 214]. Имеются материалы об изменении коэффициента поглощения ФАР и формы световой кривой фотосинтеза в зависимости от уровня хлорофилла в листьях [105].

На основании вышеизложенных теоретических и экспериментальных данных скорость фотосинтеза сразу после заморозка при оптимальных условиях среды и естественной освещенности можно описать уравнением вида (5.1), в котором будут использованы параметры световой кривой фотосинтеза листьев, подвергшихся воздействию заморозка.

Значения параметров световой кривой фотосинтеза — плато $\Phi_{i \max f}$ и угла наклона a_{if} — можно определить двумя путями: в зависимости от уровня содержания хлорофилла в листьях после заморозка или непосредственно на основании световых кривых фотосинтеза растений, подвергшихся заморозку. В первом случае значения параметров вычисляют из соотношений:

$$\Phi_{i \max f} = \Phi_{i \max} k_{\Phi f}, \quad (5.23)$$

$$a_{if} = a_i k_{af}, \quad (5.24)$$

где $\Phi_{i \max}$ — скорость фотосинтеза растений, не поврежденных заморозком (при световом насыщении), $мг CO_2 \cdot дм^{-2} \cdot ч^{-1}$; $k_{\Phi f}$ и k_{af} — коэффициенты, определяющие изменение плато и начального наклона световой кривой фотосинтеза в зависимости от содержания хлорофилла.

В реальных условиях среды скорость фотосинтеза сразу после заморозка описывается уравнением, аналогичным (5.2).

Скорость фотосинтеза посева Φ_{if} описывается как функция скорости фотосинтеза в реальных условиях среды, площади ассимилирующей поверхности и продолжительности светлого времени

суток. Площадь ассимилирующей поверхности сразу после повреждающего заморозка оценивается исходя из того, что в результате последнего в растении (особенно в поздние фазы развития) уменьшается содержание белков [145, 197], т. е. количество «функционирующей» [132] биомассы. Площадь ассимилирующей поверхности к началу следующего после заморозка дня определяется из соотношения

$$L_{ij}^I = m_i^I k_{mj} / \sigma_i, \quad (5.25)$$

где m_i^I — биомасса i -го органа при отсутствии заморозка, $г \cdot м^{-2}$; k_{mj} — коэффициент, характеризующий снижение биомассы за счет уменьшения содержания белков — «функционирующей» биомассы; σ_i — удельная поверхностная плотность i -го органа, $г \cdot м^{-2}$.

Как известно, под влиянием заморозка снижается также интенсивность дыхания растений [198]. Теоретически возможны два пути введения в субмодель влияния заморозков блока дыхания. Исходя из того, что первичной причиной снижения интенсивности дыхания после заморозка является нарушение дыхательных структур, степень ослабления дыхания может быть учтена как степень нарушения этих структур. Однако в настоящее время теоретическая и экспериментальная стороны данного вопроса изучены недостаточно. Второй путь, который был использован нами, — это учет влияния заморозков на дыхание роста и дыхание поддержания структур. Большой интерес представляет также учет энергетически обесцененного дыхания, которое является характерной реакцией на экстремальные условия [198]. В терминологии Торли такое дыхание называется «бесполезным» [295]. При наличии соответствующих экспериментальных данных «бесполезное» дыхание можно учесть. В зависимости от структуры модели оно может быть рассчитано отдельно (наряду с дыханием роста и дыханием поддержания структур) или учтено через изменение численных значений коэффициентов дыхания роста и дыхания поддержания структур.

Скорость роста вегетативных и репродуктивных органов в субмодели влияния заморозков описывается системой уравнений, аналогичной (5.9).

Функции периода вегетативного и репродуктивного роста при повреждении растений заморозками определяем из соотношений:

$$\beta_i(p) = k_{\beta i} \beta_i(p) \quad (5.26)$$

и

$$v_{ij} = k_{vj} v_{ij}, \quad (5.27)$$

где $k_{\beta i}$ и k_{vj} — соответственно параметры, характеризующие изменение ростовой функции периода вегетативного и репродуктивного роста в зависимости от интенсивности заморозка, безразмерные.

Итак, вышеописанным способом можно моделировать фотосинтез, дыхание и распределение ассимилятов в растении сразу после заморозка. При моделировании динамики этих процессов в пе-

риод последствий заморозков следует учитывать репарационные возможности растения, которые определяются биологическими особенностями данной культуры, фазой онтогенеза и состоянием растения во время непосредственного действия заморозка.

Изложенные общие принципы моделирования фотосинтеза, дыхания и роста при воздействии заморозка могут быть использованы применительно к любой культуре, разумеется, при возможности подбора соответствующих параметров.

Разработанная нами субмодель влияния заморозков на процесс формирования урожая сельскохозяйственных культур описывает воздействие заморозка на фотосинтез, дыхание, рост и распределение ассимилятов в растении. Включение субмодели в динамическую модель формирования урожая картофеля показало, что она может быть использована при прогнозировании потерь урожая от заморозков. Кроме того, данная модель позволяет оценивать фенотипическую устойчивость растений к заморозку через связь с их внутренним состоянием, о котором можно судить, в частности, по интенсивности фотосинтеза и дыхания не поврежденных заморозком растений [62].

Дальнейшее развитие эти работы получили при моделировании процессов формирования качества урожая сельскохозяйственных культур [191].

Болезни. Характер взаимоотношений между паразитом и растением зависит от свойств того и другого организма и от условий, на фоне которых развивается инфекция. Однако свойства инфицированного растения нельзя рассматривать как простую сумму двух организмов. Влияя друг на друга, приспособляясь, они приобретают новые свойства, которых у них не было при раздельном существовании. Внедрение паразита в ткани растения-хозяина вызывает многочисленные изменения в физиологических функциях растения. Характер и степень этих изменений определяют развитие инфекции и в конечном счете размеры приносимого заболевания ущерба [69, 74, 124, 165]. В динамических моделях формирования урожая это важное обстоятельство до сих пор не учитывалось.

Влияние грибных инфекций моделируется нами [128, 132] начиная с момента, когда обнаруживаются видимые признаки повреждения. Фотосинтетическая активность листьев больных растений [165, 245] значительно снижается по сравнению со здоровыми. Снижение интенсивности фотосинтеза зависит от ряда факторов — фазы развития растения-хозяина, степени поражения, состояния растения при заражении. Изменения в интенсивности фотосинтеза, как правило, не проявляются в инкубационный период. Однако с появлением видимых признаков повреждения интенсивность фотосинтеза резко снижается, в ряде случаев — значительно (до 32 %) [161].

Главными причинами снижения интенсивности фотосинтеза следует считать снижение количества хлорофилла и нарушение хода темновых реакций фотосинтеза [74, 161]. Следовательно, при

моделировании фотосинтеза влияние инфекции на этот процесс может быть введено через изменение угла наклона и плато световой кривой фотосинтеза [128, 132, 134].

При заболевании понижается устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды, максимум температурной кривой фотосинтеза пораженных инфекцией растений сдвигается в сторону более низких температур [69]. Тогда влияние температуры воздуха на фотосинтез больного растения можно описать выражением, аналогичным (5.3):

$$\psi_{\Phi_{inf}}^j = 0,2 \frac{T_d^j - T_{d_0}}{T_{d_{opt}} - T_{d_0} - \Delta T_{inf}} \left[6 - \left(\frac{T_d^j - T_{d_0}}{T_{d_{opt}} - T_{d_0} - \Delta T_{inf}} \right)^5 \right], \quad (5.28)$$

где ΔT_{inf} — температурная поправка, учитывающая изменение уровня оптимальной для фотосинтеза температуры воздуха при поражении растения инфекцией, °C.

Начиная с момента заражения интенсивность дыхания пораженных тканей значительно изменяется [69]. Учет в модели изменений дыхания представляет значительные трудности. Они обусловлены, в частности, тем, что дыхание в ходе болезни меняется неоднозначно.

Начальный период заболевания характеризуется значительным повышением интенсивности дыхания, оно активизируется, в дальнейшем уровень дыхания меняется в зависимости от степени поражения и устойчивости сорта. У неустойчивых сортов интенсивность дыхания по мере развития болезни снижается (в ряде случаев, как это приводится в [74], до 39 %), а при сильном поражении, ведущем к отмиранию, может снизиться до нуля.

Для случая, когда влияние болезней моделируется начиная с момента заражения, вероятно, следует учитывать усиление дыхания. Это теоретически возможно путем увеличения коэффициента дыхания роста. Обоснованием служит тот факт, что под влиянием паразита у растения-хозяина на начальных этапах заболевания активизируется синтетическая деятельность за счет усиления синтеза ферментативных белков [165], а коэффициент дыхания роста повышается с увеличением доли белкового синтеза в общих синтетических процессах растения [255].

Имеющиеся данные позволяют моделировать влияние болезней на процесс дыхания начиная с момента, когда становятся видными повреждения. В это время дыхание уже подавлено и у неустойчивых сортов оно ниже, чем у здоровых растений. Снижение интенсивности дыхания моделируется в [128, 132] за счет снижения дыхания роста и дыхания поддержания. Дыхание больного растения R_{inf} описывается тогда следующим образом:

$$R_{inf} = \alpha_{R_{inf}} R, \quad (5.29)$$

где $\alpha_{R_{inf}}$ — онтогенетическая кривая дыхания больного растения, безразмерная.

Уравнение скорости роста вегетативных и репродуктивных органов пораженного инфекцией растения принято нами аналогичным (5.9) с учетом изменения интенсивности фотосинтеза и потребления части ассимилятов паразитом. Полагаем последнее пропорциональным доле больной ткани растения.

Увеличение доли больных тканей растения определяется известной формулой [124]:

$$\rho^j = \rho_0 \exp(\lambda^j), \quad (5.30)$$

в которой λ — скорость инфекции, определяемая по выражению [124]:

$$\lambda = \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\ln \frac{\rho_2}{1 - \rho_2} - \ln \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} \right), \quad (5.31)$$

где ρ_1 и ρ_2 — доли болезни в сроки наблюдений t_1 и t_2 .

Повреждение растений болезнями приводит к уменьшению площади ассимилирующей поверхности и снижению количества функционирующей биомассы, что можно описать выражениями [128, 132]:

$$L_{inf}^j = L_i^{j-1} k_{inf}^j \quad (5.32)$$

и

$$\tilde{m}_{inf}^j = \tilde{m}_i^{j-1} k_{inf}^j, \quad (5.33)$$

где L_{inf} — относительная площадь ассимилирующей поверхности i -го органа больного растения, $\text{м} \cdot \text{м}^{-2}$; $\tilde{m}_{inf}$ — функционирующая биомасса i -го органа больного растения, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$; k_{inf} — параметр, характеризующий степень поражения растений, безразмерный.

5.3. Развитие структуры базовой модели применительно к отдельным культурам

Базовая динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур, описанная в разделах 5.1, 5.2, получила дальнейшее развитие в работах наших аспирантов и соискателей. Остановимся более подробно на тех дополнениях, которые были внесены в базовую модель при моделировании влияния агрометеорологических условий на процесс формирования урожая отдельной сельскохозяйственной культуры.

Просо. В модели формирования урожая проса [153] режим влагообеспеченности посевов проса описывается с помощью сравнения количества израсходованной растением влаги в реальных условиях E^j с его потребностью во влаге ξ^j . Последняя рассчитывается по модифицированной формуле Блейни—Крилла [233],

учитывающей влияние температуры $\bar{T}^j$ и продолжительности солнечного сияния SS:

$$\xi^j = K_{\xi} (1,8 \bar{T}^j + 32) (SS + 0,01) K_c^j, \quad (5.34)$$

где K_{ξ} — эмпирический коэффициент.

В этой зависимости K_c^j — аппроксимированное на экспериментальном материале выражение кривой влагопотребления проса в течение всего периода развития:

$$K_c^j = a_c \sum t^j e^{-\frac{\sum t^j}{b_c}}, \quad (5.35)$$

где $\sum t^j$ — биологическое время развития растений проса, выраженное через сумму эффективных температур; a_c и b_c — параметры.

Период выметывания у проса растянут. По мере появления метелки из пазухи листа все дальнейшие процессы развития метелки (цветение, налив, созревание) проходят постепенно, от верхушки к основанию. Поэтому при моделировании рассматривается фотосинтез отдельных частей метелки (верхней, средней, нижней), для каждой из которых записана своя онтогенетическая кривая фотосинтеза.

Суммарный фотосинтез посева проса определяется как сумма произведений интенсивности фотосинтеза каждого фотосинтезирующего органа проса на величину его ассимилирующей поверхности и продолжительность светлого времени суток. Записаны онтогенетические кривые дыхания для всех органов растения и трех частей его метелки.

Для описания изменений величины фотосинтезирующей поверхности органов проса L_i^j использовано соотношение приростов биомассы $\Delta m_i^j / \Delta t$ и удельной поверхностной плотности этих органов δ_i^j . В полевых экспериментах исследованы изменения δ_i^j в течение периода вегетации. Динамика удельной поверхностной плотности различных органов проса описывается следующими уравнениями:

для листьев

$$\delta_l^j = -A_l (\sum t^j)^2 + B_l \sum t^j + C_l, \quad (5.36)$$

для стеблей

$$\delta_s^j = A_s \sum t^j + B_s,$$

для верхней части метелки

$$\delta_{p_1}^j = e^{A_p (\sum t^j)} [B_p - A_p (\sum t^j)],$$

для средней части

$$\delta_{p_2}^j = e^{A_p (C_p \sum t^j - D_p)} [B_p - A_p (C_p \sum t^j - D_p)],$$

для нижней части

$$\delta_{p_3}^j = e^{A_p (C_p \sum t^j - 2D_p)} [B_p - A_p (C_p \sum t^j - 2D_p)].$$

Темпы налива зерна у разных частей метелки разные. Они зависят от максимально возможного прироста зерна $\Delta m_{z, \max}^j$. Ме-

телка является крупным по размерам и сложным по архитектонике и функциям тканей органом растения. При моделировании ее роста исходим из предположения, что после достижения максимума развития метелки из ее скелетных веточек, колосковых чешуй и других структурных элементов будут «перетекать» в зерно «старые» ассимилянты. Функция репродуктивного периода для зерна $v_{z_i}^j$ имеет вид

$$v_{z_i}^j = \frac{\rho_p^j (\bar{T} - 5)}{(\sum t_4 - \sum t_2) - 2 \sum t_{p_i}^2}, \quad (5.37)$$

где $\sum t_4$ — время созревания (в суммах эффективных температур); $\sum t_2$ — момент начала роста зерна; $\sum t_{p_i}^2$ — сумма эффективных температур, соответствующая максимуму развития i -й части метелки; ρ_p^j — убывающая функция, описывающая неравномерность распределения перемещаемых ассимилянтов по частям метелки.

Влияние внешних условий в процедуре расчета приростов зерна учитывается через суммы эффективных температур и прирост биомассы метелки ΔM_p^j , а также через зависимость относительной скорости роста зерна χ^j от степени влагообеспеченности посевов E^j/ξ^j :

$$\chi^j = \left(n + n_0 \frac{F^j}{\xi^j} \right) / \left[n_0 \frac{E^j}{\xi^j} + n_1 \left(1 - \frac{E^j}{\xi^j} \right) \right], \quad (5.38)$$

где n , n_0 , n_1 — коэффициенты, вычисленные через квазипостоянные биофизические параметры посева (сопротивление карбоксилирования мезофилла, прилистного слоя воздуха).

Тогда массу зерна m_z^{j+1} можно рассчитать как

$$m_z^{j+1} = m_z^j + \left(\sum_i^3 \frac{\Delta m_{z_i, \max}^j \Delta M_{p_i}^j C_{z_i}}{\frac{\Delta m_{z_i, \max}^j}{k_g} + \Delta M_{p_i}^j C_{z_i}} \right) \chi^j + v_z^j (m_p^j - m_z^j), \quad (5.39)$$

где C_{z_i} — коэффициенты, определяющие долю прироста зерна в каждой части метелки; k_g — параметр Михаэлиса—Ментен.

Озимая рожь. При моделировании продуктивности озимой ржи [170] предлагается рассчитывать непосредственно динамику биомассы зерна. При этом прирост зерна ΔM_z^j описывается уравнением

$$\Delta M_z^j = \frac{\Delta m_{z, \max}^j \Delta M_p^j}{\Delta m_{z, \max}^j / \tan \alpha + \Delta M_p^j} + v_p^j m_p^j, \quad (5.40)$$

где $\Delta m_{z, \max}$ — максимально возможный прирост биомассы зерна, зависящий от максимальной массы 1000 зерен, присущей конкретному сорту, числа продуктивных стеблей и числа зерен

в колосе; v_p — приток ассимилятов из стержня колоса и колосовых чешуй; $\tan \alpha$ — тангенс начального угла кривой прироста зерна (определен из результатов полевых экспериментов).

В нечерноземной зоне озимая рожь полегает в 5—7 годах из 10, что приводит к большим потерям урожая. В связи с этим предложена субмодель стеблевого полегания растений. При этом растительный покров представляется как группа тонких стержней определенной механической прочности, закрепленных на одном конце.

Выделяются условия — необходимое и достаточное — для наступления полегания. Необходимое условие для наступления полегания заключается в том, что растение отклоняется от вертикального положения под воздействием внешних сил, а достаточное — в том, что растение не возвращается в вертикальное положение после прекращения воздействия этих сил.

При наличии ветра полегание растений вызывается силой ветрового напора F . В первом приближении можно считать, что F приложена к верхней части растения. В случае если момент изгибающий $M_{изг}$ больше или равен моменту удерживающему $M_{уд}$, выполняется условие, необходимое для наступления полегания:

$$M_{изг} = Fl, \quad (5.41)$$

а

$$M_{уд} = F_{уд}l, \quad (5.42)$$

где l — соответствующая высота растения; $F_{уд}$ — сила, стремящаяся вернуть растение в вертикальное положение; рассчитывается в соответствии с теорией деформации гибких стержней по выражению:

$$F_{уд} = k_{уд}EI_x/l^2, \quad (5.43)$$

где $k_{уд}$ — коэффициент пропорциональности; E — модуль упругости растений; I_x — момент инерции в поперечном сечении, который можно вычислить, зная диаметр и толщину стенки соломинки стебля.

Силу ветрового напора предлагается рассчитывать по известному из физики уравнению в зависимости от скорости ветра и плотности воздуха. В уравнение также вводится коэффициент ослабления ветра a_v , зависящий от густоты и степени развития растений. Достаточное условие выполнится, если

$$P \geq F_{уд}, \quad (5.44)$$

где P — сила, создаваемая массой растения.

В случае же излома растений используется неравенство

$$\sigma \leq M_{max}/W_x, \quad (5.45)$$

где σ — предельно допускаемое напряжение в материале растений; W_x — момент сопротивления в критическом сечении; M_{max} — максимальный изгибающий момент.

При дожде полегание вызывается динамическим воздействием капель дождя. Принимается, что полегание вызывают крупные капли дождя n , имеющие наибольшую кинетическую энергию. Необходимое условие полегания выполняется, если

$$u_k n \geq A, \quad (5.46)$$

где u_k — кинетическая энергия капли дождя; A — работа, которую необходимо совершить каплям дождя, чтобы вызвать отклонение растений от вертикального положения.

Величину u_k можно рассчитать, зная массу капли и скорость ее падения. Предположив, что капли дождя имеют сферическую форму, массу капли можно выразить через диаметр.

Для определения диаметра капель дождя и скорости их падения используют известные эмпирические зависимости, связывающие эти характеристики с интенсивностью выпадающих осадков.

В случае дождя происходит увеличение массы растения от длительного намкания. Поэтому условие, достаточное для наступления полегания, запишется как

$$Pk_g \geq F_{уд}, \quad (5.47)$$

где k_g — показатель увеличения биомассы растения от намкания.

В случае излома растения достаточное условие полегания рассчитывается по неравенству (5.45). При совместном действии на растение дождя и ветра необходимое условие для наступления полегания выполняется, если

$$u_k n + A_v \geq A, \quad (5.48)$$

где A_v — работа, совершаемая ветром.

Достаточные условия для полегания те же, что и в случае с дождем.

Учет потерь урожая за счет полегания осуществляется следующим образом. В полегшем посеве уменьшается интенсивность ФАР и изменяется ассимилирующая площадь листьев, что приводит к снижению интенсивности фотосинтеза. В модели это учитывается с помощью соответствующих коэффициентов. Большие потери урожая связаны с тем, что в полегшем посеве ухудшаются условия налива зерна и формируется пониженная биомасса 1000 зерен. Доля уменьшения биомассы 1000 зерен z в модели учитывается при определении максимально возможного прироста зерна.

Рис. При моделировании продукционного процесса риса [101] учитывается, что рис — затопляемая культура и рассматривается способность к фотосинтезу в воде листьев и стеблей риса.

Описание процесса фотосинтеза любого из фотосинтезирующих органов дается отдельно для надводной и подводной частей

растений. Функция влияния температуры среды на процесс фотосинтеза культуры риса имеет вид:

$$\psi_{\Phi_{\text{н}}(n)} = \frac{T_d^i - T_{d0}}{T_{d\text{opt}} - T_{d0}} \left(2 - \frac{T_d^i - T_{d0}}{T_{d\text{opt}} - T_{d0}} \right), \quad (5.49)$$

где T_d — дневная температура воздуха или воды, °C; T_{d0} и $T_{d\text{opt}}$ — соответственно начальные и оптимальные дневные температуры воздуха или воды для фотосинтеза, °C.

Для расчета фотосинтеза посева риса за сутки $\Phi_{\text{общ}}$ суммируются значения фотосинтеза надводной и подводной частей i -х органов

$$\Phi_{\text{общ}}^i = \sum_{l=1}^{l_{\text{н}}} \Phi_{l, \text{н}}^i + \sum_{l=1}^{l_{\text{п}}} \Phi_{l, \text{п}}^i. \quad (5.50)$$

Скорость изменения во времени ассимилирующей поверхности подводной части растений описывается уравнением

$$\frac{dl_{l, \text{п}}^i}{dt} = \frac{dm_l^i}{dt} \frac{1}{\delta_l^i} \gamma_z^i. \quad (5.51)$$

Следовательно, для надводной части растений аналогичное уравнение имеет вид

$$\frac{dl_{l, \text{н}}^i}{dt} = \frac{dm_l^i}{dt} \frac{1}{\delta_l^i} (1 - \gamma_z^i), \quad (5.52)$$

где $\gamma_z = z/h$; z — слой воды на рисовом поле, м; h — высота растения, м; δ_l^i — удельная поверхностная плотность листьев и стеблей, г · м⁻².

Хлопчатник. При разработке модели продуктивности хлопчатника [195] развит блок формирования коробочек и описано влияние дефолиации на основные процессы жизнедеятельности растений.

Скорость накопления элементов продуктивности хлопчатника в течение периода репродуктивного роста неодинакова. В начале периода образование бутонов идет медленно, затем быстро возрастает и к концу периода вновь замедляется. Такая закономерность была использована при описании процессов накопления бутонов, коробочек и скорости их созревания. Количественное описание накопления элементов продуктивности проводилось по трем периодам: формирование бутонов, образование коробочек и созревание коробочек. Прирост числа бутонов $\Delta n_0/\Delta t$ определялся по уравнению

$$\frac{\Delta n_0}{\Delta t} = \frac{b N_0^{\text{max}} \cdot 10^{a-bt} \ln 10}{(1 + 10^{a-bt})^2} f(\omega_1), \quad (5.53)$$

где N_0^{max} — максимальное число бутонов, которые могут образоваться на одном растении; $f(\omega_1)$ — функция воздействия влажности почвы.

Образование коробочек n_k описывалось уравнением

$$\frac{\Delta n_k}{\Delta t} = \frac{b n_0 \cdot 10^{a-bt} \ln 10}{(1 + 10^{a-bt})^2} f(\omega_2), \quad (5.54)$$

где n_0 — число бутонов, образовавшихся к дате цветения на одном растении; $f(\omega_2)$ — функция воздействия влажности почвы на формирование коробочек.

Аналогично было получено уравнение для расчета скорости созревания коробочек, числа созревших коробочек

$$\frac{\Delta n_{k, \text{соз}}}{\Delta t} = \frac{b n_k q \cdot 10^{a-bt} \ln 10}{(1 + 10^{a-bt})^2} f(D), \quad (5.55)$$

где n_k — число коробочек к дате их раскрытия, шт. на растение; q — коэффициент, характеризующий биологическую изреженность коробочек; $f(D)$ — функция воздействия дефицита влажности воздуха.

Распределение ассимилятов. Одна из главных трудностей в разработке длиннопериодных динамических моделей продуктивности растений связана с необходимостью моделирования распределения ассимилятов в растении. В базовой модели формирования урожая, изложенной в разделах 5.1—5.2, моделируется рост органов растения, при котором все листья, стебли, корни и репродуктивные органы рассматриваются как один обобщенный орган — один соответственно лист, стебель, корень и репродуктивный орган. На основе моделирования распределения ассимилятов и элементов минерального питания, проведенного в разделе 4.4, открывается возможность предложить для базовой модели принципиально новый подход к распределению ассимилятов, учитывающий донорно-акцепторные отношения между производящими и потребляющими тканями и их изменение в онтогенезе под влиянием эндогенных и экзогенных факторов.

Считая, что изменение массы всех листьев, стеблей, корней и репродуктивных органов является изменением массы одного обобщенного органа листа, стебля, корня и репродуктивного органа, будем изучать рост каждого из таких обобщенных органов. В соответствии с изложенным в разделе 4.4 рассматриваем рост обобщенного органа как соотношение интенсивностей деления и растяжения клеток. В связи с этим выполним еще одно обобщение: будем оперировать такими характеристиками, как осредненная относительная скорость роста делением и роста растяжением каждого органа. Определим, исходя из положений, приведенных в разделе 4.4, запрос ассимилятов со стороны потребляющих тканей. Будем рассматривать первый (для роста делением) и второй (для роста растяжением) уровни потребности органов в продуктах фотосинтеза.

На основе исследований, которые рассматривались в разделе 4.4, под первым (минимальным) уровнем потребности примем то количество продуктов фотосинтеза, которое будет

достаточно для интенсивного протекания процесса деления клеток. Аналогично выражению (4.22) количество ассимилятов, потребное для воспроизведения клеток, будет пропорционально исходной массе меристемы растущего органа и потенциальной интенсивности деления клетки, интенсивность которой определяется также температурным режимом.

Следуя (4.22), запишем первый уровень потребности (запроса) в ассимилятах для роста делением в виде:

$$\frac{\Delta F_i^I}{\Delta t} = \frac{\Delta m_{i(\text{мер})}^{I-1}}{\Delta t} \bar{\Gamma}_i^I K_i^I(T), \quad i \in l, s, r, p, \quad (5.56)$$

где $\Delta F_i^I/\Delta t$ — количество продуктов фотосинтеза, потребное для роста делением i -го органа, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; $\Delta m_{i(\text{мер})}^{I-1}/\Delta t$ — масса меристемы растущего органа, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; $\bar{\Gamma}_i^I$ — осредненная потенциальная интенсивность деления клеток меристемы i -го органа, безразмерная.

Суммарную минимальную потребность растения в продуктах фотосинтеза определим как сумму потребностей всех органов:

$$\frac{\Delta F^I}{\Delta t} = \sum_i \Delta F_i^I/\Delta t, \quad i \in l, s, r, p, \quad (5.57)$$

где $\Delta F/\Delta t$ — количество ассимилятов, необходимое для роста делением всех органов растения (первый уровень потребности), $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Исходя из соображений, приведенных в разделе 4.4, второй уровень потребности органов в ассимилятах представим как количество продуктов фотосинтеза, при котором обеспечивается высокая интенсивность процесса растяжения клеток при складывающихся условиях внешней среды.

По аналогии с выражением (4.26) количество ассимилятов, необходимое для роста растяжением, будет пропорционально массе всей закончившей деление части органа и потенциальной относительной скорости растяжения клеток. На интенсивность этого процесса значительное влияние оказывает температурный режим посевов и условия увлажнения.

Исходя из (4.26) опишем второй уровень потребности (запроса) в продуктах фотосинтеза для роста растяжением i -го органа выражением

$$\Delta S_i^I/\Delta t = m_{i(\text{раст})}^{I-1} \bar{\Gamma}_{ip}^I K_p^I(T) K_p^I(W), \quad i \in l, s, p, \quad (5.58)$$

где $\Delta S_i^I/\Delta t$ — количество ассимилятов, необходимое для роста растяжением i -го органа, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; $m_{i(\text{раст})}^{I-1}$ — масса закончившей деление части органа, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$; $\bar{\Gamma}_{ip}^I$ — осредненная потенциальная относительная скорость растяжения клеток i -го органа, сут^{-1} ; $K_p(W)$ — функция влияния влажности почвы на рост растяжением, безразмерная.

Выражение (5.58) применимо для определения второго уровня потребности в ассимилятах для роста растяжением надземных органов, в которых деление и растяжение клеток длительное время идут одновременно.

Для корневой системы характерна та особенность, что у корня зона деления и зона растяжения пространственно разделены. Эта особенность может быть учтена при моделировании запроса корня в ассимилятах на рост растяжением. Следуя (4.28), потребное количество продуктов фотосинтеза может быть представлено пропорциональным массе всей закончившей деление и поступающей в зону растяжения части корня и потенциальной интенсивности растяжения клеток. Естественно, что интенсивность этого процесса в значительной мере определяется также влиянием температуры и влажности почвы.

На основе (4.28) опишем второй уровень потребности (запроса) в ассимилятах для роста растяжением корня уравнением

$$\frac{\Delta S_r^I}{\Delta t} = \frac{\Delta m_{r(\text{мер})}^{I-2}}{\Delta t} \bar{\Gamma}_{rp}^I K_p^I(T) K_p^I(W), \quad (5.59)$$

где $\bar{\Gamma}_{rp}^I$ — осредненная потенциальная интенсивность растяжения клеток корня, безразмерная.

Тогда суммарную потребность (запрос) в ассимилятах второго уровня для всего растения определим как сумму потребностей всех органов для роста растяжением:

$$\Delta S^I/\Delta t = \sum_i \Delta S_i^I/\Delta t, \quad i \in l, s, r, p, \quad (5.60)$$

где $\Delta S/\Delta t$ — количество ассимилятов, потребное для роста растяжением всех органов растения (второй уровень потребности), $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Аналогично распределению свободных углеводов и азота на уровне фитомера (см. раздел 4.4) проведем распределение продуктов фотосинтеза между органами растения в два этапа: распределение по потребностям первого и второго уровней запроса.

На первом этапе распределение продуктов фотосинтеза осуществляется по запросам первого уровня потребности. При этом возможны две ситуации. В качестве первой рассмотрим случай, когда определяемый по формулам (5.2), (5.5) фотосинтез посева за сутки будет меньше или равен суммарному первому уровню потребности всех органов в продуктах фотосинтеза, т. е.

$$\Phi^I \leq \Delta F^I/\Delta t. \quad (5.61)$$

В этом случае распределение производится подобно описанному в разделе 4.4: с помощью введенной нами формулы (4.34) —

функции распределения для роста делением. Принимая во внимание выражение (4.34), опишем эту функцию:

$$\mathcal{B}_i^l = \frac{\Delta F_i^l}{\Delta t} \bigg/ \frac{\Delta F^l}{\Delta t}, \quad i \in l, s, r, p, \quad (5.62)$$

где $\mathcal{B}_i$ — функция поступления продуктов фотосинтеза в i -й орган для роста делением, безразмерная.

Эта функция — функция роста делением i -го органа — характеризует долю потребности i -го органа в ассимилятах в суммарной потребности всех растущих органов для роста делением.

Применяя функцию роста делением, по аналогии с выражением (4.36) определим количество ассимилятов, транспортируемых в растущие ткани i -го органа, по выражению

$$\Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{мер})} = \mathcal{B}_i^l \Phi^l, \quad (5.63)$$

где $\Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{мер})}$ — количество ассимилятов, поступивших в i -й орган на рост делением, $\text{г} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$.

Если же условие (5.61) не соблюдается и количество продуктов фотосинтеза за сутки превышает суммарный первый уровень потребности всех органов в ассимилятах, т. е.

$$\Phi^l > \Delta F^l / \Delta t, \quad (5.64)$$

то распределение ассимилятов между органами осуществляется в соответствии с запросом второго уровня (для роста растяжением) потребности в продуктах фотосинтеза.

При этой ситуации (исходя из обсуждения, предпринятого в разделе 4.4) распределение идет с учетом как первого, так и второго уровня потребности в ассимилятах. Учитывается сочетание этих двух запросов и вводятся две фазы распределения. Для первой фазы будет характерным то обстоятельство, что распределение ассимилятов идет по первому уровню потребности. Количество ассимилятов, направляемых в растущие ткани i -го органа, требуемое для роста делением, принимается равным минимальной (первого уровня) потребности i -го органа

$$\Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{мер})} = \Delta F_i^l / \Delta t, \quad i \in l, s, r, p. \quad (5.65)$$

Отличительной особенностью второй фазы распределения будет осуществление распределения оставшегося (сверх суммарного запроса первого уровня потребности) количества ассимилятов. На этой фазе распределение идет с учетом запросов второго уровня подобно тому, как это показано в разделе 4.4: с помощью введенной нами формулы (4.40) — функции распределения для роста растяжением.

Учитывая выражение (4.40), запишем функцию распределения в виде

$$\mathcal{F}_i^l = \frac{\Delta S_i^l}{\Delta t} \bigg/ \frac{\Delta S^l}{\Delta t}, \quad i \in l, s, r, p, \quad (5.66)$$

где $\mathcal{F}_i$ — функция поступления ассимилятов в i -й орган для роста растяжением, безразмерная.

Аналогично (4.40) эта функция, называемая нами функцией роста растяжением i -го органа, характеризует долю потребности i -го органа в ассимилятах в суммарной потребности всех растущих органов для роста растяжением.

Исходя из (4.42) запишем уравнение, описывающее транспорт ассимилятов в i -й орган на рост растяжением:

$$\Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{раст})} = \mathcal{F}_i^l (\Phi^l - \Delta F^l / \Delta t), \quad i \in l, s, r, p, \quad (5.67)$$

где $\Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{раст})}$ — количество ассимилятов, поступивших в i -й орган на рост растяжением, $\text{г} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$.

Аналогично тому, как это представлено в выражениях (4.68), (4.69), рассмотрим дыхательную активность трех различных зон i -го органа: меристематической, роста делением и дифференцированной:

$$R_i^{l(s)} = C_0 \Phi_{\text{тр. } i}^{l(s)} + C_m m_i^{l(s)} \varphi_R^l, \quad (5.68)$$

$$R_i^{l(\text{лиф})} = \alpha_R^l C_m m_i^{l(\text{лиф})} \varphi_R^l, \quad s \in \text{мер, раст}, \quad (5.69)$$

где R_i — интенсивность дыхания отдельной зоны i -го органа, $\text{г} \times \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Изменение биомассы каждой из трех зон (зоны деления, зоны растяжения, зоны дифференцирования) определяется соотношением скоростей следующих процессов:

в зоне деления — скорости поступления ассимилятов для роста делением и затрат на дыхание;

в зоне растяжения — скорости поступления продуктов фотосинтеза для роста растяжением, изменения массы закончивших деление и поступающих в зону растяжения частей i -го органа, затрат на дыхание; в зоне дифференциации — скорости изменения массы закончивших рост растяжением частей i -го органа и поступающих в зону дифференцировки, скорости распада стареющих структур и затрат на дыхание.

Следуя выражениям (4.71) и (4.73), можно записать уравнения изменения биомассы различных тканей i -го органа: меристематической, ткани, в которой интенсивно идут процессы роста растяжением, и ткани, в которой завершены процессы дифференциации. Эта система уравнений имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta m_i^{l(\text{мер})} / \Delta t &= \Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{мер})} - R_i^{l(\text{мер})}, \\ \Delta m_i^{l(\text{раст})} / \Delta t &= \Phi_{\text{тр. } i}^{l(\text{раст})} + \Delta m_i^{l-1(\text{мер})} / \Delta t - R_i^{l(\text{раст})}, \\ \Delta m_i^{l(\text{лиф})} / \Delta t &= \Delta m_i^{l-1(\text{раст})} / \Delta t - v_i^l m_i^{l(\text{лиф})} - R_i^{l(\text{лиф})}, \\ \Delta m_p^{l(\text{лиф})} / \Delta t &= \Delta m_p^{l-1(\text{раст})} / \Delta t + \sum_i v_i^l m_i^{l(\text{лиф})} - R_p^{l(\text{лиф})}, \end{aligned} \right\} \quad i \in l, s, r, p. \quad (5.70)$$

Система уравнений (5.70) позволяет оценить изменение биомассы различных тканей i -го органа растения в онтогенезе, переход меристематической ткани в зону растяжения, поступление ткани в зону дифференцировки. Естественно, что прирост всей сухой биомассы i -го органа будет равен сумме приростов всех тканей этого органа:

$$\Delta m_i^s / \Delta t = \sum_s \Delta m_i^{(s)} / \Delta t, \quad s \in \text{мер, раст, дифф}, \quad (5.71)$$

а прирост сухой биомассы всего растения — соответственно

$$\Delta M^s / \Delta t = \sum_i \Delta m_i^s / \Delta t. \quad (5.72)$$

Сформулированные в разделе (4.4) положения позволяют поновому моделировать распределение продуктов фотосинтеза в растении в условиях наступающей засухи. Изменение запаса потребляющих тканей и отдельных органов в условиях засухи представляется уравнениями, аналогичными (4.48) и (4.49).

Изложенные модификации по отдельным сельскохозяйственным культурам значительно дополняют базовую модель формирования урожая, рассмотренную в разделах 5.1—5.2, и позволяют улучшить количественное описание влияния агрометеорологических условий на процесс формирования урожая.

Предложенный новый подход к распределению ассимилятов, основанный на учете донорно-акцепторных отношений между производящими и потребляющими тканями, и его стыковка с остальными блоками базовой модели позволяют говорить о том, что по существу разработан новый, второй вариант базовой модели формирования урожайности сельскохозяйственных культур, реализация которого в агрометеорологических прогнозах повысит надежность и работоспособность схем агрометеорологических прогнозов, основанных на применении моделей продукционного процесса растений.

5.4. Развитие методов определения параметров базовой модели формирования урожая

При разработке моделей продукционного процесса источником информации для идентификации параметров моделей являются теоретические представления о механизме описываемых процессов, а также результаты анализа материалов экспериментов по конкретным сельскохозяйственным культурам. Требование наилучшего согласования между рассчитанными по модели и экспериментальными данными влечет за собой требование минимальной сложности модели. Вполне очевидно, что наилучшее согласование модели может быть достигнуто при учете биологических особенностей каждой конкретной сельскохозяйственной культуры. Модель, изложенная в главе 5, является базовой, ее параметры дол-

жны быть определены в рамках вполне конкретной модели, описывающей продукционный процесс рассматриваемой культуры в изучаемом почвенно-климатическом регионе.

Наибольший интерес представляет определение параметров функций фотосинтеза и дыхания, получение ростовых функций, являющихся весьма важным звеном динамических моделей формирования урожая. Мы попытались найти более общие подходы к их определению с использованием общебиологических закономерностей процесса, а также массовых материалов наблюдений за фенологией и состоянием сельскохозяйственных культур [132, 142].

При исследовании потенциалов фотосинтетической продуктивности различных культур в [278] использованы обобщенные для различных культур данные о максимальной интенсивности фотосинтеза листьев. Эти данные получены для различных климатических зон в условиях естественного освещения. На основе этих данных в [278] получена связь между максимальной интенсивностью фотосинтеза и максимальной скоростью роста. Эта связь приведена в несколько измененном нами виде на рис. 5.2. С помощью этой кривой по экспериментальным данным о приросте биомассы растений можно определить соответствующую их максимальным значениям интенсивность фотосинтеза. Последняя может быть введена в прикладные модели как значение $\Phi_{\max}$. Эта процедура позволит в первом приближении определить уровень фотосинтетической активности растений, присущей данному виду (сорт), при вполне конкретных почвенно-климатических условиях. Параметр a_{Φ} рекомендуется в [278] принимать равным для C_3 и C_4 -растений соответственно 0,051 и 0,076 мг $\text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} / (\text{Дж} \cdot \text{сут}^{-1})$.

Рассмотрим возможность расчетного подхода к определению параметров функций влияния температуры воздуха на интенсивность фотосинтеза и дыхания [142]. В данном случае речь идет о ключевых параметрах функций влияния или так называемых кардинальных точках температурных кривых фотосинтеза и дыхания.

Температурные кривые фотосинтеза и дыхания показаны на рис. 5.3. Согласно анализу, выполненному в [58], вид температурной кривой фотосинтеза одинаков для различных сельскохозяй-

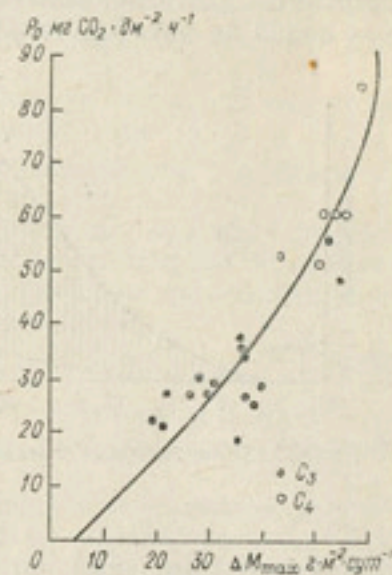


Рис. 5.2. Связь между максимальной интенсивностью фотосинтеза P_0 листьев и максимальной скоростью роста $\Delta M_{\max}$. По данным [278].

зяйственных культур. Разность между фотосинтезом и дыханием при одной и той же температуре определяет уровень нетто-фотосинтеза (рис. 5.3, заштрихованная область) и положение трех кардинальных точек температурной кривой нетто-фотосинтеза: нижней границы (температурного минимума), температурного оптимума и верхней границы (температурного максимума). Оптимумом можно считать [76] область температур, при которых нетто-фотосинтез достигает более 90 % своего максимального значения. Как видно на рис. 5.3, температурный оптимум нетто-фотосинтеза

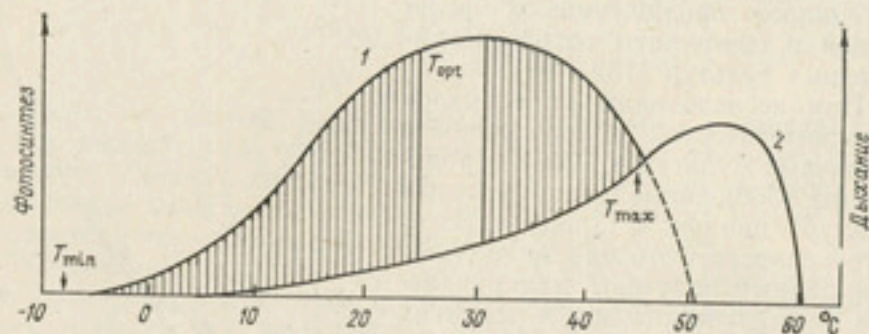


Рис. 5.3. Температурные кривые фотосинтеза (1) и дыхания (2). По данным [76].

уже, чем оптимальный интервал для брутто-фотосинтеза. Весьма важным является то, что у группы C_3 -растений (куда входит большинство сельскохозяйственных культур) оптимум, так же как и другие кардинальные точки, зависит не столько от вида растения, сколько от теплового режима в естественном местообитании в период активной жизнедеятельности [76].

Исходя из вышеизложенного сформулируем две основные, обоснованные биологически предпосылки, которые будут использованы при разработке метода оценки параметров. Во-первых, существует достаточно общий устойчивый для различных сельскохозяйственных культур вид температурной кривой фотосинтеза и дыхания. Во-вторых, кардинальные точки зависимости нетто-фотосинтеза от температуры определяются температурным режимом периода вегетации культуры в ареале ее возделывания.

Для оценки влияния температуры воздуха на интенсивность фотосинтеза в моделях продукционного процесса растений широко используется предложенное в [9] выражение, аппроксимирующее температурную кривую фотосинтеза:

$$\psi_T = 0,2 \frac{T - T_{\min}}{T_{\text{opt}} - T_{\min}} \left[6 - \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\text{opt}} - T_{\min}} \right)^5 \right], \quad (5.73)$$

где ψ_T — функция влияния температуры воздуха; T — температура воздуха, °C; T_{opt} — оптимальная для фотосинтеза температура

воздуха, °C; $T_{\min}$ — минимальная температура воздуха, при которой еще возможен фотосинтез, °C.

Значения $T_{\min}$ и T_{opt} являются кардинальными точками кривой.

Температурная функция дыхания записывается в виде

$$\psi_T = Q_{10}^{0,1(T - T_{a_0})}, \quad (5.74)$$

где Q_{10} — температурный коэффициент дыхания; T_{a_0} — температура, при которой берется исходное (для расчета) значение дыхания, °C.

Таким образом, задача сводится к оценке численных значений $T_{\min}$, T_{opt} и T_{a_0} для вычисления функций типа (5.73) и (5.74). Необходимо также оценить значение максимальной температуры, при которой еще возможен фотосинтез.

Идея, положенная в основу предлагаемого метода, состоит в следующем. Фотосинтетическая деятельность посевов сельскохозяйственной культуры в ареале ее возделывания определяет уровень биологической и хозяйственной урожайности:

$$Y = F(P_n, K_{\text{хоз}}), \quad (5.75)$$

где Y — урожайность, т · га⁻¹; P_n — нетто-фотосинтез, мг CO₂ × × дм⁻² · ч⁻¹; $K_{\text{хоз}}$ — параметр, определяющий долю хозяйственно ценной части урожая, безразмерный.

Изменчивость показателей продуктивности фотосинтеза (нетто-фотосинтеза, $K_{\text{хоз}}$) под влиянием погодных условий вызывает соответствующие колебания урожайности сельскохозяйственных культур.

Рассматривая урожайность как функцию суммарных за короткие интервалы времени (декада, межфазный период) значений нетто-фотосинтеза и соответствующих значений $K_{\text{хоз}}$, можно полагать, что в среднем многолетнем разрезе изменчивость урожайности тождественна изменчивости показателей нетто-фотосинтеза, хотя в отдельные аномальные по погодным условиям годы такая закономерность может и нарушаться. Одной из основных причин этих нарушений являются кратковременные стрессовые ситуации в период формирования репродуктивных органов, вызывающие значительные изменения $K_{\text{хоз}}$.

Тогда, выделив для данной культуры территорию, в пределах которой отмечаются максимальные уровни урожайности (при минимальной их вариации), и полагая поэтому, что средние многолетние агроклиматические условия этой территории наиболее благоприятны для возделывания данной культуры, логично сформулировать следующую предпосылку: на указанной территории при средних многолетних значениях температуры воздуха достигаются наивысшие для данной культуры значения продуктивности фотосинтеза (нетто-фотосинтеза). Иными словами, средняя многолетняя температура воздуха и ее сезонный ход будут оптимальными для продуктивности фотосинтеза.

Реализация описанного метода оценки параметров сводится в таком случае к отысканию территории, наиболее благоприятной для данной культуры в агроклиматическом отношении, и к оценке временной изменчивости температуры воздуха по основным периодам вегетации.

Рассмотрим первый этап реализации метода. Для того чтобы в ареале возделывания культуры выделить группу областей, где отмечается наиболее высокий уровень урожайности в сочетании с наименьшей ее изменчивостью под влиянием погодных условий, необходимо проанализировать пространственно-временную изменчивость урожайности. Известны различные способы изучения. Одним из наиболее удачных и широко применяемых в агрометеорологических исследованиях является подход, предложенный В. М. Пасовым [122], который позволяет оценить изменчивость урожайности под воздействием погодных условий.

В связи с тем что рассматривается весь ареал возделывания культуры, возможны разные ситуации:

1) возрастание вариации урожайности к югу (юго-востоку) от выделенной группы областей, объясняемое повышенным температурным режимом и недостаточным увлажнением;

2) возрастание изменчивости урожайности к северу (северо-западу) за счет недостатка тепла и избытка влаги, а также возрастание ее к югу (юго-востоку) вследствие избытка тепла и недостатка влаги;

3) увеличение изменчивости урожайности к северу от выбранной группы областей, вызванное недостаточной теплообеспеченностью.

Для озимых культур существенные коррективы вносятся и условиями перезимовки.

Наибольшие возможности для анализа представляет ситуация, при которой увеличение изменчивости и снижение уровня урожайности происходит к северу и югу от выделенной группы областей. В этом случае с большей степенью вероятности можно говорить о том, что в достаточно большом ареале возделывания культуры имеется территория, на которой отмечаются оптимальные для ее произрастания средние многолетние агрометеорологические условия. На этой территории наблюдается такое сочетание режима ФАР, термических условий периода вегетации, режима увлажнения и условий перезимовки (для озимых культур), которое обеспечивает высокий уровень фотосинтетической деятельности посевов культуры, высокое значение $K_{хоз}$ и, как результат этого, устойчивый и высокий хозяйственный урожай.

Вторым этапом реализации предлагаемого метода является оценка кардинальных точек температурной кривой фотосинтеза. Средняя многолетняя температура воздуха за отдельные периоды вегетации в ареале ежегодного возделывания культуры, как и любая средняя характеристика, обладает вполне определенной изменчивостью. При построении теоретической кривой распределения средней многолетней температуры за какой-либо временной

интервал учитывается весь диапазон изменения наблюдаемой на этой территории температуры воздуха. В этом диапазоне осуществляется вполне определенная фотосинтетическая деятельность посевов культуры, ежегодно приводящая к получению урожая.

Естественно, что по крайним, наименее вероятным значениям температуры воздуха можно приближенно судить о пределах температуры, в которых, возможно, и наблюдается фотосинтетическая деятельность посевов. Эти значения определяют наименьший уровень нетто-фотосинтеза.

Ранее отмечалось, что кардинальные точки зависимости нетто-фотосинтеза от температуры воздуха определяются температурным режимом периода вегетации культуры в ареале ее возделывания. Отсюда выделяемые на кривой распределения температуры воздуха минимальные и максимальные значения температуры можно в первом приближении рассматривать как нижнюю и верхнюю границы температуры нетто-фотосинтеза, т. е. температурный минимум и температурный максимум нетто-фотосинтеза. Соответственно модальное значение этой кривой — это температура воздуха, оптимальная для продуктивности нетто-фотосинтеза.

Как видно на рис. 5.3, с ростом температуры воздуха выше оптимальной для нетто-фотосинтеза дыхание существенно возрастает, что позволяет рассматривать температурный оптимум нетто-фотосинтеза в качестве температуры, исходной для расчета дыхания.

Разработанные нами полуэмпирические методы определения ростовых функций периода вегетативного и репродуктивного роста, расчета площади ассимилирующей поверхности [130, 132] основаны на частном случае закона роста и моделировании наиболее общего процесса, характеризующего старение живых организмов, — распада жизнедеятельных структур. Этим определяется теоретическое значение методов. Их практическая значимость состоит в возможности оценки ростовых функций на основе лишь двух типов входной информации:

1) используя время начала и прекращения роста i -го органа и время созревания растения по данным стандартных агрометеорологических наблюдений;

2) учитывая значение доли i -го органа в целом растении при созревании и значение предельно возможного снижения биомассы при отмирании органа, которые достаточно хорошо известны из литературы.

Развитый нами подход позволил впервые теоретически оценить географическую изменчивость параметров моделей [132].

Полуэмпирические методы определения ростовых функций периода вегетативного и репродуктивного роста, расчета площади ассимилирующей поверхности, предложенные нами [130, 131, 132], успешно реализованы в моделях формирования урожая: озимой пшеницы [55, 132, 147, 150, 169], озимой ржи [109, 147, 169], яровой пшеницы [30, 149, 150], ярового ячменя [132, 150], овса [132, 151], кукурузы [99, 150], проса [153], риса [101], гречихи [151],

гороха [79, 151], хлопчатника [195], подсолнечника [85, 202], льна [135, 150] картофеля [23, 132, 138, 150], сеяных трав [89] и пастбищной растительности [30]. В связи с перечисленным выше разнообразием сельскохозяйственных культур, при построении моделей которых эффективно применялись предложенные нами методы [130, 131, 132, 142], можно думать, что переход от эмпирических методов определения параметров к методам, базирующимся на основе теоретических обобщений, учете общебиологических закономерностей роста и развития растений, является в настоящее время наиболее плодотворным.

Часть III

Динамико-статистические методы прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур

Изучение влияния факторов внешней среды на формирование продуктивности посевов, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур являются главными проблемами агрометеорологии. Сложность разработки проблемы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур вызывает необходимость вести широкие поисковые исследования, идти различными путями к ее разрешению — от описания внешней стороны процессов формирования урожая, поиска статистических связей, косвенно учитывающих эффекты, природа которых не вполне известна, к объяснению их внутренних закономерностей, используя для этой цели материалы и методы смежных с агрометеорологией наук.

Основные теоретические положения агрометеорологического прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур и трав сформулированы Р. Э. Давидом, В. М. Обуховым, Н. А. Зубаревым, С. А. Вериго, Л. А. Разумовой, Е. А. Цубербиллер, Е. С. Улановой, М. С. Куликом, А. В. Процеровым, К. В. Кирилличевой, Ю. И. Чирковым, А. П. Федосеевым, В. А. Моисейчик и др. На созданной ими научной основе велись все дальнейшие исследования в этой области агрометеорологии, развивались новые подходы к решению указанной проблемы, разрабатывалась существующая ныне научно-методическая база агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства страны.

Глава 6

Методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур

6.1. О развитии методов агрометеорологических прогнозов продуктивности сельскохозяйственных культур

Последовательные этапы развития методов агрометеорологических прогнозов обсуждаются в работах [68, 123, 139, 156, 207, 218, 228, 286, 301]. Последние публикации по этому вопросу [122, 140, 154, 167, 168], вышедшие в 1984—1986 гг., дают наиболее полное

представление о современном состоянии агрометеорологического прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур.

На основании материалов, приведенных в [167, 168], можно выделить шесть групп сельскохозяйственных культур, по которым разработаны методы агрометеорологических прогнозов урожайности (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Перечень групп сельскохозяйственных культур, по которым разработаны методы прогнозов урожайности

Номер группы	Группа сельскохозяйственных культур, по которой разработаны методы прогнозов урожайности	Наименование культуры
1	Зерновые	Озимая пшеница, озимая рожь, яровая пшеница, яровая ячмень, овес, кукуруза, гречиха, рис
2	Технические	Сахарная свекла, картофель, подсолнечник, хлопчатник, лен-долгунец
3	Овощные	Томаты, капуста
4	Плодовые	Абрикос
5	Субтропические	Чай, табак, цитрусовые, виноград
6	Травы	Сеяные, луговые, пастбищные

Среди описанных в [167, 168] методов прогнозов продуктивности наиболее многочисленную группу составляют методы прогнозов урожайности зерновых культур. Широкое развитие получили методы прогнозов урожайности технических культур, меньшее — методы прогнозов урожайности субтропических культур и трав. Для овощных и плодовых культур исследования пока еще мало числены.

6.2. О расчете валового сбора сельскохозяйственных культур и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур

Среднеобластной прогнозируемый валовой сбор сельскохозяйственной культуры W (тыс. т) рассчитывается по формуле

$$W = Y_n S, \quad (6.1)$$

где Y_n — среднеобластная прогнозируемая урожайность, т · га⁻¹; S — посевная площадь культуры в области, тыс. га.

Прогнозируемый среднеобластной суммарный валовой сбор зерновых и зернобобовых культур W (тыс. т) вычисляется по формуле, аналогичной (6.1), только в этом случае Y_n — среднеобластная прогнозируемая урожайность зерновых и зернобобовых культур в целом, т · га⁻¹; S — суммарная посевная площадь зерновых и зернобобовых культур в области, тыс. га.

Прогнозирование суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур в целом [136] осуществляется по отдельным группам культур (озимым, ранним яровым, поздним теплолюбивым и зернобобовым).

При этом используется агрометеорологическая информация, освещающая условия произрастания каждой отдельно взятой группы культур. В связи с этим агрометеорологические условия формирования урожая группы культур рассматриваются при условии, если вклад валового сбора этой группы культур в суммарный валовой сбор зерновых и зернобобовых культур области (республики) составляет не менее 5 %.

6.3. Основы динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур

6.3.1. Основные принципы прогнозирования урожайности

Урожайность сельскохозяйственных культур определяется уровнем культуры земледелия, почвенно-климатическими и погодными условиями района возделывания. Временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур Y_t можно рассматривать как сумму двух слагаемых — детерминированной составляющей и случайных отклонений от нее:

$$Y_t = f(t) + E_t, \quad (6.2)$$

где $f(t)$ — некоторая неслучайная функция времени (тренд); E_t — случайная составляющая временного ряда (случайный компонент).

Тенденция урожайности является следствием постепенного улучшения культуры земледелия при среднем уровне почвенно-климатических условий. Ее уровень зависит от внедрения в практику достижений науки и техники. Изменения случайной компоненты временных рядов урожайности определяются главным образом агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет.

Прогнозирование урожайности может осуществляться с учетом обеих составляющих временного ряда: тренда (путем экстраполяции с помощью любого из методов прогноза по одному временному ряду) и отклонений урожайности от сложившейся тенденции (с помощью методов оценки агрометеорологических условий произрастания культур). Сумма двух полученных таким способом прогнозов дает суммарный прогноз урожайности. Методология динамико-статистического прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур [131, 132] опирается, с одной стороны, на методы прогнозирования по одному временному ряду, широко используемые при прогнозировании экономических явлений, с другой — на методы оценки агрометеорологических условий формирования урожая с помощью динамических моделей продуктивности сельскохозяйственных культур.

Для прогнозирования урожайности Y_n используется выражение

$$Y_n = Y_{t+1} C, \quad (6.3)$$

где Y_{t+1} — тенденция урожайности сельскохозяйственной культуры (зерновых и зернобобовых в целом) на прогнозируемый год; S — оценка степени отличия складывающихся на дату составления прогноза агрометеорологических условий формирования урожая культуры (зерновых и зернобобовых в целом) от многолетних, на фоне которых формируется тенденция урожайности.

Перейдем к рассмотрению способов расчета составляющих уравнения (6.3).

6.3.2. Прогнозирование тенденции урожайности

Наиболее распространенным подходом к решению задач прогнозирования тенденции урожайности является экстраполяция действующих в настоящее время связей и закономерностей на будущее. В качестве информации для изучения взаимосвязей служат временные ряды урожайности, наиболее общие закономерности которых позволяют вести экстраполяцию их тенденции. Разработанные в соответствии с этим принципом методы прогнозов тенденции урожайности различаются лишь гипотезами о конкретных видах сохраняемых связей. При прогнозировании тенденции урожайности сельскохозяйственных культур применяются с различной степенью эффективности разные методы прогнозов по одному временному ряду: авторегрессионные модели, метод экспоненциального сглаживания, метод гармонических весов, прогноз с помощью марковских цепей.

При анализе временных рядов урожайности часто применяется метод наименьших квадратов, при котором все наблюдения временного ряда имеют одинаковый вес. Однако хорошо известно, что ожидаемый уровень тенденции урожайности в большей степени зависит от уровня, достигнутого в предыдущие годы. Более ранние наблюдения также несут некоторую информацию о процессе, но при анализе им следует придавать меньшие веса по сравнению с более поздними наблюдениями.

В методах прогноза по одному временному ряду делается предположение относительно вида тренда; форма и его параметры определяются в результате подбора наилучшей (по какому-либо из статистических критериев) функции из числа имеющихся. По сравнению с этими методами метод гармонических весов [210, 254], реализованный нами для прогнозирования тенденции урожайности сельскохозяйственных культур [131], имеет то преимущество, что в таких предположениях здесь нет необходимости.

6.3.2.1. Экстраполяция тенденции урожайности методом гармонических весов

В качестве некоторого приближения $\hat{f}(t)$ истинного тренда $f(t)$ временного ряда урожайности сельскохозяйственных культур

$$Y_t (t = 1, 2, 3, \dots, n)$$

принимается ломаная линия, сглаживающая заданное число точек временного ряда Y_t . Отдельные отрезки ломаной линии (скользящего тренда) представляют его отдельные фазы. Для определения отдельных фаз скользящего тренда выбираем число $k < n$ и находим уравнения линейных отрезков:

$$Y_t(t) = a_i + b_i(t), \quad (t = 1, 2, \dots, n - k + 1), \quad (6.4)$$

причем

для

$$i = 1, \quad t = 1, 2, \dots, k;$$

для

$$i = 2, \quad t = 2, 3, \dots, k + 1;$$

для

$$i = n - k + 1, \quad t = n - k + 1, n - k + 2, \dots, n.$$

Параметры a_i и b_i уравнения (6.4) определяются методом наименьших квадратов.

Значение каждой функции $Y_i(t)$ определяем в точках

$$t = i + h - 1, \quad (h = 1, 2, \dots, k).$$

Количество определений $Y_i(t)$ в каждой точке t обозначаем через g_i , а через $Y_j(t)$ — значения функции $Y_i(t)$ для $t = i$. Точки скользящего тренда — это средние значения всех $Y_j(t)$, которые определяются по выражению

$$\bar{Y}_t = \frac{1}{g_t} \sum_{j=1}^{g_t} Y_j(t), \quad (j = 1, 2, \dots, g_t). \quad (6.5)$$

Приросты w_{t+1} функции $f(t)$ определяются как

$$w_{t+1} = f(t+1) - f(t) = \bar{Y}_{t+1} - \bar{Y}_t, \quad (6.6)$$

вычисляется средняя приростов

$$\bar{w} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n w_{t+1}, \quad (6.7)$$

где C_{t+1}^n — коэффициенты, удовлетворяющие следующим условиям:

$$C_{t+1}^n > 0 \quad (t = 1, 2, \dots, n-1); \quad (6.8)$$

$$\sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n = 1. \quad (6.9)$$

Гармонические коэффициенты определяются по формуле

$$C_{t+1}^n = m_{t+1} / (n-1), \quad (6.10)$$

где m_{t+1} — гармонические веса.

Выражение (6.7) позволяет придавать более поздним наблюдениям большие веса. Если самые ранние наблюдения имеют вес

$$m_2 = 1/(n-1), \quad (6.11)$$

то вес информации m_3 , относящейся к следующему моменту времени, будет определяться как

$$m_3 = m_2 + 1/(n-2). \quad (6.12)$$

Таким образом, ряд гармонических весов определяется по уравнению

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t} \quad (t=2, 3, \dots, n-1) \quad (6.13)$$

с начальным значением, выраженным уравнением (6.11).

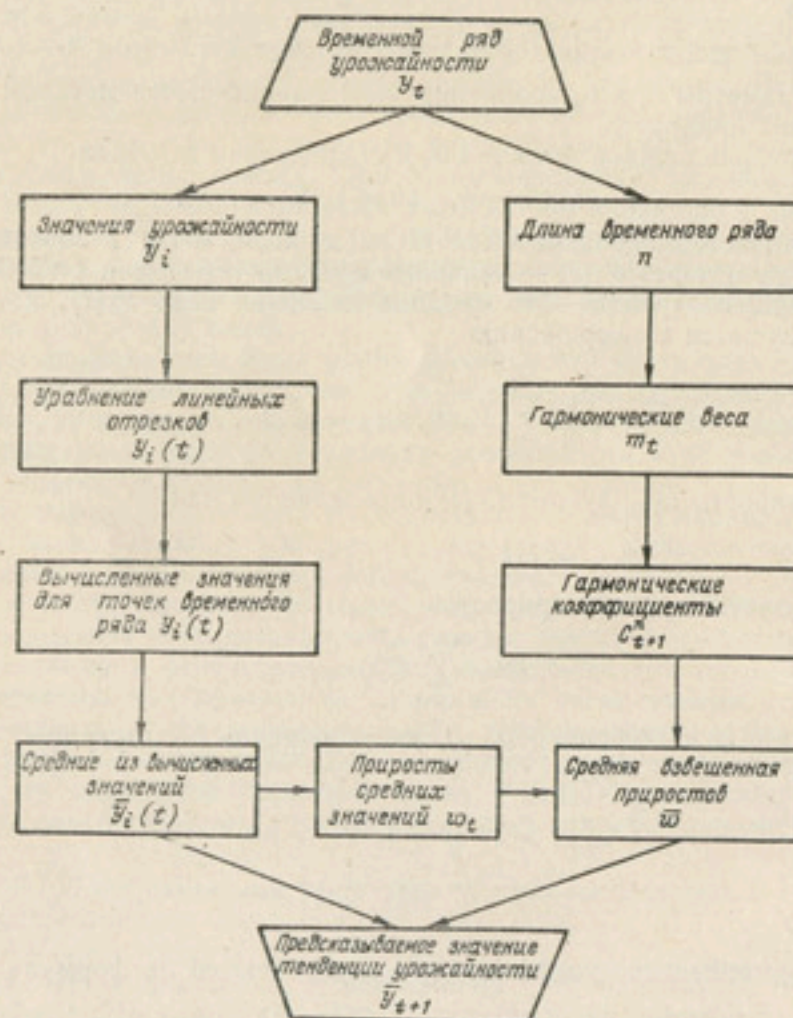


Рис. 6.1. Блок-схема прогноза тенденции урожайности сельскохозяйственных культур.

Предсказываемое значение тенденции временного ряда урожайности определяется по формуле

$$\bar{Y}_{t+1} = \bar{Y}_t + \bar{w} \quad (6.14)$$

при начальном условии $\bar{Y}_1 = \bar{Y}_n$.

Принципиальная блок-схема описанного выше метода экстраполяции тенденции урожайности сельскохозяйственных культур представлена на рис. 6.1.

6.3.2.2. Исходная информация для экстраполяции тенденции урожайности

Для прогнозирования тенденции урожайности сельскохозяйственных культур используются ежегодные данные среднеобластной (средней по республике, краю) урожайности по всем категориям хозяйств (по колхозам и совхозам). Если ряд урожайности больше или равен 18 годам, то число лет, образующих одну фазу скользящего тренда, равно 16 ($k=16$), а при ряде менее 18 лет $k=10$.

6.3.3. Оценка агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур

6.3.3.1. Основные принципы оценки

Основу диагностики агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур составляет определение степени отличия фотосинтетической деятельности посевов в текущем году от среднего многолетнего хода этих характеристик [131, 132].

Изменения интенсивности фотосинтеза и дыхания под влиянием определенных агрометеорологических условий определяют уровень суммарной продуктивности фотосинтеза, что в свою очередь обуславливает соответствующую динамику биомассы отдельных органов и их ассимилирующей поверхности. Последняя формирует дальнейшую фотосинтетическую активность посевов и т. д. Все эти изменения приводят к колебаниям урожайности.

Отклонение урожайности от ее тенденции в течение оцениваемого временного интервала при вполне определенных агрометеорологических условиях, отличающихся от средних многолетних, определяется изменением всех важнейших показателей фотосинтетической деятельности посевов, которое вызвано воздействием этих агрометеорологических условий.

В основу количественной диагностики агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур, которая при рассмотрении длительного периода вегетации является и оценкой возможного отклонения урожайности от ее тенденции, положено выражение [131, 132]:

$$C = \hat{m}_p / \bar{m}_p, \quad (6.15)$$

где C — оценка агрометеорологических условий формирования урожая в течение рассматриваемого периода вегетации; $\hat{m}_p$ — биомасса репродуктивных органов (колосьев — у зерновых, початков — у кукурузы, клубней — у картофеля, коробочек — у льна), рассчитанных по данным, характеризующим агрометеорологические условия оцениваемого периода; $\bar{m}_p$ — биомасса репродуктивных органов, рассчитанная по средним многолетним агрометеорологическим данным.

Изменение показателей фотосинтетической деятельности посевов под воздействием вполне определенных агрометеорологических условий принимается тождественным изменению урожайности. Для оценки агрометеорологических условий по модели рассчитывается биомасса репродуктивных органов с учетом условий рассматриваемого периода, а также на фоне климатических данных.

Отношение $\hat{m}_p/\bar{m}_p$ позволяет количественно установить степень изменения в ту или иную сторону показателей фотосинтетической деятельности посевов, обусловленную воздействием факторов внешней среды. Оно характеризует отклонение урожайности под влиянием погодных условий в конкретном году от ее тенденции на фоне климатических средних условий.

Отношение $\hat{m}_p/\bar{m}_p$, близкое к единице, свидетельствует о том, что агрометеорологические условия оцениваемого периода близки к средним многолетним. Если это отношение меньше единицы, значит, фотосинтетическая активность посевов снижается, что обусловлено ухудшением агрометеорологических условий по сравнению со средними многолетними. Благоприятные по сравнению со средними многолетними условия фотосинтетической деятельности посевов складываются при $\hat{m}_p/\bar{m}_p > 1$.

Как было показано выше, для оценки агрометеорологических условий произрастания отдельных сельскохозяйственных культур используются не абсолютные значения вычисленных урожаев, а их относительные значения. Для оценки условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в целом применяется предложенный Х. Г. Тоомингом [203] подход «эталонных урожаев» — рассматривается потенциальный урожай (ПУ) и действительно возможный урожай (ДВУ). Эти характеристики рассчитываются для каждой группы сельскохозяйственных культур, входящих в совокупность зерновых и зернобобовых.

При оценке агрометеорологических условий формирования урожая группы сельскохозяйственных культур значения биомассы

репродуктивных органов $\hat{m}_p$ и $\bar{m}_p$ в выражении (6.15) можно заменить на $\hat{ДВУ}$ и $\bar{ДВУ}$ (см. раздел 6.3.3.3.), т. е. на действительно возможный урожай, рассчитанный соответственно с учетом пока-

зателей, характеризующих агрометеорологические условия оцениваемого периода, а также показателей, полученных на фоне климатических условий.

Тогда выражение (6.15) для группы сельскохозяйственных культур примет вид

$$C_i = \hat{ДВУ}_i / \bar{ДВУ}_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (6.16)$$

где i — группа сельскохозяйственных культур ($i=1$ — озимые зерновые, $i=2$ — ранние яровые зерновые, $i=3$ — поздние теплолюбивые, $i=4$ — зернобобовые).

В среднеобластную агрометеорологическую оценку формирования урожая каждой группы сельскохозяйственных культур вводятся поправки на экстремальные условия — засушливость и переувлажнение. В основу учета влияния засушливости положен метод М. С. Кулика [66] с небольшими изменениями, а возможное влияние переувлажнения учитывается по способу А. Д. Пасечнюка [120].

Снижение расчетной агрометеорологической оценки условий формирования урожая озимых и ранних яровых зерновых культур в зависимости от запасов продуктивной влаги в пахотном слое и температуры воздуха приведено в табл. 6.2.

В табл. 6.2. для каждой группы культур выделяются «критические декады» развития от даты всходов (возобновления вегетации). Например, для озимых и ранних яровых зерновых культур такими декадами являются две декады до декады колошения и декада колошения. Декада колошения для группы озимых зерновых культур определяется декадой, в которой сумма эффективных температур воздуха выше 5°C достигает 250°C , а для ранних яровых зерновых культур — 300°C . Декада выметывания для группы поздних теплолюбивых культур определяется декадой, в которой сумма эффективных температур воздуха выше 10°C достигает 500°C . Декада цветения для группы зернобобовых культур определяется декадой, в которой сумма средних суточных температур достигает 580°C .

Для получения среднеобластной агрометеорологической оценки условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в целом $C_{\text{ср. обл}}$ оценки, полученные для каждой группы культур, «взвешиваются» с учетом занимаемых посевных площадей. При этом сумма произведений оценок группы культур на процент площади, занимаемой этой группой, по отношению к общей посевной площади зерновых и зернобобовых культур в области, делится на сумму этих процентов:

$$C_{\text{ср. обл}} = \sum C_i P_i / \sum P_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (6.17)$$

где C_i — среднеобластная агрометеорологическая оценка группы культур, соответственно: 1 — озимых зерновых, 2 — ранних яровых зерновых, 3 — поздних теплолюбивых, 4 — зернобобовых; P_i — процент площади, занимаемой i -й группой культур по отношению

Снижение агрометеорологической оценки условий формирования урожая группы культур

Группа культур	Слой почвы, см	Запасы про-дук-тивной влаги, мм	Критические декады развития	Среднедекадная температура воздуха, °С	Последовательное снижение агрометеорологической оценки, %								в критические декады развития
					в декады вегетационного периода								
					1	2	3	4	5	6	7	8	
Озимые зерновые	0-20	≤10	Две декады до колошения и декада колошения	≤12 (средняя за три критические декады)	10	30	20	10	5	5	5	—	30; 20; 10
	0-20	>60			—	5	10	25	15	10	5	5	
Ранние яровые зерновые	0-20	≤10	Две декады до колошения и декада колошения	≤16 (средняя за три критические декады)	—	5	10	25	15	10	5	5	20; 30; 20; 10
	0-50	>100											
Поздние теплолюбивые	0-50	≤10	Декада до декады выметывания, две декады после декады выметывания	≥28 (в каждой критической декаде) ≤14 (в каждой критической декаде)									10; 10; 10; 10 10; 10; 20; 10
	0-50	>100											
Зернобобовые	0-20	≤12	Две декады до цветения, декада цветения, декада после цветения	≤13 (в каждой критической декаде)									10; 10; 10; 10
	0-20	>60											

к общей посевной площади зерновых и зернобобовых культур в области.

6.3.3.2. Динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур

Рост, развитие растений и формирование урожая представляют собой сложную совокупность целого ряда физиологических процессов, интенсивность и направленность которых определяется генотипом и факторами внешней среды, взаимосвязью между самими процессами.

Динамические модели продукционного процесса растений, ориентированные на их применение в агрометеорологических расчетах и прогнозах, описывают процессы фотосинтеза, дыхания и роста. Как видно на рис. 6.2, где приведена структурная схема динамической модели формирования урожая, модель содержит четыре основных блока (блоки выделены пунктиром).

Первый блок — агрометеорологический — включает преобразование исходной агрометеорологической информации, три последующих биологических блока — фотосинтеза, дыхания и роста — охватывают расчет интенсивности процессов фотосинтеза и дыхания, распределения продуктов фотосинтеза и роста отдельных органов растения, в том числе и репродуктивных.

Рассмотрим содержание блоков модели формирования урожая сельскохозяйственных культур.

Блок фотосинтеза. Влияние факторов внешней среды на интенсивность процесса фотосинтеза рассматривается нами через влияние таких основных факторов, как свет, тепло и влага.

При описании процесса фотосинтеза листьев за основу взято уравнение Монси и Саэки [277]:

$$\Phi_0^j = k b I^j / (k + b I^j), \quad (6.18)$$

где Φ_0^j — интенсивность фотосинтеза листьев при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности в реальных условиях освещенности; k — интенсивность фотосинтеза при световом насыщении; b — начальный наклон световой кривой фотосинтеза; I^j — интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР); j — номер расчетной декады.

Уравнение (6.18) применимо для расчета фотосинтеза в биологически оптимальных условиях среды. Для расчета фотосинтеза в реальных условиях необходимо учитывать влияние факторов тепла и влаги, фазы развития растений.

Для учета влияния температуры воздуха и влажности почвы использованы функции влияния этих показателей, меняющиеся от 0 до 1.

Фотосинтетическая активность листьев различна на разных этапах онтогенеза отдельного листа и растения в целом. В онтогенезе целого растения наименьшей интенсивностью фотосинтеза обладают листья в фазе всходов у яровых культур и в фазе

возобновления вегетации у озимых, когда анатомическая и морфологическая структура листа не обеспечивает оптимума фотосинтетической активности. К фазе колошения формируется оптимальная структура листьев.

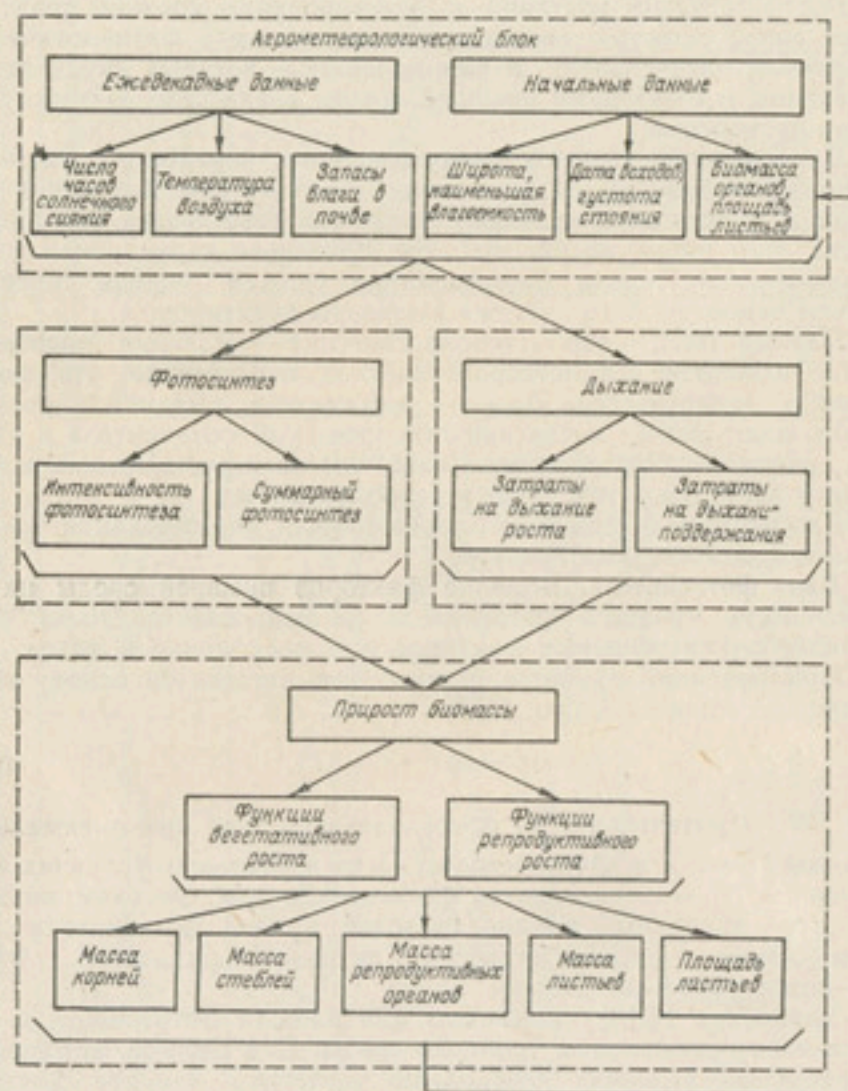


Рис. 6.2. Структурная схема динамической модели формирования урожая сельскохозяйственных культур.

Изменение фотосинтеза в онтогенезе учитывается через функцию α_ϕ , которая описывает интенсивность фотосинтеза в зависимости от физиологического возраста растения. Тогда для реаль-

ных условий среды уравнение (6.18) приобретает вид

$$\Phi_t^j = \Phi_t^i \alpha_\phi^j \psi^j \gamma^j, \quad (6.19)$$

где Φ_t — фотосинтез в реальных условиях среды; α_ϕ — онтогенетическая кривая фотосинтеза; ψ и γ — функции воздействия температуры воздуха и влажности почвы.

Онтогенетическая кривая фотосинтеза представляет собой одноволновую кривую, описываемую выражением

$$\alpha_\phi^j = e^{-a \left(\frac{TS_2 - \sum t_{li}}{10} \right)^2}, \quad (6.20)$$

в которой параметр a находится с помощью формулы

$$a = -100 \ln \alpha_{\phi_0} / \left(\sum t_{li} \right)^2, \quad (6.21)$$

где TS_2 — сумма эффективных температур нарастающим итогом; $\sum t_{li}$ — сумма эффективных температур, при которой наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза листьев; α_{ϕ_0} — начальная интенсивность фотосинтеза по отношению к максимально возможной на начало вегетации при $TS_2 = 0$.

Температурная кривая фотосинтеза аппроксимирована выражением

$$\psi = \left(\frac{\theta^j + 0,0001}{2} \right)^{7,74} \left(\frac{\theta^j - 1}{10} \right) \left(\frac{11,4 - \theta^j}{0,4} \right)^{38} \left(\frac{\theta^j - 1}{10} \right), \quad (6.22)$$

в котором

$$\theta^j = t^j / t_{opt q}, \quad (6.23)$$

где t — средняя декадная температура воздуха; $t_{opt q}$ — оптимальная для q -го периода вегетации температура воздуха.

Кривая, характеризующая влияние влажности почвы на фотосинтез, аппроксимирована выражением

$$\gamma^j = -1,163 \left(\frac{W^j}{k_q W_{HB}} \right)^2 + 2,187 \left(\frac{W^j}{k_q W_{HB}} \right), \quad (6.24)$$

где W — запасы продуктивной влаги в почве; W_{HB} — наименьшая влагоемкость; k_q — параметр, характеризующий изменение оптимальных для q -го периода вегетации значений влажности почвы.

В динамических моделях формирования урожая, предназначенных для агрометеорологических расчетов и прогнозов, рассчитывается суммарный фотосинтез посева за светлое время суток:

$$\Phi^j = \epsilon \Phi_t^j L^j \tau_d^j, \quad (6.25)$$

где Φ_t — дневной фотосинтез посева на единицу площади; L — площадь листовой поверхности; ϵ — коэффициент эффективности фотосинтеза; τ_d — длина дня.

Блок дыхания. Часть ассимилированного в процессе фотосинтеза углерода затрачивается на дыхание. Общепринятым при моделировании дыхания является подход [273], основанный на разделении дыхания на дыхание роста и дыхание поддержания структур. Весьма существен при этом учет изменения интенсивности дыхания в онтогенезе. Хорошо известно, что наиболее интенсивно дышат молодые, растущие ткани; при старении уровень дыхательного газообмена снижается. В принятой нами структуре модели изменение дыхательной активности растений в целом оценивается через онтогенетическую кривую дыхания α_R , характеризующую влияние возраста растения на скорость дыхания. Онтогенетическая кривая дыхания имеет вид, аналогичный онтогенетической кривой фотосинтеза и описывается выражением, аналогичным (6.20), (6.21). Положение максимума онтогенетической кривой дыхания определяется суммой эффективных температур $\sum t_i$, при которой наблюдается максимальная интенсивность дыхания.

Затраты на дыхание R определяются по выражению

$$R^j = \alpha_R^j (C_1 M^j + C_2 \Phi^j), \quad (6.26)$$

где M — сухая биомасса посева; C_1 и C_2 — коэффициенты, характеризующие затраты на поддержание структур и рост.

Блок роста. В динамике общий прирост биомассы посева ΔM за расчетный период времени Δt определяется как разность между суммарным фотосинтезом посева и затратами на дыхание:

$$\Delta M^j / \Delta t = \Phi^j - R^j. \quad (6.27)$$

Решающее значение при моделировании процесса формирования урожая приобретает оценка прироста биомассы отдельных органов, в том числе и репродуктивных, т. е. распределение ассимилятов между органами.

Для описания скорости изменения сухой биомассы отдельных органов в течение вегетационного периода нами на основе предложенных в работе [163] уравнений роста и с учетом модификации [20] принята следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} m_i^{j+1} &= m_i^j + \left(\beta_i^j \frac{\Delta M^j}{\Delta t} - v_i^j m_i^j \right) n, \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + \left(\beta_p^j \frac{\Delta M^j}{\Delta t} + \sum_{i=l, s, r} v_i^j m_i^j \right) n, \end{aligned} \right\} \quad (6.28)$$

$$i \in l, s, r,$$

где m_i — общая сухая биомасса отдельных органов (l — листья, s — стебли, r — корни, p — репродуктивные органы); β_i — функция распределения «свежих», вновь созданных ассимилятов; v_i — функция перераспределения между органами «старых», ранее запасенных ассимилятов; n — число дней в расчетной декаде.

Ростовые функции периода вегетативного роста при этом

$$\beta_i^j \geq 0, \quad i \in l, s, r, p, \\ \beta_l^j + \beta_s^j + \beta_r^j + \beta_p^j = 1.$$

Функции периода репродуктивного роста также имеют ограничения:

$$v_i^j \leq 0, \quad i \in l, s, r.$$

В течение вегетационного периода ростовые функции рассчитываются по предложенному нами методу [131, 132].

Вид предлагаемых ростовых функций зависит от суммы эффективных температур, равной половине всей суммы, необходимой для завершения роста каждого органа: $\sum t_{li}$ — листьев, $\sum t_{si}$ — стеблей, $\sum t_{ri}$ — корней, $\sum t_{pi}$ — колоса клубней, коробочки; $\sum t_p$ — сумма эффективных температур, с которой начинается рост репродуктивных органов.

Продуктивность посевов в значительной мере определяется площадью ассимилирующей поверхности растений, от которой зависит эффективность использования ФАР и в конечном счете интенсивность суммарного фотосинтеза посевов.

Рост площади листьев посева определяется при положительном приросте биомассы листьев по формуле [20, 203]:

$$L^{j+1} = L^j + \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t} \frac{1}{Z_l} \quad \text{при} \quad \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t} \geq 0, \quad (6.29)$$

где Z_l — удельная поверхностная плотность листьев.

Уравнение для расчета площади ассимилирующей поверхности при «старении» листьев имеет следующий вид [132]:

$$L^{j+1} = L^j + \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t} \frac{1}{Z_l k_s} \quad \text{при} \quad \frac{\Delta m_l^j}{\Delta t} < 0, \quad (6.30)$$

где k_s — параметр, характеризующий критическое значение уменьшения живой биомассы листьев, при котором начинается ее отмирание.

Агрометеорологический блок. Для расчета скорости фотосинтеза необходимы данные об интенсивности ФАР в посевах. Поглощенная посевом ФАР I^j вычисляется по формуле Будаговского [164]:

$$I^j = I_0^j / (1 + cL^j), \quad (6.31)$$

где I_0^j — интенсивность ФАР на верхней границе посева; c — эмпирическая постоянная.

Поток ФАР на верхнюю границу посева определяется по формуле:

$$I_0^j = 0,5Q^j / 60\tau_d^j, \quad (6.32)$$

где Q — суммарная солнечная радиация; τ_d — длина дня.

Суммарная солнечная радиация рассчитывается по формуле Сивкова [180]:

$$Q' = 12,66 (S')^{1,31} + 315 (\sin h_n^I)^{2,1}, \quad (6.33)$$

где S — продолжительность солнечного сияния; h_n — полуденная высота Солнца.

В разделе 6.5 для каждой культуры приведены параметры, необходимые для расчетов в каждом блоке.

В работах [2, 186] предложена несколько иная структура модели формирования урожая сельскохозяйственных культур, предназначенная для агрометеорологических расчетов.

6.3.3.3. Модель формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в целом

Естественно, что процесс формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в целом неизмеримо сложнее, чем процесс формирования урожая отдельно взятой культуры, включаемой в совокупность зерновых культур. Его моделирование основано [136] на количественном описании влияния агрометеорологических условий на процесс формирования урожая отдельных групп культур, обладающих в большей или меньшей степени близкими биологическими особенностями. Нами рассматривались четыре группы культур, составляющих совокупность зерновых и зернобобовых:

- озимых зерновых (озимая пшеница и озимая рожь);
- ранних яровых зерновых (яровая пшеница, яровой ячмень и овес);
- поздних теплолюбивых (кукуруза, гречиха, просо);
- зернобобовых (горох, соя, бобы).

При моделировании создавались обобщенные модели для каждой группы культур. Блок-схема этих моделей приведена на рис. 6.3. В качестве теоретической основы использованы предложенные Х. Г. Тоомингом [203] представления о потенциальном и действительно возможном урожаях. Потенциальный урожай ПУ — это урожай, который обеспечивается приходом энергии ФАР при оптимальном в течение вегетационного периода режиме метеорологических факторов. Действительно возможный урожай ДВУ — это урожай, который определяется потенциальным урожаем и лимитирующим действием режима метеорологических факторов в течение вегетации. ДВУ отличается от ПУ тем больше, чем больше метеорологические факторы отличаются от оптимальных.

Средний для группы культур потенциальный урожай общей сухой фитомассы рассчитывается по выражению

$$ПУ_i = \frac{\eta_{пот. i} \sum I_i}{q_i}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (6.34)$$

в котором $\eta_{пот. i}$ — потенциальный КПД использования ФАР i -й группой культур; $\sum I_i$ — приход ФАР за вегетационный период

i -й группы культур; q_i — средняя удельная теплота сгорания (калорийность) i -й группы культур; i — группа сельскохозяйственных культур ($i=1$ — озимые зерновые, $i=2$ — ранние яровые зерновые, $i=3$ — поздние теплолюбивые, $i=4$ — зернобобовые).

Потенциальный урожай групп сельскохозяйственных культур рассчитывается с помощью потенциального КПД использования посевом энергии ФАР. В качестве потенциального КПД посева рассматривается максимальный КПД посева, обеспечиваемый биологическими свойствами группы культур, современной агро-

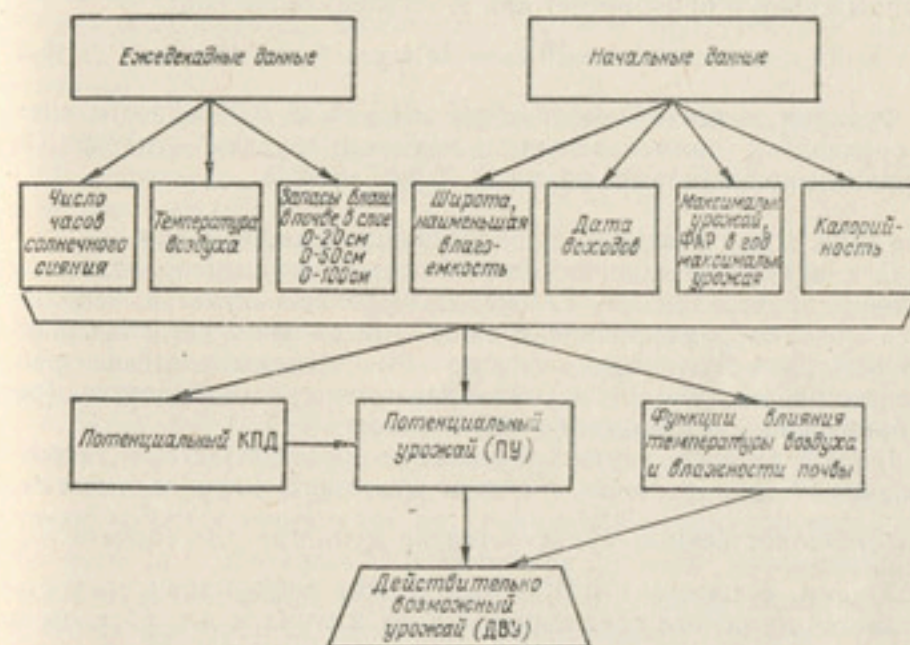


Рис. 6.3. Структурная схема модели формирования урожая группы сельскохозяйственных культур.

техники и уровнем плодородия почвы в оптимальных для данной группы метеорологических условиях.

Можно полагать, что агрометеорологические условия года, в котором был получен максимальный урожай группы сельскохозяйственных культур, наилучшим образом соответствовали биологическим особенностям этих культур. В первом приближении эти условия можно принять в качестве оптимальных для формирования урожая группы культур. Такое предположение позволяет вести расчет потенциального КПД $\eta_{пот. i}$ на основе агрометеорологической информации года с максимальным урожаем:

$$\eta_{пот. i} = q_i Y_{max i} 100 / \sum I_i (max), \quad (6.35)$$

где $Y_{max i}$ — максимальный урожай общей сухой биомассы группы культур; $\sum I_i (max)$ — сумма ФАР за вегетационный период в год с максимальным урожаем.

Максимальный урожай сухой биомассы групп сельскохозяйственных культур вычисляется по формуле:

$$Y_{\max i} = 0,0086 Y_{\text{хоз } i} (1 + n_i), \quad (6.36)$$

где $Y_{\text{хоз } i}$ — максимальный урожай зерна группы сельскохозяйственных культур; n_i — коэффициент, характеризующий соотношение зерна и соломы для групп сельскохозяйственных культур.

Среди факторов, лимитирующих получение ПУ, нами выделяются главные — тепло и влага. Общая формула для расчета ДВУ группы культур приобретает при этом следующий вид:

$$\text{ДВУ}_i = \text{ПУ}_i \varphi_i \gamma_i. \quad (6.37)$$

Функции влияния температуры воздуха φ_i и влажности почвы γ_i определены применительно к четырем группам культур. Они аппроксимированы выражениями (6.22) — (6.24).

6.3.3.4. Исходная агрометеорологическая информация

Для получения количественной оценки агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур используются модели формирования урожая, описанные в разделах 6.3.3.2 и 6.3.3.3. Для реализации счета по этим моделям, согласно требованиям раздела 6.3.3.1, подготавливается среднеобластная (республиканская) информация двух видов:

1. Информация, характеризующая среднеобластные агрометеорологические условия среднепогодного периода вегетации сельскохозяйственных культур (групп культур) для расчета $\bar{m}_p$ и ДВУ [(см. формулы (6.15) и (6.16)]. Эта информация полностью готовится на основе среднепогодных данных и для обеспечения оперативности счета может быть заранее подготовлена на перфокартах (см. раздел 6.4.1, 6.5.1).

2. Информация с учетом среднеобластных агрометеорологических условий прогнозируемого периода вегетации сельскохозяйственных культур (групп культур) для расчета $\hat{m}_p$ и ДВУ. Используется среднеобластная агрометеорологическая информация текущего периода от даты возобновления вегетации (всходов) сельскохозяйственных культур (групп культур) в прогнозируемом году до даты прогноза, а затем среднепогодная информация от даты прогноза до среднепогодной даты наступления фазы восковой спелости зерновых культур (увядания ботвы у картофеля, ранней желтой спелости у льна).

Для получения количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственной культуры необходима следующая среднеобластная информация за среднепогодный расчетный период и расчетный период с учетом данных прогнозируемого года:

1) географическая широта центра области или республики;

2) дата всходов (возобновления вегетации) сельскохозяйственной культуры;

3) среднепогодная дата наступления восковой спелости зерновых культур, увядания ботвы у картофеля, ранней желтой спелости у льна;

4) среднедекадная температура воздуха по декадам расчетного периода ($^{\circ}\text{C}$);

5) запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—50 см по декадам расчетного периода; наименьшая влагоемкость (мм) слоя почвы 0—50 см; в случае отсутствия данных о наименьшей влагоемкости берутся наибольшие запасы продуктивной влаги (мм) из трех первых декад с начала определения влажности под культурой;

6) число часов солнечного сияния по декадам расчетного периода (среднее за один день декады);

7) количество дней в расчетных декадах среднепогодного расчетного периода;

8) густота стояния растений на 1 м² на дату всходов (для озимой пшеницы — на дату весеннего обследования); густота стояния растений необходима для расчета начальных биомасс отдельных органов растения и площади листовой поверхности.

Начальные биомассы растения и площади листовой поверхности рассчитываются путем умножения густоты стояния растений на 1 м² на соответствующее значение биомассы каждого органа или площади ассимилирующей поверхности «среднего растения». Для каждой культуры в табл. 6.3—6.7 даны значения биомассы органов «среднего растения» m_i и площади ассимилирующей поверхности L_i . В модель формирования урожая сельскохозяйственных культур входят параметры, определяющие интенсивность процессов фотосинтеза, дыхания, распределения «свежих» и «старых» ассимилятов. Ряд параметров характеризует изменения требований сельскохозяйственных культур к теплу и влаге в течение вегетации. Для каждой сельскохозяйственной культуры определены [150] численные значения всех рассматриваемых параметров. Возможная пространственная изменчивость их численных значений приведена в табл. 6.3—6.7.

Программа позволяет не только вычислять оценку агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственной культуры, но и рассчитывать прогноз урожая и валовый сбор. Однако для расчета прогноза урожая и валового сбора сельскохозяйственной культуры данные дополняются сведениями о посевной площади культуры в прогнозируемом году (тыс. га) и фактическим рядом урожайности сельскохозяйственной культуры (т/га) (см. разделы 6.2 и 6.3.1).

Для получения количественной оценки агрометеорологических условий произрастания зерновых и зернобобовых культур в целом необходима следующая среднеобластная информация за среднепогодный расчетный период с учетом данных прогнозируемого года:

Таблица 6.3

Озимая пшеница

Параметр	Управления			
	Белорусское, Латвийское, Литовское, Эстонское	Северо-Запад- ное, Верхне- Волжское	ЦЧО	Северо-Кав- казское
m_{l_0}	0,030 л	0,030 л	0,030 л	0,030 л
m_{s_0}	0,020 л	0,020 л	0,020 л	0,020 л
m_{r_0}	0,030 л	0,030 л	0,030 л	0,030 л
L_{l_0}	0,000544 л	0,000544 л	0,000544 л	0,000544 л
$\sum t_{l_1}$	180	200	230	210
$\sum t_{l_2}$	210	185	260	210
$\sum t_{l_3}$	260	280	310	210
$\sum t_{s_1}$	260	280	310	250
$\sum t_{r_1}$	240	260	220	250
$\sum t_{p_1}$	560	580	560	520
$\sum t_p$	180	200	260	200
a_{Φ_0}	0,7	0,7	0,5	0,6
a_{R_0}	0,5	0,5	0,5	0,5
Z_{l_0}	50	50	50	50
C_l	0,26	0,26	0,26	0,26
C_s	0,36	0,36	0,36	0,36
C_r	0,20	0,20	0,20	0,20
C_p	0,18	0,18	0,18	0,18

Параметр	Декада вегетации									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 и далее
t_{opt_q}	11	13	15	16	17	18	19	20	20	20
k_q	1,0	1,0	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85	0,85	0,80	0,80

Примечание. л — густота стояния растений на 1 м² на дату весеннего обследования посевов. Для Калмыцкой АССР, Волгоградской и Астраханской областей $\alpha_{\Phi_0} = 0,5$.

Таблица 6.4

Яровая пшеница, яровой ячмень

Параметр	Европейская часть РСФСР	
	яровая пшеница	яровой ячмень
m_{l_0}	0,014 л	0,023 л
m_{s_0}	0,008 л	0,041 л
m_{r_0}	0,097 л	0,024 л
L_{l_0}	0,000 301 л	0,000 301 л
$\sum t_{l_1}$	210	200
$\sum t_{l_2}$	210	200
$\sum t_{l_3}$	210	200
$\sum t_{s_1}$	230	245
$\sum t_{r_1}$	270	250
$\sum t_{p_1}$	550	500
$\sum t_p$	210	300
a_{Φ_0}	0,7	0,7
a_{R_0}	0,5	0,5
Z_l	45	45
C_l	0,19	0,21
C_s	0,41	0,39
C_r	0,25	0,10
C_p	0,15	0,30

Параметр	Декада вегетации											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и далее
t_{opt_q}	14	14	14	16	16	16	18	18	18	20	20	20
k_q	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6

Примечание. Здесь и в табл. 6.5—6.7 л — густота стояния растений на 1 м² на дату всходов.

Таблица 6.5

Кукуруза

Параметр	Управления	
	ЦЧО	Северо-Кавказское
m_{I_0}	0,03 п	0,03 п
m_{s_0}	0,03 п	0,03 п
m_{r_0}	0,035 п	0,035 п
L_{I_0}	0,0016 п	0,0016 п
$\sum t_{I_1}$	200	265
$\sum t_{I_2}$	200	265
$\sum t_{I_3}$	220	300
$\sum t_{s_2}$	220	300
$\sum t_{r_2}$	220	300
$\sum t_{p_1}$	550	715
$\sum t_p$	270	365
α_{Φ_0}	0,7	0,7
α_{R_0}	0,5	0,5
Z_l	20	20
C_l	0,15	0,15
C_s	0,30	0,30
C_r	0,20	0,20
C_p	0,35	0,35

Параметр	Декада вегетации												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 и далее

Управление ЦЧО

$t_{opt,q}$	19	20	21	21	22	23	24	23	22	21			
k_q	0,60	0,66	0,73	0,80	0,94	1,00	0,90	0,87	0,80	0,74			

Северо-Кавказское управление

$t_{opt,q}$	22	22	22	24	24	25	25	25	26	25	25	24	23
k_q	0,60	0,66	0,73	0,80	0,87	0,94	1,00	0,90	0,74	0,65	0,60	0,55	0,55

Таблица 6.6

Лен

Параметр	Вся территория СССР	Параметр	Вся территория СССР
m_{I_0}	0,002 п	$\sum t_{p_1}$	520
m_{s_0}	0,001 п	$\sum t_p$	250
m_{r_0}	0,001 п	α_{Φ_0}	0,7
L_{I_0}	0,0002 п	α_{R_0}	0,5
$\sum t_{I_1}$	380	Z_l	30
$\sum t_{I_2}$	250	C_l	0,10
$\sum t_{I_3}$	250	C_s	0,45
$\sum t_{s_2}$	350	C_r	0,36
$\sum t_{r_2}$	300	C_p	0,09

Параметр	Декада вегетации							
	1	2	3	4	5	6	7	8 и далее
$t_{opt,q}$								
для районов Сибири	11,5	12,5	13,7	14,8	15,7	16,8	17,7	18,8
для остальной территории СССР	11	12	13	14	15	16	17	18
k_q	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6

Таблица 6.7

Картофель

Параметр	Нечерноземная зона РСФСР	Прибалтика, Белоруссия	ЦЧО, Поволжье, Северный Кавказ
m_{t_0}	0,523 л	0,523 л	0,523 л
m_{s_0}	0,158 л	0,158 л	0,158 л
m_{r_0}	0,6 л	0,6 л	0,6 л
P_{m_0}	17,5 л	17,5 л	17,5 л
L_{t_0}	0,0137 л	0,0137 л	0,0137 л
$\sum t_{t_1}$	550	500	550
$\sum t_{t_2}$	110	110	550
$\sum t_{t_3}$	220	220	220
$\sum t_{s_2}$	400	400	320
$\sum t_{r_2}$	320	320	320
$\sum t_{p_2}$	1050	1050	1050
$\sum t_p$	450	450	450
α_{Φ_0}	0,5	0,5	0,5
α_{R_0}	0,5	0,5	0,5
Z_l	55	55	55
C_l	0,20	0,30	0,30
C_s	0,26	0,16	0,16
C_r	0,03	0,03	0,03
C_p	0,51	0,51	0,51

Параметр	Территория	Декада вегетации								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 и далее
$t_{opt,q}$	Нечерноземная зона РСФСР, Прибалтика и Белоруссия	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	ЦЧО	16	17	18	18	18	19	19	19	18
	Поволжье	17	18	19	19	19	20	19	18	17
	Северный Кавказ	16	17	18	19	19	20	20	20	20
	ЕЧ СССР	0,70	0,70	0,75	0,80	0,90	0,90	0,80	0,70	0,60

1) географическая широта центра области;
2) дата всходов (возобновления вегетации) групп сельскохозяйственных культур;

3) среднемноголетняя дата наступления фазы восковой спелости групп сельскохозяйственных культур;

4) среднедекадная температура воздуха по расчетным декадам, °C;

5) число часов солнечного сияния по расчетным декадам (среднее за один день декады);

6) запасы продуктивной влаги (мм) под озимыми и ранними яровыми культурами в слое почвы 0—100 см, а под поздними яровыми и зернобобовыми культурами в слое почвы 0—50 см по расчетным декадам; наименьшая влагоемкость (мм) этих слоев почв.

Для оценки условий засушливости групп сельскохозяйственных культур и получения среднеобластной агрометеорологической оценки формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в целом исходная информация дополняется данными: о среднедекадных запасах продуктивной влаги пахотного слоя от даты всходов (возобновления вегетации) до даты прогноза для озимых зерновых, ранних яровых зерновых и зернобобовых культур; о площадях, занимаемых группами культур, в процентах от всей площади зерновых и зернобобовых культур в области в прогнозируемом году.

Для расчета прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур дополнительно привлекаются данные о посевных площадях групп сельскохозяйственных культур в области в прогнозируемом году и фактический ряд урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом (т/га).

Среднеобластные агрометеорологические показатели (кроме запасов продуктивной влаги) вычисляются путем арифметического осреднения данных наблюдений всех станций. Среднеобластные запасы влаги $\bar{W}$ рассчитываются как средневзвешенные с учетом процента площадей P_i , занятых культурой в каждом сельскохозяйственном микрорайоне. В пределах каждого микрорайона средние запасы влаги вычисляются путем простого осреднения. Группировка однородных в почвенно-климатическом отношении административных районов области приведена в [83].

Средние запасы влаги по каждому микрорайону умножаются на процент площади P_i , занятой данной культурой в этом сельскохозяйственном районе. Средневзвешенные влагозапасы по области получают в результате деления суммы полученных произведений на сумму процента площадей, занятых культурой:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (6.38)$$

Таким образом, для вычисления среднеобластных запасов влаги необходима информация о посевных площадях культуры

по сельскохозяйственным микрорайонам. Средневзвешенные влагозапасы рассчитываются при условии, что информация об увлажнении освещает не менее 70 % площади, занятой данной культу-

рой, т. е. $\sum_{i=1}^n P_i \geq 70 \%$.

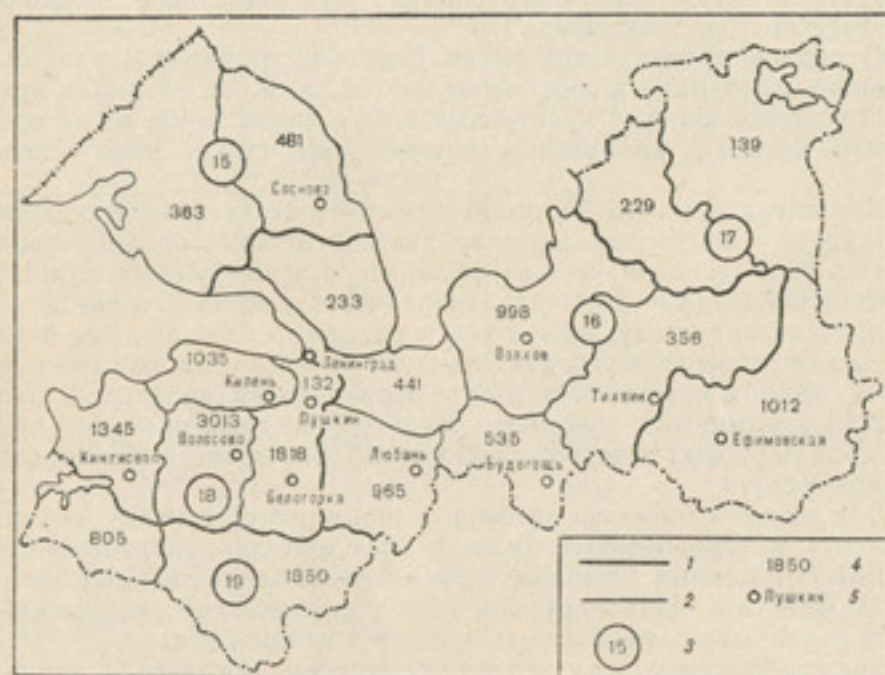


Рис. 6.4. Схема распределения посевных площадей под озимыми культурами по сельскохозяйственным микрорайонам Ленинградской области.

1 — границы сельскохозяйственных микрорайонов, 2 — границы административных районов, 3 — номер сельскохозяйственного микрорайона по [83], 4 — посевные площади (га) под сельскохозяйственной культурой в административном районе, 5 — гидрометеорологические станции, имеющие информацию о запасах продуктивной влаги в почве.

Рассмотрим процедуру осреднения запасов продуктивной влаги в полуметровом слое почвы на примере Ленинградской области. На рис. 6.4 приведена карта-схема Ленинградской области, на которой выделено пять сельскохозяйственных микрорайонов, указаны посевные площади под озимой культурой в каждом административном районе, а также гидрометеорологические станции, по которым имеется информация о влагозапасах.

Сначала рассчитываем посевную площадь культуры в сельскохозяйственном микрорайоне в процентах от общей площади культуры в области:

Микрорайон	Посевная площадь озимых культур, га	Отношение посевной площади культуры в микрорайоне ко всей посевной площади культуры по области, %
15	844	5
16	3528	22
17	1380	9
18	7343	47
19	2655	17

Запасы продуктивной влаги (мм) в полуметровом слое почвы по станциям составляют:

Станция	Микро- район	Апреля	Май				Июнь			Июль		
		3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Сосново	15	137	171	137	128	116	104	97	104	100	104	
Любань	16	145	130	121	104	94	101	88	80	77	77	
Волхов	16	199	151	126	113	100	98	82	85	92	87	
Будогощь	16	104	105	78	74	92	102	102	102	107	101	
Тихвин	16	73	72	62	56	49	45	49	48	42	43	
Винницы	17	111	111	112	107	95	95	95	93	92	84	
Ефимовская	17	111	99	92	85	76	72	68	67	69	65	
Пушкин	18	131	119	110	94	78	74	67	66	67	60	
Кингисепп	18	145	130	113	107	99	91	89	74	76	74	
Волосово	18	113	101	93	89	62	64	56	59	64	62	
Кипень	18	114	105	101	94	80	73	65	69	70	64	
Белогорка	18	119	107	99	83	70	69	57	56	55	52	

Затем вычисляем средние запасы влаги в пределах каждого микрорайона путем арифметического осреднения:

Микро-район	Апрель	Май			Июнь			Июль		
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
15	137	171	137	128	116	104	97	104	100	104
16	130	114	98	88	84	80	80	79	79	77
17	111	105	102	96	85	84	81	80	80	75
18	125	112	101	93	78	74	67	65	66	62

Средние запасы влаги по области $\bar{W}$ (мм), согласно (6.38), например за третью декаду апреля, равняются:

$$\bar{W} = \frac{137 \cdot 5 + 130 \cdot 22 + 111 \cdot 9 + 125 \cdot 47}{5 + 22 + 9 + 47} = 126.$$

Аналогично вычисляем среднеобластные запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы по остальным декадам:

Апрель	Май			Июнь			Июль		
3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
126	115	102	94	83	80	74	73	71	70

6.4. О методе прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур

Схема среднеобластного прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур представлена на рис. 6.5. Определение среднеобластной оценки агрометеорологических ус-

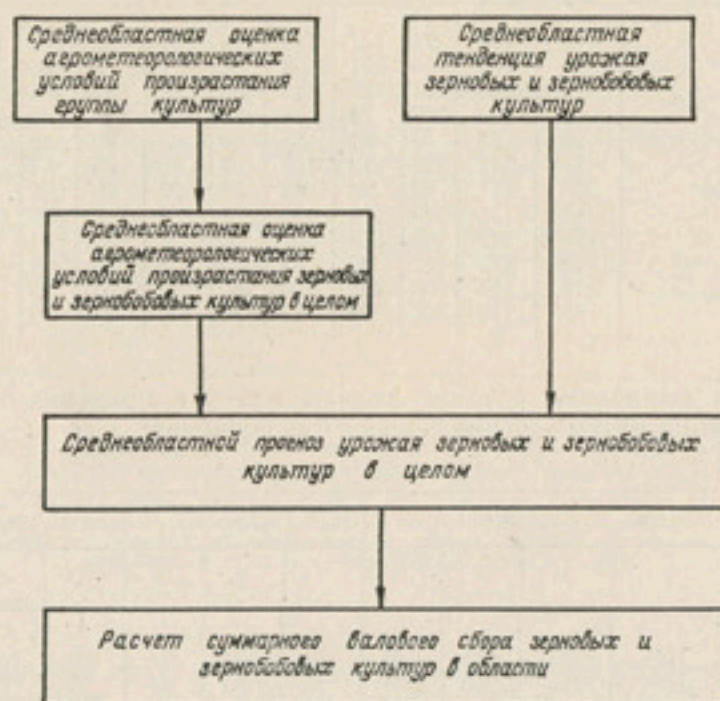


Рис. 6.5. Схема прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур.

ловий произрастания зерновых и зернобобовых культур в целом представлено в разделе 6.3.3.1. Расчет тенденции урожая на прогнозируемый год рассмотрен в разделе 6.3.2. Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом с исполь-

зованием модели формирования урожая (разд. 6.3.3.3.) показано в разделах 6.3.1 и 6.3.3.1.

Расчет суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур описан в разделе 6.2.

6.4.1. Подготовка входных данных

Перед составлением прогноза и началом кодирования исходной информации необходимо:

1) определить наличие исходной информации на дату прогноза. Поскольку первый (предварительный) прогноз урожайности и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур составляется с трехмесячной заблаговременностью — 20 мая, когда на большей части территории всходов групп поздних теплолюбивых, зернобобовых культур еще нет, прогноз и расчет валового сбора осуществляется по временному ряду урожайности с использованием данных о прошлогодних посевных площадях для этих групп культур. При этом агрометеорологическая оценка состояния не начавших вегетировать к этому сроку (или другому) групп культур условно принимается равной 100 %;

2) определить количество расчетных групп сельскохозяйственных культур. В северных районах Европейской части СССР культуры, входящие в группу зернобобовых, не выращиваются на зерно, поэтому расчет прогноза урожая и валового сбора проводится только для трех групп зерновых культур: озимых, ранних яровых, поздних теплолюбивых;

3) подготовить информацию за прогнозируемый год. Поскольку при составлении прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур в третий срок прогноза (а возможно и во второй — 20 июня) на большей части ЕЧ СССР восковая спелость озимых и ранних яровых зерновых культур уже наступает, информация с учетом данных прогнозируемого года целиком кодируется за счет информации текущего года;

4) подготовить среднемноголетнюю информацию каждой группы культур. Так как эта информация участвует в каждом из трех прогнозов без изменений, ее следует подготовить на перфокартах заранее, до составления прогнозов, а в сроки прогноза эту информацию вставлять после информационной карты группы культур.

Исходная информация, необходимая для среднеобластного прогноза урожайности и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур (согласно разделу 6.3.3.4), кодируется в каждый из трех сроков прогнозов. На рис. 6.6 представлена схема составления пакета исходной информации для расчета урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур в каждый из сроков прогноза.

Кодируется информация в следующем порядке.

Первая перфокарта — название области (республики). Кодируется русскими (или латинскими) буквами со 2-й позиции. Максимум — 28 букв.

Вторая перфокарта — кодируется срок прогноза: 1—20 мая, 2—20 июня, 3—20 июля. Число целое, кодируется в трех позициях.

информационные карты

С учетом данных прогнозируемого года

Среднегодовое количество осадков

Группы зернобобовых

С учетом данных прогнозируемого года

Среднегодовое количество осадков

Группы поздних теплолюбивых

С учетом данных прогнозируемого года

Среднегодовое количество осадков

Группы ранних яровых культур

С учетом данных прогнозируемого года

Среднегодовое количество осадков

Группы озимых культур

Ряды урожайности зерновых и зернобобовых культур

первое число (N5) * — длина ряда урожайности. Число целое, кодируется в трех позициях:

* (N5)—здесь и далее даны символы на распечатке счета.

Перфокарты фактического ряда урожайности, т/га. На одной перфокарте кодируется 16 чисел. Числа кодируются в пяти позициях с двумя десятичными знаками. Перфокарт с фактической урожайностью может быть несколько, исходя из длины ряда урожайности.

Карта запасов продуктивной влаги (W) в метровом слое почвы (мм) составляется по расчетным декадам среднегодового периода вегетации. Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Карта массива числа часов солнечного сияния (SS) составляется по расчетным декадам (среднее число часов за один день декады) среднегодового периода вегетации. Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Карта числа дней (DV) в расчетных декадах среднегодового вегетационного периода. Числа целые, кодируются в трех позициях.

Информационная карта озимых зерновых культур составляется с учетом данных прогнозируемого года до дат прогноза — 20 мая, 20 июня, 20 июля — включает пять чисел:

первое число — число расчетных декад вегетационного периода. Первая декада вегетации устанавливается в зависимости от даты возобновления вегетации в прогнозируемом году, а последняя определяется среднегодовой датой наступления фазы восковой спелости озимых культур (группа культур). Число целое, кодируется в трех позициях;

второе число — число дней от 20 марта до дня возобновления вегетации в прогнозируемом году. Число целое, кодируется в трех позициях. Если вегетация в прогнозируемом году возобновилась 20 марта или ранее, то кодируется единица;

третье число — дата возобновления вегетации. Число целое, кодируется в трех позициях;

четвертое число — месяц возобновления вегетации: 1 — март, 2 — апрель, 3 — май, 4 — июнь;

пятое число — наименьшая влагоемкость метрового слоя почвы (мм). Число кодируется в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Карта массива среднедекадных температур воздуха составляется по расчетным декадам — 20 мая, 20 июня и 20 июля используются среднедекадные температуры прогнозируемого года, а с этих дат и до конца вегетации (определяемого среднегодовой датой наступления фазы восковой спелости озимых культур) — среднегодовые среднедекадные температуры воздуха. Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Карта запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) составляется по расчетным декадам — 20 мая, 20 июня и 20 июля учитываются среднедекадные запасы в прогнозируемом году, а с этих декад и до конца вегетации (определяемого среднегодовой датой восковой спелости озимых культур) — среднегодовые среднедекадные запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы. Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Карта массива числа часов солнечного сияния (среднее число часов за один день декады) составляется по расчетным декадам — до 20 мая, 20 июня и 20 июля учитывается число часов

солнечного сияния в декадах прогнозируемого года, а с этих дат и до конца вегетационного периода — среднегодовое число часов солнечного сияния в расчетных декадах. Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Карта числа дней в расчетных декадах — до 20 мая, 20 июня и 20 июля учитывается число дней в расчетных декадах прогнозируемого года, а с этих дат и до конца вегетационного периода — среднегодовое число дней в расчетных декадах. Числа целые, кодируются в трех позициях.

Карта запасов продуктивной влаги (мм) в пахотном (0—20 см) слое почвы под озимыми культурами в расчетных декадах прогнозируемого года составляется по фактическим данным до даты составления прогноза — 20 мая, 20 июня и 20 июля. Числа записываются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Информация группы ранних яровых зерновых культур

Информационная перфокарта группы ранних яровых зерновых культур включает три (четыре) числа:

первое число — 2 — шифр группы ранних яровых зерновых культур. Число целое, кодируется в трех позициях;

второе число — площадь ранних яровых культур в процентах от всей посевной площади зерновых и зернобобовых культур в области в прогнозируемом году. Число кодируется в шести позициях с одним десятичным знаком;

третье число — посевная площадь ранних яровых зерновых культур в области в прогнозируемом году, тыс. га. Число кодируется в шести позициях с одним десятичным знаком;

четвертое число — 100 — набивается только в том случае, если нет данных о всходах ранних яровых зерновых культур к дате прогноза. В этом случае второе и третье числа этой перфокарты представляют собой данные за предыдущий год. Число 100 записывается в четырех позициях.

Последующая информация группы ранних яровых зерновых культур за среднегодовой период и период с учетом данных прогнозируемого года аналогична информации группы озимых культур и кодируется в том же порядке и тех же форматах.

Информация группы поздних теплолюбивых культур

Исходная информация для получения агрометеорологической оценки состояния поздних теплолюбивых культур (и ее кодирование) аналогична информации ранних яровых зерновых культур, но:

— в среднегодовой информации и информации прогнозируемого года в перфокарте запасов продуктивной влаги (мм)

кодируются данные о запасах не метрового слоя, а полуметрового, соответственно учитывается наименьшая влагоемкость (мм) не метрового, а полуметрового слоя;

— в информации с учетом данных прогнозируемого года отсутствует последняя перфокарта — перфокарта запасов продуктивной влаги (мм) в пахотном слое почвы.

Информация группы зернобобовых культур

Исходная информация группы зернобобовых культур (и ее кодирование) аналогична информации группы поздних теплолюбивых культур, но в ней уже присутствует последняя перфокарта информации с учетом данных прогнозируемого года — перфокарта запасов продуктивной влаги (мм) в пахотном слое почвы.

Программа для прогнозирования урожая, а также суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур в целом представлена в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Программа расчета прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур

```

0001 DIMENSION YRR(2),TSR(15),W0(15),SS(15),DV(15),TSRS(15),W0S(15),
0002 6SS(15),DVS(15),TSRC(15),W0C(15),SSC(15),DVC(15),YR(50),YES(50),
0003 650),W20(15),TOPS(15),PKS(15),TOPC(15),PKC(15),TOP(15),PK(15)
0004 COMMON /BL1/FI,N3,N4,YDVT/BL2/X(50),Y1(20),YB(20)/BL3/NR/BL4/GI
0005 REAL M,INF
0006 INTEGER T0,DV,T0S,T0C,DVS,DVC,A,X,X1,X2,YES,G11
0007 K0=100
0008 DO 30 I2=1,K0
0009 RB1=0
0010 RB2=0
0011 RB3=0
0012 READ(5,116)SL1,SL2,SL3,SL4,SL5,SL6,SL7
0013 READ(5,124) N4
0014 READ(5,105) N5,K,NL,FI
0015 READ(5,108) (Y1I),I=1,N5I
0016 WRITE(6,116)SL1,SL2,SL3,SL4,SL5,SL6,SL7
0017 IF(IN4.EQ.1) WRITE(6,207)
0018 IF(IN4.EQ.2) WRITE(6,208)
0019 IF(IN4.EQ.3) WRITE(6,209)
0020 WRITE(6,200)
0021 A=1
0022 DO 4 I=1,N5
0023 YR(I)=0
0024 N1=N3-K+1
0025 DO 5 J=1,N1
0026 X1=A
0027 X2=0
0028 K1=A
0029 DO 7 I=1,K
0030 X1=X1+X2
0031 X2=1

```

```

0032 READ(5,102) (SSC(J),J=1,NC)
0033 READ(5,115) (DVC(J),J=1,NC)
0034 IF(N3.EQ.3,OR,N3.EQ.4) CALL SUMT(TSR,S,DVS,N3)
0035 DO 72 J=1,N5
0036 IF(N3.EQ.1) GOTO 1
0037 IF(N3.EQ.2) GOTO 2
0038 IF(N3.EQ.3) GOTO 3
0039 IF(J.EQ.1,OR,J.EQ.2) TOP(J)=12
0040 IF(J.EQ.3) TOP(J)=15
0041 IF(J.EQ.4) TOP(J)=16
0042 IF(J.EQ.5) TOP(J)=18
0043 IF(J.EQ.6) TOP(J)=20
0044 IF(J.EQ.7) TOP(J)=22
0045 IF(J.EQ.11) PK(J)=0.8
0046 IF(J.EQ.11+2,OR,J.EQ.11+3) PK(J)=0.75
0047 IF(J.EQ.11+4) PK(J)=0.7
0048 IF(J.EQ.11+5) PK(J)=0.65
0049 GOTO 11
0050 1 IF(J.EQ.1) TOP(J)=9
0051 IF(J.EQ.2) TOP(J)=12
0052 IF(J.EQ.3) TOP(J)=13
0053 IF(J.EQ.4) TOP(J)=14
0054 IF(J.EQ.5) TOP(J)=15
0055 IF(J.EQ.6) TOP(J)=16
0056 IF(J.EQ.7) TOP(J)=17
0057 IF(J.EQ.8) TOP(J)=18
0058 IF(J.EQ.1,OR,J.EQ.2) PK(J)=0.9
0059 IF(J.EQ.3,OR,J.EQ.4) PK(J)=0.8
0060 IF(J.EQ.5) PK(J)=0.75
0061 IF(J.EQ.6,OR,J.EQ.7) PK(J)=0.65
0062 IF(J.EQ.8) PK(J)=0.6
0063 GOTO 11
0064 2 IF(J.EQ.1) TOP(J)=11
0065 IF(J.EQ.2) TOP(J)=12
0066 IF(J.EQ.3) TOP(J)=14
0067 IF(J.EQ.4) TOP(J)=15
0068 IF(J.EQ.5) TOP(J)=16
0069 IF(J.EQ.6) TOP(J)=17
0070 IF(J.EQ.7) TOP(J)=18
0071 IF(J.EQ.8) TOP(J)=19
0072 IF(J.EQ.1,OR,J.EQ.2) PK(J)=0.85
0073 IF(J.EQ.3,OR,J.EQ.4,OR,J.EQ.5) PK(J)=0.8
0074 IF(J.EQ.6,OR,J.EQ.7) PK(J)=0.65
0075 GOTO 11
0076 3 IF(C1.EQ.100) GOTO 77
0077 READ(5,100) N5,T0S,N15,N25,WNS
0078 READ(5,102) (TSR(J),J=1,N5)
0079 READ(5,102) (W0S(J),J=1,N5)
0080 READ(5,102) (SSS(J),J=1,N5)
0081 READ(5,115) (DVS(J),J=1,N5)
0082 READ(5,100) NC,T0C,N1C,N2C,WNC
0083 READ(5,102) (TSRC(J),J=1,NC)
0084 READ(5,102) (W0C(J),J=1,NC)
0085 YDVT=0
0086 IF(C1.EQ.100) GOTO 77
0087 READ(5,100) N5,T0S,N15,N25,WNS
0088 READ(5,102) (TSR(J),J=1,N5)
0089 READ(5,102) (W0S(J),J=1,N5)
0090 READ(5,102) (SSS(J),J=1,N5)
0091 READ(5,115) (DVS(J),J=1,N5)
0092 READ(5,100) NC,T0C,N1C,N2C,WNC
0093 READ(5,102) (TSRC(J),J=1,NC)
0094 READ(5,102) (W0C(J),J=1,NC)
0095 YDVT=0
0096 IF(C1.EQ.100) GOTO 77
0097 READ(5,100) N5,T0S,N15,N25,WNS
0098 READ(5,102) (TSR(J),J=1,N5)
0099 READ(5,102) (W0S(J),J=1,N5)
0100 READ(5,102) (SSS(J),J=1,N5)
0101 READ(5,115) (DVS(J),J=1,N5)
0102 READ(5,100) NC,T0C,N1C,N2C,WNC
0103 READ(5,102) (TSRC(J),J=1,NC)
0104 READ(5,102) (W0C(J),J=1,NC)
0105 YDVT=0
0106 IF(C1.EQ.100) GOTO 77
0107 READ(5,100) N5,T0S,N15,N25,WNS
0108 READ(5,102) (TSR(J),J=1,N5)
0109 READ(5,102) (W0S(J),J=1,N5)
0110 READ(5,102) (SSS(J),J=1,N5)
0111 READ(5,115) (DVS(J),J=1,N5)
0112 READ(5,100) NC,T0C,N1C,N2C,WNC
0113 READ(5,102) (TSRC(J),J=1,NC)
0114 READ(5,102) (W0C(J),J=1,NC)
0115 YDVT=0

```



```

0115      IF(J,GE,8) PK(J)=0.6
0116      GOTO 11
0117      3 IF(J,EQ,1,OR,J,EQ,2) TOP(J)=14
0118      IF(J,EQ,3) TOP(J)=16
0119      IF(J,EQ,4) TOP(J)=18
0120      IF(J,EQ,5) TOP(J)=19
0121      IF(J,EQ,6) TOP(J)=21
0122      IF(J,GE,7) TOP(J)=23
0123      IF(J,EQ,G11,OR,J,EQ,G11+1) PK(J)=0.85
0124      IF(J,LT,G11) PK(J)=0.8
0125      IF(J,EQ,G11+2,OR,J,EQ,G11+3) PK(J)=0.8
0126      IF(J,GE,G11+4) PK(J)=0.75
0127      11 TOPC(J)=TOP(J)
0128      PKC(J)=PK(J)
0129      72 CONTINUE
0130      CALL DVUINS,T0S,WNS,TSRS,W0S,SSS,DVS,TOPC,PKC]
0131      YRR(1)=YDVS
0132      YDVS=0
0133      IF(NS=NC) 41,49,41
0134      49 IF(N3,EQ,1,OR,N3,EQ,2) GOTO 48
0135      GOTO 43
0136      48 CALL DVUINC,T0C,WNC,TSRC,W0C,SSC,DVC,TOPC,PKC]
0137      CALL SUMT(TSRC,DVC,N3)
0138      GOTO 98
0139      41 CALL COMP(N1S,N2S,N3,N4)
0140      NS1=NS-NR
0141      IF(NS1,LE,0) GOTO 66
0142      JS=NS
0143      JC=NC
0144      NS2=NC-NS1
0145      DO 19 J=1,NS1
0146      TOPC(JC)=TOP(JS)
0147      PKC(JC)=PK(JS)
0148      JC=JC-1
0149      JS=JS-1
0150      DO 28 J=1,NS2
0151      PKC(J)=PK(J)
0152      28 TOPC(J)=TOP(J)
0153      IF(NS=NC) 44,43,43
0154      44 NR3=NC-NS
0155      DO 45 J=1,NR3
0156      PKC(J+NS2)=PK(NS2)
0157      45 TOPC(J+NS2)=TOP(NS2)

```

```

0158
0159
0160
0161
0162
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175
0176
0177
0178
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198

```

```

43 CALL SUMT(TSRC,DVC,N3)
      IF(N3,EQ,3) GOTO 85
      IF(N3,EQ,4) GOTO 87
      GOTO 42
85 DO 86 J=1,NC
      IF(J,EQ,G11,OR,J,EQ,G11+1) PKC(J)=0.85
      IF(J,LT,G11) PKC(J)=0.8
      IF(J,EQ,G11+2,OR,J,EQ,G11+3) PKC(J)=0.8
86 IF(J,GE,G11+4) PKC(J)=0.75
      GOTO 42
87 DO 88 J=1,NC
      IF(J,LE,G11+1) PKC(J)=0.8
      IF(J,EQ,G11+2,OR,J,EQ,G11+3) PKC(J)=0.75
      IF(J,EQ,G11+4) PKC(J)=0.7
88 IF(J,GE,G11+5) PKC(J)=0.65
      GOTO 42
66 NR3=NC-NS
      DO 67 J=1,NS
      PKC(J)=PK(J)
67 TOPC(J)=TOP(J)
      DO 68 J=1,NR3
      PKC(NS+J)=PK(NS)
68 TOPC(NS+J)=TOP(NS)
      CALL SUMT(TSRC,DVC,N3)
42 CALL DVUINC,T0C,WNC,TSRC,W0C,SSC,DVC,TOPC,PKC]
98 YRR(2)=YDVS
      C1=YRR(2)*100/YRR(1)
77 IF(N3,EQ,1) WRITE(6,201) S,P
      IF(N3,EQ,2) WRITE(6,202) S,P
      IF(N3,EQ,3) WRITE(6,203) S,P
      IF(N3,EQ,4) WRITE(6,204) S,P
      WRITE(6,123) C1
      IF(C1,EQ,100) GOTO 46
      WRITE(6,111)
      WRITE(6,114) NS,T0S,N1S,N2S,WNS,NC,T0C,N1C,N2C,WNC
      WRITE(6,110)
      WRITE(6,117)
      WRITE(6,110)
      IF(NS,GE,NC) GOTO 31
      N=NS
      GOTO 32

```



```

0199 31 N=NC
0200 32 DO 15 J=1,N
0201 N6=N6+1
0202 15 WRITE(6,120) N6,TSRS(J),W0S(J),SSS(J),DVS(J),N6,TSRC(J),W0C(J),SS0
      6(J),DVC(J)
0203 IF(N5-NC) 36,35,37
0204 36 NK=NC-NS
0205 DO 38 J=1,NK
0206 N6=N6+1
0207 38 WRITE(6,122) N6,TSRC(J+N),W0C(J+N),SSC(J+N),DVC(J+N)
0208 GOTO 35
0209 37 NK=NS-NC
0210 DO 39 J=1,NK
0211 N6=N6+1
0212 39 WRITE(6,121) N6,TSRS(J+N),W0S(J+N),SSS(J+N),DVS(J+N)
0213 35 WRITE(6,110)
0214 IF(N3,NE,3) READ(5,102) (W20(J),J=1,NC)
0215 IF(C1,GT,130) C1=130
0216 IF(C1-55) 69,71,71
0217 71 DO 20 J=1,NC
0218 IF(N3,EQ,1) GOTO 27
0219 IF(N3,EQ,2) GOTO 28
0220 IF(N3,EQ,3) GOTO 29
0221 IF(J,EQ,C11,AND,(W20(J),CT,0,0,AND,W20(J),LE,12,0)) C1=C1+20,0
0222 IF(J,EQ,C11-2,OR,J,EQ,C11-1,OR,J,EQ,C11+1),AND,(W20(J),CT,0,0,AND
      6,W20(J),LE,12,0) C1=C1-10,0
      GOTO 26
0223 27 IF(W20(J),CT,0,0,AND,W20(J),LT,10,0) GOTO 50
0224 GOTO 26
0225 50 IF(DV(1),LE,5) GOTO 52
0226 IF(J,EQ,1) C1=C1-10
0227 52 IF(J,EQ,2) C1=C1-20
0228 IF(J,EQ,3) C1=C1-20
0229 IF(J,EQ,4) C1=C1-10
0230 IF(J,EQ,5,OR,J,EQ,6,OR,J,EQ,7) C1=C1-5
0231 GOTO 26
0232 28 IF(W20(J),CT,0,0,AND,W20(J),LT,10,0) GOTO 54
0233 GOTO 26
0234 54 IF(J,EQ,2) C1=C1-5
0235 IF(J,EQ,3) C1=C1-10
0236 IF(J,EQ,4) C1=C1-25
0237

```

```

0238 IF(J,EQ,5) C1=C1-15
0239 IF(J,EQ,6) C1=C1-10
0240 IF(J,EQ,7,OR,J,EQ,8) C1=C1-5
0241 GOTO 26
0242 29 IF(W0(J),CT,0,0,AND,W0(J),LE,10,0,AND,TSRC(J),GE,20,0) GOTO 56
0243 GOTO 26
0244 56 IF(J,EQ,C11) C1=C1-30
0245 IF(J,EQ,C11-1,OR,J,EQ,C11+1) C1=C1-20
0246 IF(J,EQ,C11+2) C1=C1-10
0247 26 CONTINUE
0248 SM=TSRC(C11-3)+TSRC(C11-2)+TSRC(C11-1)
0249 DO 70 J=1,NC
0250 IF(N3,EQ,1) GOTO 58
0251 IF(N3,EQ,2) GOTO 59
0252 IF(N3,EQ,3) GOTO 61
0253 IF(J,EQ,C11-2,OR,J,EQ,C11-1,OR,J,EQ,C11,OR,J,EQ,C11+1),AND,(TSRC(
      6J),LE,13,0,OR,W20(J),GE,00) C1=C1-10
      GOTO 70
0254 58 IF(J,EQ,C11-3,OR,J,EQ,C11-2,OR,J,EQ,C11-1),AND,(W20(J),GE,60,0,AN
      6,0,SM/3,LE,12,5) C1=C1-10
      GOTO 70
0255 59 IF(J,EQ,C11-3,OR,J,EQ,C11-2,OR,J,EQ,C11-1,OR,J,EQ,C11),AND,(W20(J
      6),GE,60,0,AND,SM/3,LE,16,0) C1=C1-10
      IF(J,EQ,C11+1,OR,J,EQ,C11+2),AND,W20(J),GE,60,0,AND,SM/3,LE,16,0)
      6 C1=C1-5
      GOTO 70
0256 61 IF(J,EQ,C11-2,OR,J,EQ,C11-1,OR,J,EQ,C11,OR,J,EQ,C11+1),AND,TSRC(J
      6),LE,14,0) C1=C1-10
      GOTO 70
0257 70 CONTINUE
0258 69 IF(C1,LT,45,0) C1=45
0259 IF(N3,NE,3) WRITE(6,109) C1,(W20(J),J=1,NC)
0260 IF(N3,EQ,3) WRITE(6,125) C1
0261 46 R81=R81+C1+P
0262 R82=R82+P
0263 R83=R83+S
0264 WRITE(6,110)
0265 65 CONTINUE
0266 PR=R81+TEN/(R82*100)
0267 W=PR*RD3
0268 PR1=R81/R82
0269 WRITE(6,109) PR,PR1,W
0270 100 FORMAT(13,F5,1)
0271 101 FORMAT(13,2F6,1,F4,0)
0272
0273
0274
0275

```



```

0001 SUBROUTINE COMP(N1,N2,N3,N4)
0002 COMMON /BL3/ NR
0003 IF(N4.EQ.1.AND.N2.EQ.1) NR=5
0004 IF(N4.EQ.1.AND.N2.EQ.2) NR=2
0005 IF(N4.EQ.2.AND.N2.EQ.1) NR=8
0006 IF(N4.EQ.2.AND.N2.EQ.2) NR=5
0007 IF(N4.EQ.2.AND.N2.EQ.3) NR=2
0008 IF(N4.EQ.3.AND.N2.EQ.1) NR=11
0009 IF(N4.EQ.3.AND.N2.EQ.2) NR=8
0010 IF(N4.EQ.3.AND.N2.EQ.3) NR=5
0011 IF(N4.EQ.3.AND.N2.EQ.4) NR=2
0012 IF(N1.GE.1.AND.N1.LE.10) NR=NR+3
0013 IF(N1.GE.11.AND.N1.LE.20) NR=NR+2
0014 IF(N1.GE.20) NR=NR+1
0015 IF(N4.EQ.1.AND.N2.EQ.3) GO TO 3
0016 IF(N4.EQ.2.AND.N2.EQ.4) GO TO 3
0017 GO TO 4
0018 3 NR=8
0019 IF(N1.GE.1.AND.N1.LE.10) NR=NR+2
0020 IF(N1.GE.11.AND.N1.LE.20) NR=NR+1
0021 4 CONTINUE
0022 RETURN
0023 END

```

```

0001 SUBROUTINE OPT(K)
0002 COMMON /BL3/ X(50),Y1(20),Y2(20)
0003 INTEGER X
0004 S1=0
0005 S2=0
0006 S3=0
0007 S4=0
0008 S5=0
0009 DO 1 I=1,K
0010 S1=S1+X(I)
0011 1 S2=S2+Y1(I)
0012 S1=S1/K
0013 S2=S2/K
0014 DO 2 I=1,K
0015 R1=X(I)-S1
0016 R2=Y1(I)-S2
0017 S3=S3+R1**2
0018 S4=S4+R2**2
0019 2 S5=S5+R1*R2
0020 RH=S5/SQRT(S3*S4)
0021 DO 3 I=1,K
0022 R=RH*SQRT(S4/K)/SQRT(S3/K)
0023 3 Y2(I)=R*(X(I)-S1)+S2
0024 RETURN
0025 END

```

```

0001 SUBROUTINE SUMT(TSR,DV,N3)
0002 DIMENSION TSR(15),DV(15)
0003 COMMON /BL4/ G11
0004 INTEGER G11,DV
0005 TS2=0
0006 G11=1
0007 13 N7=DV(G11)
0008 IF(N3.EQ.1.OR.N3.EQ.2) GOTO 1
0009 IF(N3.EQ.3) GOTO 6
0010 IF(N3.EQ.4) GOTO 8
0011 1 IF(TSR(G11)-5) 2,3,3
0012 3 DO 4 J4=1,N7
0013 4 TS2=TS2+(TSR(G11)-5)
0014 IF(TS2.LT.300) GOTO 2
0015 GOTO 10
0016 6 DO 7 O4=1,N7
0017 7 TS2=TS2+TSR(G11)
0018 GOTO 10
0019 8 DO 9 J4=1,N7
0020 9 TS2=TS2+TSR(G11)
0021 IF(TS2.LT.500) GOTO 2
0022 GOTO 10
0023 2 G11=G11+1
0024 GOTO 13
0025 10 CONTINUE
0026 RETURN
0027 END

```

6.4.2. Пример составления прогноза

Рассмотрим пример расчета прогноза урожайности и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур для Тульской области с различной заблаговременностью.

Необходимая исходная информация (указанная в разделе 6.3.3.4) для Тульской области представлена в табл. 6.9 и 6.10. Видно, что в прогнозируемом году в Тульской области к первому сроку прогноза — 20 мая — всходов поздних теплолюбивых и зернобобовых культур еще не было, а к последнему сроку прогнозов — 20 июля — восковая спелость озимых и ранних яровых зерновых культур уже наступила. В связи с этим, согласно требованиям раздела 6.4.1, исходная информация для трех сроков прогнозов закодирована с учетом этих явлений на бланках перфорирования 1. Так, для первого срока прогноза — 20 мая — закодирована исходная информация для озимых и ранних яровых среднесуточных периода и информация прогнозируемого года, в котором до 20 мая использована информация прогнозируемого года, а начиная с третьей декады мая и до конца вегетационного периода, определяемого среднесуточной датой восковой спелости, переписана информация среднесуточного периода. Для поздних теплолюбивых и зернобобовых культур информация не кодируется, за исключением первых информационных карт, в которых указывается прошлогодняя посевная площадь в гектарах, прошлогодняя посевная площадь группы культур в процентах от всей посевной площади зерновых и зернобобовых культур и условная агрометеорологическая оценка — 100 %.

Исходная информация прогнозируемого года по Тульской области

Таблица 6.10

Параметр	Слой почвы, см	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль	
		3			1			1			1			1	
Среднедекадная температура воздуха, °С		3,5	14,7	9,8	12,9	16,7	21,6	18,6	21,5	21,5	20,0	19,5	20,8		
Число часов солнечного сияния (за средний день декады)		8,5	8,5	2,9	2,6	8,9	10,4	8,6	11,0	11,1	10,0	9,5	10,2		
Даты возобновления вегетации (исходов): озимых		23 III		15 IV				27 V							
ранних яровых															
поздних теплолюбивых															
зернобобовых															
Число дней в расчетных декадах для: озимых		9	10	10	10	10	10	11	10	10	10	7			
ранних яровых				5	10	10	10	11	10	10	10	8			
поздних теплолюбивых								5	10	10	10	10			
зернобобовых								9	10	10	10	10			
Запасы продуктивной влаги (мм) под: озимыми	0-100	177	177	170	156	144	107	75	78	59	52	48			
ранними яровыми	0-20	32	32	33	28	26	15	10	24	13	12	16			
поздними теплолюбивыми	0-100			165	155	147	111	69	52	33	45	40			
зернобобовыми	0-20			38	34	30	15	9	16	5	5	10			
	0-50							99	83	86	74	75	66		
	0-50							34	41	30	30	25	26		
	0-20							7	13	10	10	9			

Во второй срок прогноза — 20 июня — для групп озимых и ранних яровых зерновых культур кодируется и набивается только информация с учетом данных прогнозируемого года, в которой до 20 июня дается информация прогнозируемого года, а до конца вегетации, определяемого среднееголетней датой восковой спелости, переписывается среднееголетняя информация. Для счета прогноза в этот срок для групп озимых и ранних яровых зерновых культур используется ранее набитая среднееголетняя информация к первому прогнозу — 20 мая. В этой информации меняются только карты с указанием общей даты прогноза после названия области, и перфокарты с учетом данных прогнозируемого года до 20 мая заменяются на перфокарты информации с учетом данных прогнозируемого года до 20 июня. Ко второму сроку прогноза всходы поздних теплолюбивых и зернобобовых появились, поэтому информация для этих групп культур набивается полностью — и за среднееголетний период, и за прогнозируемый период. Кроме того, в первых информационных картах этих групп культур уточняется посевная площадь групп культур и процент посевной площади групп культур от всей посевной площади зерновых и зернобобовых культур в области.

Счет прогноза в третий срок — 20 июля — ведется для первых двух групп культур с учетом данных прогнозируемого года полностью по информации прогнозируемого года, так как к третьему сроку прогноза восковая спелость озимых (17 июля) и ранних яровых (18 июля) зерновых культур уже наступила. Прогноз поздних теплолюбивых культур с учетом данных прогнозируемого года считается по информации прогнозируемого года до 20 июля, а до среднееголетней даты восковой спелости (12 августа) используется среднееголетняя информация. Прогноз зернобобовых культур с учетом данных прогнозируемого года до 20 июля считается полностью по информации прогнозируемого года, так как среднееголетняя дата наступления восковой спелости приходится на 17 июля, а в прогнозируемом году к сроку составления прогноза (20 июля) она еще не наступила.

При формировании массива исходных данных для счета прогноза на ЭВМ в каждый срок прогноза необходимо строго придерживаться порядка, указанного в разделе 6.4.1. На бланках перфорирования информация для каждого срока прогноза отделена друг от друга двойной линией, а информация групп культур в пределах этих сроков — пунктирной линией и закодирована с учетом того, чтобы избежать лишней набивки среднееголетней информации для групп культур. Сформированный массив из перфокарт для каждого срока прогноза присоединяется к программе (см. табл. 6.8) и считается на ЭВМ типа ЕС. Результаты счета выдаются на автоматическое печатающее устройство в виде распечаток, на которых выдается вся закодированная исходная информация и результаты счета по программе. Расшифровка встречающихся условных символов печати (N5, K, N и т. д.) указана в разделе 6.4.1.

ЕС ЭВМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ ЛИСТ _____ К-ВО П/К _____
 ФОРТРАН СОСТАВИА _____ ДАТА _____ ОПЕРАТОР _____ К-ВО ЗН. _____

Бланк перфорирования 1

МЕТКА ОПЕРАТОРА	С	6	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	ИДЕНТИФИКАТОР
Торль	0	к	д	а														
1.6	1.0	1.1	4.1	5.4	2.0													
1.7	1.0	1.1	5.1	1.1	5.1	2.6	4.1	1.9	1.1	1.3	4.1	1.6	3.1	2.0	2.1	1.7	2.1	3.1
1.1	4.5	0.1	3.7	7.8														
1.1	6.1	2.6	1.1	2.0	0.1													
1.1	4.3		1.7	2.1	1.0	2.1	1.3	5.1	1.5	3.1	1.6	3.1	1.7	2.1	1.7	1.8	1.9	7.1
1.5	2.0	1.5	2.0	1.3	6.0	1.1	2.9	0.1	1.7	0.1	9.6	0.1	7.8	0.1	5.8	0.1	5.0	0.1
1.4	4.1	4.9		5.5	6.4		7.3	1.8	2.1	8.5	1.8	9.2	1.9	2.1	9.2	1.9	3.1	
1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.5								
1.1	3.1	2.3	1.1	2.0	0.1													
1.3	5.1	1.4	7.1		9.8	1.2	9.1	1.6	7.1	2.1	6.1	1.6	3.1	1.7	2.1	1.7	1.8	1.9
1.7	7.0	1.7	7.0	1.7	0.0	1.5	6.0	1.4	4.0	1.0	7.0	7.8	0.1	5.8	0.1	5.0	0.1	5.0
1.8	5.1	1.8	5.1	2.6	1.1	2.6	1.8	9.1	1.0	4.1	8.5	1.8	9.2	1.9	2.1	9.2	1.9	3.1
1.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.5								
1.3	2.0	3.2	0.1	3.3	0.1	2.8	0.1	2.6	0.1	1.5	0.1							
1.2	1.1	3.4	5.1	2.8	9.4													
1.8	1.3	7.1	2.5	2.1	2.0	0.1												
1.0	1.2	1.3	5.1	1.5	3.1	1.6	3.1	1.7	2.1	1.7	9.1	1.8	1.9	7.1				
1.4	4.0	1.4	2.0	1.3	2.0	1.1	6.0	1.0	0.0	1.0	3.0	8.4	0.1	8.0	0.1			
1.6	4.1	7.3		8.2	1.8	5.1	8.5	8.5	1.8	9.2	1.9	2.1	9.2	1.9	3.1			
1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5											
1.9	1.2	7.1	1.5	2.1	2.0	0.1												
1.9	1.8	1.1	2.9	1.6	7.1	2.1	6.1	3.1	1.7	2.1	7.9	1.8	1.9	7.1				
1.6	5.0	1.5	5.0	1.4	7.0	1.1	1.0	1.1	6.0	1.0	0.0	8.3	0.1	8.4	0.1	8.0	0.1	

ЕС ЭВМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ ЛИСТ _____ К-ВО П/К _____
 ФОРТРАН СОСТАВИА _____ ДАТА _____ ОПЕРАТОР _____ К-ВО ЗН. _____

МЕТКА ОПЕРАТОРА	С	6	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	ИДЕНТИФИКАТОР
1.2	8.1	2.6		8.4	1.0	4.1	8.8	8.8	9.2	1.9	2.1	9.2	1.9	3.1				
1.6	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.5											
1.8	0.1	3.8	0.1	3.4	0.1	3.0	0.1	1.5	0.1									
1.3	1.1	1.2	5.1	1.0	4.0	1.0	0.1											
1.4	1.1	5.2		5.4	7.1	1.0	0.1											
Торль	0	к	д	а														
1.2	1.1																	
1.6	1.0	1.1	4.1	5.4	2.0													
1.7	1.0	1.1	5.1	1.1	5.1	2.6	4.1	1.9	1.1	1.3	4.1	1.6	3.1	2.0	2.1	1.7	2.1	3.1
1.1	4.5	0.1	3.7	7.8														
1.1	6.1	2.6	1.1	2.0	0.1													
1.1	4.3		1.7	2.1	1.0	2.1	1.3	5.1	1.5	3.1	1.6	3.1	1.7	2.1	1.7	1.8	1.9	7.1
1.5	2.0	1.5	2.0	1.3	6.0	1.1	2.9	0.1	1.7	0.1	9.6	0.1	7.8	0.1	5.8	0.1	5.0	0.1
1.4	4.1	4.9		5.5	6.4		7.3	1.8	2.1	8.5	1.8	9.2	1.9	2.1	9.2	1.9	3.1	
1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.5								
1.1	3.1	2.3	1.1	2.0	0.1													
1.3	5.1	1.4	7.1		9.8	1.2	9.1	1.6	7.1	2.1	6.1	1.6	3.1	1.7	2.1	1.7	1.8	1.9
1.7	7.0	1.7	7.0	1.7	0.0	1.5	6.0	1.4	4.0	1.0	7.0	7.8	0.1	5.8	0.1	5.0	0.1	5.0
1.8	5.1	1.8	5.1	2.6	1.1	2.6	1.8	9.1	1.0	4.1	8.5	1.8	9.2	1.9	2.1	9.2	1.9	3.1
1.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.5								
1.3	2.0	3.2	0.1	3.3	0.1	2.8	0.1	2.6	0.1	1.5	0.1							
1.2	1.1	3.4	5.1	2.8	9.4													
1.8	1.3	7.1	2.5	2.1	2.0	0.1												
1.0	1.2	1.3	5.1	1.5	3.1	1.6	3.1	1.7	2.1	1.7	9.1	1.8	1.9	7.1				
1.4	4.0	1.4	2.0	1.3	2.0	1.1	6.0	1.0	0.0	1.0	3.0	8.4	0.1	8.0	0.1			

ЕС ЭВМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ АИСТ _____ К-ВО П/К _____
 ФОРТРАН СОСТАВИА _____ ДАТА _____ ОПЕРАТОР _____ К-ВО ЗН. _____

МЕТКА ОПЕРАТОРА	С	6	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	ИДЕНТИФИКАТОР
64			73		82	85	89	92	92	93								
5	10	10	11	10	10	10	5											
8	27	15	2	200														
98	129	1167	1216	186	215	215	188	197										
1650	1550	1470	1110	690	520	330	840	800										
28	26	89	104	86	110	111	92	83										
6	10	10	11	10	10	10	5											
380	340	300	150	90	160	50												
3	137	1149																
65	23	3	110															
163	172	179	188	197	204	209	205	192										
90	830	860	740	750	660	780	500	720										
85	89	92	92	93	93	93	93	90										
6	10	10	10	10	10	10	2											
69	27	3	110															
1186	1215	1215	1188	1197	204	209	205	192										
550	490	400	740	750	660	780	500	720										
86	110	111	92	93	93	93	93	90										
5	10	10	10	10	10	10	2											
4	68	568																
8	44	2	3	100														
135	153	163	172	179	188	197	204											
770	690	600	440	470	310	200	360											
73	82	85	89	92	92	93	93											
6	10	10	10	10	10	7												

ЕС ЭВМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ АИСТ _____ К-ВО П/К _____
 ФОРТРАН СОСТАВИА _____ ДАТА _____ ОПЕРАТОР _____ К-ВО ЗН. _____

МЕТКА ОПЕРАТОРА	С	6	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	ИДЕНТИФИКАТОР
65			23	3	100													
186	1215	1215	1188	1197	204													
340	410	300	310	200	360													
86	110	111	92	93	93													
9	10	10	10	10	7													
70	130	100																
Группы с кодами																		
3																		
16	10	3	4	5420														
170	150	115	264	191	134	163	200	217	213	197	230	209	305	222	305			
1	450	3778																
11	6	26	1	200														
14	43	72	102	135	153	163	172	179	188	197								
1520	1520	1360	1290	1170	960	780	580	500	500	500								
44	49	56	64	73	82	85	89	92	92	93								
6	10	10	10	10	10	10	5											
11	3	23	1	200														
135	147	98	129	167	216	186	215	215	200	195								
1770	1770	1700	1560	1440	1070	750	780	590	520	480								
85	85	128	26	89	104	86	110	111	100	95								
6	10	10	10	10	10	10	7											
320	320	330	280	260	150	100	240	130	120	160								
2	348	2894																
6	137	125	2	200														
102	135	153	163	172	179	188	187											

ЕС ЭВМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ ЛИСТ _____ К-ВО Л/К _____
 ФОРТРАН СОСТАВИЛ _____ ДАТА _____ ОПЕРАТОР _____ К-ВО ЗН _____

[illegible]

ЕС ЭВМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ ЛИСТ _____ К-ВО Л/К _____
 ФОРТРАН СОСТАВИЛ _____ ДАТА _____ ОПЕРАТОР _____ К-ВО ЗН _____

[illegible]

Результаты расчета прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых
и зернобобовых культур в Тульской области на 20 мая

ТУЛЬСКАЯ
НА 20 МАЯ

РЯД УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ
N3= 18 K= 18 N4= 1 NL= 4 F1= 34.20
1.70 1.50 1.15 2.64 1.91 1.34 1.63 2.00 2.17 2.13 1.97 2.30 2.09 3.05 2.22 3.05
ТЕНДЕНЦИЯ 2.89
ОЗНОВЫЕ ПОСЕВ. ПЛ. 377.8 ТМС. ГА X ПЛ. 45.0
ОЦЕНКА 92.7
СРЕДНЕНОГОДЕТНИЕ ДАННЫЕ ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА
N= 11 T0= 6 N1= 26 N2= 1 MN=200.0 N= 11 T0= 3 N1= 23 N2= 1 MN=200.0

ДЕКАДА: ТЗР : W0 : SS : DV : ДЕКАДА: ТЗР : W0 : SS : DV :

1	1.4	152.0	4.4	6	1	3.5	177.0	8.5	9
2	4.3	152.0	4.9	10	2	14.7	177.0	8.5	10
3	7.2	156.0	5.5	10	3	9.0	170.0	2.9	10
4	10.2	129.0	6.4	10	4	12.9	156.0	2.6	10
5	13.5	117.0	7.3	10	5	16.7	144.0	8.9	10
6	15.3	96.0	8.2	10	6	21.6	107.0	10.4	10
7	16.3	78.0	8.5	11	7	10.3	78.0	8.5	11
8	17.2	58.0	8.9	10	8	17.2	58.0	8.9	10
9	17.9	50.0	9.2	10	9	17.9	50.0	9.2	10
10	18.8	50.0	9.2	10	10	18.8	50.0	9.2	10
11	19.7	50.0	9.3	5	11	19.7	50.0	9.3	5

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 92.7

СЛОЯ 0.20 32.0 32.0 33.0 25.0 20.0 15.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

РАН. ЯРОВ ПОСЕВ. ПЛ. 289.4 ТМС. ГА X ПЛ. 34.5
ОЦЕНКА 90.9
СРЕДНЕНОГОДЕТНИЕ ДАННЫЕ ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА
N= 8 T0= 37 N1= 25 N2= 2 MN=200.0 N= 9 T0= 27 N1= 15 N2= 2 MN=200.0

ДЕКАДА: ТЗР : W0 : SS : DV : ДЕКАДА: ТЗР : W0 : SS : DV :

1	10.2	144.0	6.4	5	1	9.8	165.0	2.8	6
2	13.5	142.0	7.3	10	2	12.9	155.0	2.6	10
3	15.3	132.0	8.2	10	3	16.7	147.0	8.4	10
4	16.3	110.0	8.5	11	4	21.6	111.0	10.4	10
5	17.2	103.0	8.9	10	5	10.3	110.0	8.5	11
6	17.9	93.0	9.2	10	6	17.2	100.0	8.9	10
7	18.8	84.0	9.2	10	7	17.9	93.0	9.2	10
8	19.7	80.0	9.3	5	8	18.8	84.0	9.2	10
					9	19.7	80.0	9.3	5

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 90.9

СЛОЯ 0.20 38.0 34.0 30.0 15.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

ПОЗ. ЯРОВ ПОСЕВ. ПЛ. 104.4 ТМС. ГА X ПЛ. 12.5
ОЦЕНКА 100.0

ЗЕРНОБОВ ПОСЕВ. ПЛ. 54.7 ТМС. ГА X ПЛ. 5.2
ОЦЕНКА 100.0

ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ 2.70 Т/ГА ОБЩАЯ ОЦЕНКА 93.4 X ВАЛОВЫЙ СБОР ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВ. 2227.9 ТМС. Т.

Результаты расчета прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур в Тульской области на 20 июня

ТУЛЬСКАЯ
НА 20 ИЮНЯ

РАСЧ. УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ
N5= 10 K= 10 M= 2 ML= 4 FI= 54.20
1.70 1.50 1.15 2.64 1.91 1.34 1.43 2.00 2.17 2.13 1.97 2.30 2.09 3.05 2.22 3.05
ТЕНДЕНЦИЯ 2.89
ОСНОВНЕ ПОСЕВ. ПЛ. 377.8 ТМС. ГА X ПЛ. 45.0
ОЦЕНКА 84.4
СРЕДНЕНОГОДЕТНИЕ ДАННЫЕ
N= 11 T0= 6 N1= 25 N2= 1 MN=200.0
ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА
N= 11 T0= 3 N1= 23 N2= 1 MN=200.0

ДЕКАДА: TSR : WB : SS : DV : ДЕКАДА

1	4.4	152.0	4.4	6	1	3.5	177.0	8.5	9
2	4.5	152.0	4.9	10	2	14.7	177.0	8.5	10
3	7.2	138.0	5.5	10	3	9.8	170.0	2.9	10
4	10.2	129.0	6.4	10	4	12.9	156.0	2.6	10
5	13.5	117.0	7.5	10	5	18.7	144.0	8.9	10
6	15.3	96.0	8.2	10	6	21.6	107.0	10.4	10
7	16.3	78.0	8.5	11	7	18.6	75.0	8.6	11
8	17.2	58.0	8.9	10	8	21.5	76.0	11.0	10
9	17.9	50.0	9.2	10	9	21.5	59.0	11.1	10
10	18.8	50.0	9.2	10	10	18.8	50.0	9.2	10
11	19.7	50.0	9.3	5	11	19.7	50.0	9.3	5

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 84.4

СЛОЖ 0.20 32.0 32.0 33.0 28.0 26.0 15.0 10.0 24.0 13.0 0.0 0.0

РАСЧ. УРОЖ. ПОСЕВ. ПЛ. 289.4 ТМС. ГА X ПЛ. 34.5
ОЦЕНКА 43.5

СРЕДНЕНОГОДЕТНИЕ ДАННЫЕ
N= 8 T0= 37 N1= 25 N2= 2 MN=280.0
ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА
N= 9 T0= 27 N1= 15 N2= 2 MN=180.0

ДЕКАДА: TSR : WB : SS : DV : ДЕКАДА: TSR : WB : SS : DV

1	10.2	144.0	6.4	5	1	9.8	165.0	2.8	6
2	13.5	142.0	7.3	10	2	12.9	155.0	2.6	10
3	15.3	132.0	8.2	10	3	10.7	147.0	8.9	10
4	16.3	116.0	8.5	11	4	21.6	111.0	10.4	10
5	17.2	100.0	8.9	10	5	18.6	69.0	8.6	11
6	17.9	93.0	9.2	10	6	21.5	52.0	11.0	10
7	18.8	84.0	9.2	10	7	21.5	55.0	11.1	10
8	19.7	80.0	9.3	5	8	18.8	84.0	9.2	10
					9	19.7	80.0	8.3	5

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 45.0

СЛОЖ 0.20 38.0 34.0 30.0 15.0 9.0 16.0 5.0 0.0 0.0

РАСЧ. УРОЖ. ПОСЕВ. ПЛ. 114.9 ТМС. ГА X ПЛ. 13.7
ОЦЕНКА 76.1

СРЕДНЕНОГОДЕТНИЕ ДАННЫЕ
N= 9 T0= 65 N1= 23 N2= 3 MN=110.0
ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА
N= 9 T0= 69 N1= 27 N2= 3 MN=110.0

ДЕКАДА: TSR : WB : SS : DV : ДЕКАДА: TSR : WB : SS : DV									
1	16.3	99.0	8.5	9	1	18.6	55.0	8.6	5
2	17.2	85.0	8.9	10	2	21.5	49.0	11.0	10
3	17.9	86.0	9.2	10	3	21.5	40.0	11.1	10
4	18.8	74.0	9.2	10	4	18.8	74.0	9.2	10
5	19.7	75.0	9.3	10	5	19.7	75.0	9.3	10
6	20.4	66.0	9.3	10	6	20.4	66.0	9.3	10
7	20.9	78.0	9.5	11	7	20.9	78.0	9.5	11
8	20.5	58.0	9.5	10	8	20.5	58.0	9.5	10
9	19.2	72.0	9.0	2	9	19.2	72.0	9.0	2

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 76.1

ЗЕРНОБОБОВ ПОСЕВ, ПЛ. 50,8 ТМС, ГА Х ПЛ. 6,8
ОЦЕНКА 50,8
СРЕДНЕГОДОЛЕТНИЕ ДАННЫЕ
№ 8 Т0= 44 N1= 2 N2= 3 MN=100,0 N= 0 Т0= 65 N1= 23 N2= 3 MN=100,0

ДЕКАДА: ТSR : W0 : SS : DV : ДЕКАДА: ТSR : W0 : SS : DV :

1	13,5	77,0	7,3	9	1	18,6	34,0	8,6	9
2	15,3	69,0	8,2	10	2	21,5	41,0	11,0	10
3	16,3	60,0	8,3	11	3	21,5	39,0	11,1	10
4	17,2	44,0	8,9	10	4	18,8	31,0	9,2	10
5	17,9	47,0	9,2	10	5	19,7	28,0	9,3	10
6	18,8	31,0	9,2	10	6	20,4	36,0	9,3	7
7	19,7	28,0	9,3	10					
8	20,4	36,0	9,3	7					

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 50,8 СЛОД 0,20 7,0 13,0 10,0 0,0 0,0 0,0

ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ 1,94 Т/ГА ОБЩАЯ ОЦЕНКА 67,4 Х ВАЛОВЫЙ СБОР ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ 1431,6 ТМС, Т,

Результаты расчета прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур в Тульской области на 20 июля

ТУЛЬСКАЯ
НА 20 ИЮЛЯ

РЯД. УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ
N3= 16 K= 10 N4= 3 N5= 4 P1= 54,20
1,70 1,50 1,15 2,64 1,91 1,34 1,63 2,00 2,17 2,13 1,97 2,30 2,09 3,05 2,22 3,05
ТЕНДЕНЦИЯ 2,89
ОЗИМНЕ ПОСЕВ, ПЛ. 377,8 ТМС, ГА Х ПЛ. 45,0
ОЦЕНКА 85,9
СРЕДНЕГОДОЛЕТНИЕ ДАННЫЕ
N= 11 Т0= 6 N1= 26 N2= 1 MN=200,0 N= 11 Т0= 3 N1= 23 N2= 1 MN=200,0

ДЕКАДА: ТSR : W0 : SS : DV : ДЕКАДА: ТSR : W0 : SS : DV :

1	1,4	152,0	4,4	6	1	3,5	177,0	8,5	9
2	4,3	152,0	4,9	10	2	14,7	177,0	8,5	10
3	7,2	138,0	5,5	10	3	9,8	170,0	2,9	10
4	10,2	129,0	6,4	10	4	12,9	156,0	2,6	10
5	13,5	117,0	7,3	10	5	16,7	144,0	8,9	10
6	15,3	94,0	8,2	10	6	21,6	107,0	10,4	10
7	16,3	78,0	8,5	11	7	16,6	75,0	8,6	11
8	17,2	58,0	8,9	10	8	21,5	78,0	11,0	10
9	17,9	50,0	9,2	10	9	21,5	59,0	11,1	10
10	18,8	50,0	9,2	10	10	20,0	52,0	10,0	10
11	19,7	50,0	9,3	5	11	19,5	48,0	9,5	7

ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 85,9 СЛОД 0,20 32,0 32,0 33,0 28,0 26,0 13,0 10,0 24,0 13,0 12,0 16,0

РАИ, ЯРОВ ПОСЕВ. ПЛ. 289.4 ТМС. ГА X ПЛ. 34.5									
ОЦЕНКА 60.3									
СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЕ ДАННЫЕ									
N= 8	T0= 37	N1= 25	N2= 2	MN=200.0	N= 9	T0= 27	N1= 15	N2= 2	MN=200.0
ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА									
ДЕКАДА: TSR : W0 : SS : DV : DEКАДА: TSR : W0 : SS : DV :									
1 : 10.2	144.0	6.4	5	1	9.8	165.0	2.8	6	
2 : 13.5	142.0	7.3	10	2	12.9	156.0	2.6	10	
3 : 15.3	132.0	8.2	10	3	16.7	147.0	8.9	10	
4 : 16.3	110.0	8.5	11	4	21.6	111.0	10.4	10	
5 : 17.2	100.0	8.9	10	5	18.6	69.0	8.6	11	
6 : 17.9	93.0	9.2	10	6	21.5	32.0	11.0	10	
7 : 18.8	84.0	9.2	10	7	21.5	33.0	11.1	10	
8 : 19.7	80.0	9.3	5	8	20.0	45.0	10.0	10	
				9	19.5	40.0	9.5	8	
ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 45.0									
СЛОД 0,20 38.0 34.0 30.0 15.0 9.0 16.0 5.0 5.0 10.0									

ПОЗ. ЯРОВ ПОСЕВ. ПЛ. 114.9 ТМС. ГА X ПЛ. 13.7									
ОЦЕНКА 75.7									
СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЕ ДАННЫЕ									
N= 9	T0= 65	N1= 23	N2= 3	MN=110.0	N= 9	T0= 69	N1= 27	N2= 3	MN=110.0
ДАННЫЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ГОДА									
ДЕКАДА: TSR : W0 : SS : DV : DEКАДА: TSR : W0 : SS : DV :									
1 : 16.3	99.0	8.3	9	1	18.6	55.0	8.6	5	
2 : 17.2	83.0	8.9	10	2	21.5	49.0	11.0	10	
3 : 17.9	86.0	9.2	10	3	21.5	40.0	11.1	10	
4 : 18.8	74.0	9.2	10	4	20.0	60.0	10.0	10	
5 : 19.7	75.0	9.3	10	5	19.3	65.0	9.3	10	
6 : 20.4	66.0	9.3	10	6	20.8	70.0	10.2	10	
7 : 20.9	78.0	9.3	11	7	20.9	78.0	9.3	11	
8 : 20.5	50.0	9.3	10	8	20.3	50.0	9.3	10	
9 : 19.2	72.0	9.0	2	9	19.2	72.0	9.0	2	
ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 75.7									

ЗЕРНОВЫЕ ПОСЕВ. ПЛ. 56,8 ТЫС. ГА 2 ПЛ. 8,8									
ОЦЕНКА 55,9 СРЕДНЕГОДОШНИЕ ДАННЫЕ									
№ 8	ТН= 44	НН= 2	МН= 100,0	№ 7	ТН= 45	МН= 100,0	№ 3	МН= 100,0	
ДЕКАДА: ТН= 1 МН= 35 : ДВ= 55 : ДВ= 55									
1	13,5	77,6	7,5	1	18,6	34,0	8,6	9	
2	15,5	69,0	8,2	2	21,5	41,0	11,0	10	
3	16,5	60,0	8,5	3	21,5	36,0	11,1	10	
4	17,2	44,0	8,9	4	20,0	36,0	10,0	10	
5	17,9	47,0	9,2	5	19,5	25,0	9,5	10	
6	18,8	51,0	9,2	6	20,8	20,0	10,2	10	
7	19,7	20,0	9,3	7	20,9	20,0	10,2	10	
8	20,4	30,0	9,3	8	20,9	20,0	9,3	7	
ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 55,9									
ОЦЕНКА С УЧЕТОМ ЗАСУШЛИВОСТИ 55,9									
ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ 1,97 Т/ГА ОБЩАЯ ОЦЕНКА 68,2 Х ВАЛОВАЯ ЦЕПО ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОВОБООБ. 1651,5 ТЫС. Т.									

6.5. О методе прогноза урожая сельскохозяйственных культур (озимая и яровая пшеница, яровой ячмень, кукуруза, лен, картофель)

Прогнозирование урожая различных сельскохозяйственных культур ведется на единой методической основе [131] с использованием декадной агрометеорологической информации. Основные принципы прогнозирования изложены в разделе 6.3.1.

Как уже отмечалось, прогноз урожая по существу представляет сочетание двух прогнозов: тенденции урожайности и оценки отклонения урожайности от тренда, которая обусловлена влиянием погодных условий конкретного года. Расчет тенденции урожайности на прогнозируемый год описан в разделе 6.3.2. Оценка отклонений урожайности от тренда ведется с помощью расчетов по модели продуктивности сельскохозяйственных культур, описанной в разделе 6.3.3.2.

Перейдем к рассмотрению подготовки необходимых входных данных для составления прогноза урожая.

6.5.1. Подготовка входных данных

Исходные данные для счета на ЭВМ кодируются на специальном бланке — ЕС ЭВМ ФОРТРАН в следующем порядке.

Первая перфокарта состоит из трех чисел. Первое число — название области — кодируется русскими буквами, начиная со второй позиции. Второе число — дата прогноза — пишется цифрами через одну позицию после названия области. Третье число — месяц прогноза — пишется через одну позицию после даты прогноза русскими буквами. Максимально возможное число буквенных символов всех трех чисел вместе взятых — 28.

Вторая перфокарта состоит из пяти чисел. Первое число — число лет, по которому определяется тенденция урожая на прогнозируемый год. Число целое, кодируется в трех позициях. Второе число — количество точек одной фазы скользящего тренда ($k=16$ или $k=10$). Число целое, кодируется в трех позициях. Третье число — шифр культуры: 1 — яровая пшеница, 2 — озимая пшеница, 3 — ячмень, 4 — кукуруза, 5 — картофель, 6 — лен. Число целое, кодируется в трех позициях. Четвертое число — географическая широта местоположения центра области. Записывается десятичным числом в шести позициях с двумя знаками после запятой. Пятое число — посевная площадь (в тыс. га), записывается в восьми позициях, три знака после запятой.

Третья перфокарта содержит заданный временной ряд фактической урожайности, которая кодируется по 16 чисел на одной перфокарте. Каждое число кодируется в пяти позициях с двумя знаками после запятой. Карт может быть несколько в зависимости от длины ряда урожайности.

Четвертая перфокарта информационная, состоит из четырех чисел. Первое число — продолжительность расчетного периода, т. е. число расчетных декад. Число целое, записывается в трех позициях. Второе число — число дней от начала отсчета (20 марта) до дня всходов (возобновления вегетации у озимой пшеницы). Число целое, записывается в трех позициях. Третье число — дата появления всходов (возобновления вегетации). Число целое, записывается в трех позициях. Четвертое число — месяц всходов (возобновления вегетации): 1 — март, 2 — апрель, 3 — май, 4 — июнь. Число целое, записывается в трех позициях.

Пятая перфокарта — массив запасов продуктивной влаги в слое почвы 0—50 см. Числа кодируются в пяти позициях с одним знаком после запятой.

Шестая перфокарта — массив среднедекадных температур воздуха. Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Седьмая перфокарта — массив, носящий информацию о числе часов солнечного сияния в расчетных декадах (в среднем за один день декады). Числа кодируются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Восьмая перфокарта — массив количества дней в расчетных декадах. Числа целые, кодируются в трех позициях.

Девятая и десятая перфокарты составляют массив нулевых значений и других констант, содержащий 20 чисел. Каждое число кодируется в восьми позициях с тремя знаками после запятой.

Порядок кодирования следующий.

Девятая перфокарта. Первое число (m_{l_0}) — начальная масса листьев с 1 м² в день фазы «б» всходов (в день весеннего обследования посевов озимой пшеницы) (г/м²).

Второе число (m_{s_0}) — начальная масса стеблей с 1 м² в день фазы «б» всходов (весеннего обследования) (г/м²).

Третье число (m_{r_0}) — начальная масса корней с 1 м² в день фазы «б» всходов (весеннего обследования посевов) (г/м²).

Четвертое число (L_{l_0}) — начальная площадь листьев с 1 м² в день фазы «б» всходов (весеннего обследования посевов) (м²/м²).

Пятое число (P_m) — масса сухих веществ в материнских клубнях картофеля с 1 м² на день фазы «б» всходов (г/м²). Для других культур это число — ноль.

Шестое число ($W_{нв}$) — наименьшая влагоемкость (мм) в слое почвы 0—50 см. Если таковая неизвестна, то берутся наибольшие влагозапасы почвы в слое 0—50 см из трех первых декад с начала определения влажности под данной культурой.

Седьмое число ($\sum t'_l$) — оптимальная сумма температур для расчета кривой фотосинтеза листьев.

Восьмое число ($\sum t_{l_0}$) — оптимальная сумма температур для расчета кривой дыхания листьев.

Девятое число ($\sum t_{s_0}$) — оптимальная сумма температур для расчета ростовых функций листьев.

Десятое число ($\sum t_{r_0}$) — оптимальная сумма температур для расчета ростовых функций стеблей.

Десятая перфокарта. Первое число ($\sum t_{r_0}$) — оптимальная сумма температур для расчета ростовых функций корней.

Второе число ($\sum t_{p_0}$) — оптимальная сумма температур для расчета ростовых функций репродуктивных органов (колоса, початка, клубня, коробочки).

Третье число ($\sum t_p$) — сумма температур, с которой начинается рост репродуктивных органов.

Четвертое число (α_{Φ_0}) — начальное значение онтогенетической кривой фотосинтеза.

Пятое число (α_{R_0}) — начальное значение онтогенетической кривой дыхания.

Шестое число (L_l) — удельная поверхностная плотность листьев (г/м²).

Седьмое число (C_l) — доля листьев в растении.

Восьмое число (C_s) — доля стеблей в растении.

Девятое число (C_r) — доля корней в растении.

Десятое число (C_p) — доля репродуктивного органа (колоса, початка, клубня, коробочки) в растении.

Одиннадцатая перфокарта — массив оптимальных температур. Числа записываются в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Двенадцатая перфокарта — массив коэффициентов водопотребления. Числа кодируются в пяти позициях с двумя десятичными знаками.

Информация с учетом данных прогнозируемого года

Тринадцатая перфокарта — информационная, состоит из четырех чисел. Первое число — число расчетных декад в прогнозируемом году, которое будет равно числу декад от даты всходов (возобновления вегетации) данного года до средней многолетней даты восковой спелости у зерновых культур, увядания ботвы у картофеля, ранней желтой спелости у льна. Число целое, записывается в трех позициях. Второе число — число дней от 20 марта до всходов (возобновления вегетации) в прогнозируемом году. Число целое, кодируется в трех позициях. Третье число — дата появления всходов (возобновления вегетации) в прогнозируемом году. Число целое, записывается в трех позициях. Четвертое число — месяц появления всходов (возобновления вегетации) в прогнозируемом году: 1 — март, 2 — апрель, 3 — май, 4 — июнь. Число целое, записывается в трех позициях.

Программа расчета прогноза урожая и валового сбора озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, льна, картофеля

```

0001.      C      ДЕКАДНЫЙ ВАРИАНТ
0002.      COMMON /BL1/MP,N3,SL2,TEN
0003.      DIMENSION W05(15),TSS(15),SSS(15),DVS(15),INF3(15),TOP3(15),PKS(15),YRR(15)
0004.      6),W0C(15),TSC(15),SSC(15),DVC(15),INFC(15),TOPC(15),PKC(15),YRC(15)
0005.      6,Y(150)
0006.      REAL INF3,INFC,MP,MHS
0007.      INTEGER T05,T0C,DVS,DVC
0008.      KB=100
0009.      DO 30 I=1,KB
0010.      READ(5,116) SL1,SL2,SL3,SL4,SL5,SL6,SL7
0011.      WRITE(6,116) SL1,SL2,SL3,SL4,SL5,SL6,SL7
0012.      READ(5,111) N5,K,N3,F1,S
0013.      READ(5,112) (Y(I),I=1,N5)
0014.      READ(5,100) N5,T05,M15,N25
0015.      READ(5,102) (W05(J),J=1,N5)
0016.      READ(5,102) (TSS(J),J=1,N5)
0017.      READ(5,102) (SSS(J),J=1,N5)
0018.      READ(5,102) (DVS(J),J=1,N5)
0019.      READ(5,101) (INF3(J),J=1,20)
0020.      READ(5,102) (TOP3(J),J=1,N5)
0021.      READ(5,110) (PK3(J),J=1,N5)
0022.      READ(5,100) NC,T0C,N1C,N2C
0023.      READ(5,102) (W0C(J),J=1,NC)
0024.      READ(5,102) (TSC(J),J=1,NC)
0025.      READ(5,115) (DVC(J),J=1,NC)
0026.      READ(5,101) (INFC(J),J=1,20)
0027.      READ(5,102) (TOPC(J),J=1,NC)
0028.      READ(5,110) (PKC(J),J=1,NC)
0029.      IF(N3.EQ.1) WRITE(6,103)
0030.      IF(N3.EQ.2) WRITE(6,104)
0031.      IF(N3.EQ.3) WRITE(6,106)
0032.      IF(N3.EQ.4) WRITE(6,107)
0033.      IF(N3.EQ.5) WRITE(6,108)
0034.      IF(N3.EQ.6) WRITE(6,109)

```

```

0035.      WRITE(6,111) N5,K,N3,F1,S
0036.      WRITE(6,112) (Y(I),I=1,N5)
0037.      CALL GARMINS,K,Y
0038.      WRITE(6,113)
0039.      WRITE(6,100) N5,T05,M15,N25
0040.      WRITE(6,102) (W05(J),J=1,N5)
0041.      WRITE(6,102) (TSS(J),J=1,N5)
0042.      WRITE(6,102) (SSS(J),J=1,N5)
0043.      WRITE(6,115) (DVS(J),J=1,N5)
0044.      WRITE(6,101) (INF3(J),J=1,20)
0045.      WRITE(6,102) (TOP3(J),J=1,N5)
0046.      CALL DMX(W05,TSS,SSS,DVS,INF3,TOP3,PK3,N5,T05,M15,N25,N3,F1)
0047.      YRR(1)=MP
0048.      IF(N3.EQ.6) YRR(1)=MS
0049.      WRITE(6,114)
0050.      WRITE(6,100) NC,T0C,N1C,N2C
0051.      WRITE(6,102) (W0C(J),J=1,NC)
0052.      WRITE(6,102) (TSC(J),J=1,NC)
0053.      WRITE(6,115) (DVC(J),J=1,NC)
0054.      WRITE(6,101) (INFC(J),J=1,20)
0055.      WRITE(6,102) (TOPC(J),J=1,NC)
0056.      WRITE(6,110) (PKC(J),J=1,NC)
0057.      CALL DMX(W0C,TSC,SSC,DVC,INFC,TOPC,PKC,NC,T0C,N1C,N2C,N3,F1)
0058.      YRR(2)=MP
0059.      IF(N3.EQ.6) YRR(2)=MS
0060.      C1=YRR(2)+100/YRR(1)
0061.      IF(C1.GT.150) C1=150
0062.      PR=C1*TEN+0.01
0063.      PR1=0.02*TEN+0.01
0064.      PR2=0.03*TEN+0.01
0065.      PR3=0.05*TEN+0.01
0066.      WAL1=PR1+5
0067.      WAL2=PR2+5
0068.      WAL3=PR3+5
0069.      WAL=PRAS
0070.      IF(N3.EQ.6) WRITE(6,118) TEN,C1,PR1,PR2,PR3,WAL1,WAL2,WAL3

```



```

0054      89 TS2=TS2+TS1
0055      A1=-100.*ALOG(INF(14))/(INF(7)**2)
0056      AFL=EXP(-A1*((TS2-INF(7))/10)**2)
0057      A1=-100.*ALOG(INF(15))/(INF(8)**2)
0058      ARL=EXP(-A1*((TS2-INF(8))/10)**2)
0059      B1=-2/INF(9)
0060      DML=(-2.3026*B1*10.**((2+B1*TS2)*1000.*INF(17)))/
0061      6(1.+10.**((2+B1*TS2)**2)
0062      B1=-2/INF(10)
0063      DMS=(-2.3026*B1*10.**((2+B1*TS2)*1000.*INF(18)))/
0064      6(1.+10.**((2+B1*TS2)**2)
0065      B1=-2/INF(11)
0066      DMR=(-2.3026*B1*10.**((2+B1*TS2)*1000.*INF(19)))/
0067      6(1.+10.**((2+B1*TS2)**2)
0068      R1=TS2-INF(12)
0069      IF(R1.LT.0) GO TO 62
0070      B1=-2/INF(12)
0071      DMP=(-2.3026*B1*10.**((2+B1*R1)*1000.*INF(20)))/
0072      6(1.+10.**((2+B1*R1)**2)
0073      GO TO 63
0074      62 DMP=0
0075      63 S6=S6+AFL
0076      S7=S7+ARL
0077      S8=S8+DML
0078      S9=S9+DMS
0079      S10=S10+DMR
0080      S11=S11+DMP
0081      G1=G1+1
0082      G2=G2+1
0083      GO TO 81
0084      82 DELTA=S1/DV(J)
0085      A=S2/DV(J)
0086      B=S3/DV(J)
0087      T2=S4/DV(J)
0088      TV=S5/DV(J)
0089      TAUD=T2-TV
0090      AFL=S6/DV(J)
0091      ARL=S7/DV(J)
0092      DML=S8/DV(J)

```

```

0089      DMS=S9/DV(J)
0090      DMR=S10/DV(J)
0091      DMP=S11/DV(J)
0092      DM=DML+DMS+DMR+DMP
0093      BL=DML/DM
0094      BS=DMS/DM
0095      BR=DMR/DM
0096      BP=DMP/DM
0097      Q=12.66*SS(J)**1.31+315*(A+B)**2.1
0098      J0=0.5*Q/(TAUD*60)
0099      X=TS(J)/TOP(J)
0100      W1=W0(J)/(PK(J)*INF(6))
0101      KS1FL=((X+0.0001)/2.)*((7.74*(X-1)/10.))*

```

```

0102      6(ABS(1.4-X)/0.4)**(38.*(X-1)/10.)
0103      IF(KS1FL.LT.0.1) KS1FL=0.1
0104      GAMF=-1.163*W1**2+2.197*W1
0105      IF(GAMF.LT.0.1) GAMF=0.1
0106      IF(GAMF.GT.1) GAMF=1
0107      JJ=J0/(1.+0.5*LL)
0108      IF(N3.EQ.4) JJ=J0/(1.+0.65*LL)
0109      IF(N3.EQ.1.OR.N3.EQ.2.OR.N3.EQ.3) FOL=25.*581.4*JJ/(25.+581.4*JJ)
0110      IF(N3.EQ.4) FOL=42.*240.*JJ/(42.+240.*JJ)
0111      IF(N3.EQ.5) FOL=20.*300.*JJ/(20.+300.*JJ)
0112      IF(N3.EQ.6) FOL=30.*555.6*JJ/(30.+555.6*JJ)
0113      FTL=AFL*FOL*KS1FL*GAMF
0114      FL=0.68*FTL*LL*TAUD*0.1
0115      IF(N3.EQ.5) ETA=0.035/(0.009*TS2+1.)
0116      RS=2*INF(12)-INF(13)
0117      DMH=FL-ARL*(0.015*M+0.28*FL)
0118      IF(N3.EQ.5) DMH=FL+DM-ARL*(0.01*M+0.255*FL)
0119      V1=0.3*HL*TS1/(RS-2.*INF(9))
0120      V2=0.3*HS*TS1/(RS-2.*INF(10))
0121      V3=0.3*HR*TS1/(RS-2.*INF(11))
0122      IF(TS2.LT.2*INF(9)) V1=0
0123      IF(TS2.LT.2*INF(10)) V2=0
0124      IF(TS2.LT.2*INF(11)) V3=0

```



```

0125 ML=ML+(BL*DMM-V1)*DV(J)
0126 MS=MS+(BS*DMM-V2)*DV(J)
0127 MR=MR+(BR*DMM-V3)*DV(J)
0128 MP=MP+(BP*DMM-V4)*DV(J)
0129 LL=LL+(BL*DMM-V1)*DV(J)/INF(16)
0130 IF((BL*DMM-V1)*DV(J).LT.0) LL=LL+(BL*DMM-V1)*DV(J)/(INF(16)*0.3)
0131 IF(ALL.LT.0) LL=0.001
0132 JIM(J)=J1
0133 GIM(J)=G1
0134 FLM(J)=FL
0135 KSI(J)=KSI(FL)
0136 GAMFM(J)=GAMF
0137 BLM(J)=BL
0138 BSM(J)=BS
0139 BRM(J)=BR
0140 BPH(J)=BP
0141 AFLM(J)=AFL
0142 ARLM(J)=ARL
0143 WRITE(6,139) J1,G1,ML,MS,MR,MP,M,LL,Q,T,S1,T32
0144 139 FORMAT(5X,13,2X,13,3X,F7.3,2X,F7.3,2X,F7.3,1X,F8.3,1X,F8.3,
12X,F5.3,2X,F7.3,2X,F6.3,2X,F8.3)
0145 J1=J1+1
0146 99 CONTINUE
0147 J1=J1-1
0148 WRITE(6,140)
0149 WRITE(6,120)
0150 WRITE(6,149)
0151 WRITE(6,120)
0152 149 FORMAT(5X,'DEK',2X,'CYT',5X,'FL',4X,'KSI(FL)',2X,'GAMF',4X,'BL',5X,
1'BS',5X,'BR',5X,'BP',5X,'AFL',4X,'ARL',14X)
0153 DO 141 J1=1,J1
0154 WRITE(6,150) JIM(15),GIM(15),FLM(15),KSI(15),GAMFM(15),ARLM(15)
185H(15),BRM(15),BPH(15),AFLM(15),ARLM(15)
0155 141 CONTINUE
0156 WRITE(6,120)
0157 150 FORMAT(5X,13,2X,13,2X,F6.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,
1F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3)
0158 140 FORMAT(4X,87(' '))
0159 RETURN
0160 END

```

```

0001 SUBROUTINE GARM(N5,K,Y)
0002 DIMENSION Y(50),YR(50),VES(50)
0003 COMMON /BL2/ TEN,/BL3/ X(50),Y1(20),YB(20)
0004 INTEGER A,X,X1,VES
0005 REAL M
0006 A=1
0007 DO 4 I=1,N5
0008 YR(I)=0
0009 4 VES(I)=0
0010 N1=N5-K+1
0011 DO 5 J=1,N1
0012 X1=A
0013 X2=0
0014 K1=A
0015 DO 7 I=1,K
0016 X1=X1+X2
0017 X2=1
0018 X(I)=X1
0019 Y1(I)=Y(K1)
0020 K1=K1+1
0021 CALL OPT(K)
0022 K2=1
0023 K3=K-1+A
0024 DO 10 I=A,K3
0025 YR(I)=YR(I)+YB(K2)
0026 VES(I)=VES(I)+1
0027 K2=K2+1
0028 10 K2=K2+1
0029 5 A=A+1
0030 DO 8 I=1,N5
0031 YR(I)=YR(I)/VES(I)
0032 B=1.
0033 M=0
0034 M2=N5-1
0035 DO 9 I=1,N2
0036 M=M+1./I(N5-8)
0037 MS=MS+M*(YR(I+1)-YR(I))/(N5-1)
0038 B=B+1
0039 TEN=YR(N5)+MS
0040 RETURN
0041 END

```

```

0001 SUBROUTINE OPT(K)
0002 COMMON /BL2/ X(50),Y1(20),YB(20)
0003 INTEGER X
0004 S1=0
0005 S2=0
0006 S3=0
0007 S4=0
0008 S5=0
0009 DO 1 I=1,K
0010 S1=S1+X(I)
0011 1 S2=S2+Y1(I)
0012 S1=S1/K
0013 S2=S2/K
0014 DO 2 I=1,K
0015 R1=X(I)-S1
0016 R2=Y1(I)-S2
0017 S3=S3+R1**2
0018 S4=S4+R2**2
0019 2 S5=S5+R1*R2
0020 RM=S5/SQRT(S3*S4)
0021 DO 3 I=1,K
0022 R=RM*SQRT(S4/K)/SQRT(S3/K)
0023 3 YB(I)=R*(X(I)-S1)+S2
0024 RETURN
0025 END

```


Четырнадцатая перфокарта — массив запасов продуктивной влаги в слое почвы 0—50 см. До даты составления прогноза берутся фактические запасы продуктивной влаги прогнозируемого года, далее — средние многолетние. Числа кодируются в пяти позициях с одним знаком после запятой.

Пятнадцатая перфокарта — массив среднедекадных температур воздуха. До даты составления прогноза берутся фактические температуры воздуха, далее — среднемноголетние среднедекадные температуры. Числа кодируются в пяти позициях с одним знаком после запятой.

Шестнадцатая перфокарта — массив, носящий информацию о числе часов солнечного сияния (среднем за один день декады). До даты составления прогноза также кодируется фактическое среднедекадное число часов солнечного сияния, далее — среднемноголетние значения. Числа кодируются в пяти позициях с одним знаком после запятой.

Семнадцатая перфокарта — массив, носящий информацию о количестве дней в расчетных декадах прогнозируемого года. Числа целые, кодируются в трех позициях.

Следующие четыре перфокарты представляют информационный массив, состоящий из нулевых значений и других констант, аналогичный массиву среднемноголетнего расчетного периода, закодированного на девятой — двенадцатой перфокартах. Различаются эти массивы только значениями нулевых масс, которые определяются густотой стояния растений на 1 м² на дату всходов (весеннего обследования озимых).

При кодировании оптимальных температур и коэффициентов водопотребления необходимо помнить, что начиная с декады всходов (возобновления вегетации) в прогнозируемом году до даты составления прогноза эти параметры кодируются согласно распределению, указанному в табл. 6.3—6.7. В последующие после даты составления прогноза декады записываются параметры, которые строго соответствуют значениям аналогичных среднемноголетних декад.

Программа, позволяющая вести составление прогноза урожайности основных сельскохозяйственных культур, а также их валового сбора приведена в табл. 6.11.

6.5.2. Выходные данные результатов счета

На автоматическое печатающее устройство информация выходит в следующем порядке.

1. Прежде всего — закодированная исходная информация (согласно требованиям в разделе 6.5.1), включающая данные для расчета тенденции урожая сельскохозяйственной культуры на прогнозируемый год и данные для расчета среднемноголетней динамики биомасс органов растения.

2. Затем печатаются результаты счета по программе за каждую декаду среднемноголетнего вегетационного периода.

В каждой расчетной декаде используются следующие символы, обозначающие определенные параметры:

Символ печати	Параметр
ML	m_l — масса листьев, г·м ⁻²
MS	m_s — масса стеблей, г·м ⁻²
MR	m_r — масса корней, г·м ⁻²
MP	m_p — масса колоса (клубней, коробочек), г·м ⁻²
M	M — масса всего растения, г·м ⁻²
LL	L_l — площадь листьев, м ² ·м ⁻²
Q	Q — суммарная солнечная радиация, кал·см ⁻² ·сут ⁻¹
TS1	TS1 — эффективная температура воздуха, °C
TS2	TS2 — сумма эффективных температур, °C
FL	Φ — дневной фотосинтез посева на единицу площади, г·м ⁻² ·сут ⁻¹
KSIFL	Ψ_Φ — температурный коэффициент фотосинтеза, отн. ед.
GAMF	Ψ_Φ — влажностный коэффициент фотосинтеза, отн. ед.
BL	β_l — ростовая функция листьев, отн. ед.
BS	β_s — ростовая функция стеблей, отн. ед.
BR	β_r — ростовая функция корней, отн. ед.
BP	β_p — ростовая функция колоса (клубней, початков, коробочек), отн. ед.
AFL	σ_Φ — коэффициент сезонного хода фотосинтеза, отн. ед.
ARL	σ_R — коэффициент сезонного хода дыхания, отн. ед.

* 1 кал=4,19 Дж.

3. За последней расчетной декадой среднемноголетнего периода вегетации выпечатывается закодированная исходная информация с учетом данных прогнозируемого года, согласно требованиям раздела 6.5.1.

4. За исходной информацией с учетом данных прогнозируемого года идет счет за каждую декаду вегетационного периода.

Символы, выдаваемые на печать в каждой декаде, аналогичны символам в среднемноголетнем счете.

5. В конце счета выпечатывается:

а) тенденция среднеобластной урожайности культуры на прогнозируемый год (т/га); получена из ряда урожайности по методу гармонических весов (раздел 6.3.2);

б) оценка агрометеорологических условий формирования урожая на дату прогноза (%); получена в результате деления биомассы репродуктивных органов $\hat{m}_p$ последней расчетной декады вегетационного периода с учетом данных прогнозируемого года

на биомассу репродуктивных органов $\bar{m}_p$ последней расчетной декады среднемноголетнего вегетационного периода (для льна-

долгунца $\hat{m}_s$ на $\bar{m}_s$) (раздел 6.3.3);

в) прогноз урожайности сельскохозяйственной культуры (т/га); получен путем умножения тенденции среднеобластной урожайности культуры на прогнозируемый год на оценку условий произрастания на дату прогноза (раздел 6.3.1);

г) прогнозируемый валовый сбор сельскохозяйственной культуры (тыс. т); получен путем умножения прогнозируемой среднеобластной урожайности культуры на посевную площадь этой культуры (раздел 6.2). По культуре лен-долгунец даются три цифры урожайности и валового сбора волокна в зависимости от процента выхода волокна (20, 25, 30 %).

6.5.3. Пример составления прогноза

Методы прогноза урожайности и суммарного валового сбора озимой и яровой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, льна, картофеля базируются на единой методологической основе, описанной в разделе 6.2.3. Это позволило составить единую программу счета на ЭВМ, учитывающую особенности каждой культуры, и при этом сохранить идентичность подготовки исходной информации для каждой культуры (раздел 6.5.1).

Рассмотрим пример составления агрометеорологического прогноза урожайности и суммарного валового сбора озимой пшеницы в Волгоградской области на 20 июня 1977 г. В соответствии с требованиями раздела 6.3.3.4 подготовим исходную агрометеорологическую информацию.

Среднеобластная информация за среднемноголетний период вегетации:

1. Географическая широта центра Волгоградской области — $46^{\circ}25' = 46^{\circ}$, 41.

2. Дата возобновления вегетации озимой пшеницы — 7 апреля.

3. Дата наступления восковой спелости озимой пшеницы — 4 июля.

4. Наименьшая влагоемкость слоя почвы 0—50 см — 93 мм.

5. Агрометеорологическая информация по декадам среднемноголетнего расчетного периода (с первой декады апреля по первую декаду июля):

Информация	Апрель			Май			Июнь			Июль
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Среднедекадная температура воздуха, °C	3,4	7,1	10,9	14,0	16,2	17,4	18,9	19,9	21,3	21,4
Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—50 см	93	89	81	66	54	38	29	27	20	32
Число часов солнечного сияния (за средний день декады)	6,5	7,5	8,3	9,0	9,8	10,0	10,1	10,3	10,3	10,3
Количество дней в расчетных декадах	4	10	10	10	10	11	10	10	10	4

6. Среднеобластная густота стояния растений на 1 м² на дату весеннего обследования — 400 растений.

Густота стояния растений необходима для расчета начальных биомасс — массы листьев (m_{l_0}), массы стеблей (m_{s_0}), массы корней (m_{r_0}) и начальной площади листьев (L_{l_0}). Эти характеристики получают путем умножения соответствующих значений биомасс каждого органа среднего растения и площади листовой поверхности среднего растения (см. табл. 6.3) на густоту стояния:

$$m_{l_0} = 0,03 \cdot 400 = 12,000 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$m_{s_0} = 0,02 \cdot 400 = 8,000 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$m_{r_0} = 0,03 \cdot 400 = 12,000 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$L_{l_0} = 0,00054 \cdot 400 = 0,216 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-2}.$$

Среднеобластная информация за период вегетации 1977 г. — от даты возобновления вегетации по вторую декаду июня (включительно):

1. Дата возобновления вегетации озимой пшеницы в Волгоградской области в 1977 г. — 26 марта.

2. Агрометеорологическая информация по декадам вегетационного периода 1977 г. (с третьей декады марта по вторую декаду июня):

Информация	Март	Апрель			Май			Июнь	
	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Среднедекадная температура воздуха, °C	5,0	9,7	9,1	12,2	15,6	19,8	16,7	20,2	21,4

Информация	Март	Апрель			Май			Июнь	
	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—50 см	79	73	59	71	49	31	27	35	25
Число часов солнечного сияния (за средний день декады)	2,3	4,3	6,3	7,5	10,8	8,1	10,1	8,1	7,8
Количество дней в расчетных декадах	6	10	10	10	10	10	11	10	10

3. Среднеобластная густота стояния растений на 1 м² на дату весеннего обследования — 360 растений.

Начальные биомассы и площадь листовой поверхности:

$$m_{l_0} = 0,03 \cdot 360 = 10,800 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$m_{s_0} = 0,02 \cdot 360 = 7,200 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$m_{r_0} = 0,03 \cdot 360 = 10,800 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$L_{l_0} = 0,00054 \cdot 360 = 0,184 \text{ м}^2 \cdot \text{м}^{-2}.$$

4. Посевная площадь, занятая озимой пшеницей в 1977 г. в Волгоградской области, 597, 300 тыс. га.

5. Урожайность озимой пшеницы по годам:

Год	Урожайность, т/га	Год	Урожайность, т/га
1947	0,35	1962	1,90
1948	0,52	1963	0,50
1949	0,22	1964	1,20
1950	0,36	1965	1,13
1951	0,71	1966	1,76
1952	0,69	1967	1,31
1953	0,41	1968	1,79
1954	0,53	1969	0,96
1955	1,01	1970	2,54
1956	0,48	1971	1,60
1957	0,77	1972	1,24
1958	1,68	1973	2,38
1959	0,98	1974	2,00
1960	1,45	1975	0,94
1961	1,37	1976	2,68

Для счета на ЭВМ данная исходная информация дополняется параметрами модели, указанными в табл. 6.3. Все исходные данные кодируются согласно требованиям раздела 6.5.1, на бланке перфорирования (см. бланк перфорирования 2). С этого бланка набиваются перфокарты, которые присоединяют к программе

Бланк перфорирования 2

ЕС ЭМ ОТДЕЛ _____ ПРОГРАММА _____ ДАТА _____
 ФОРТРАН СОСТАВИЛ _____
 К-ВО П/К _____ К-ВО ЗН _____
 ОПЕРАТОР _____

МЕТКА	6	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
69	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
71	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
73	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
79	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Результаты счета на ЭВМ прогноза урожайности и суммарного падового сбора
озимой пшеницы в Волгоградской области на 20 июня 1977 г.

ВОЛГОГРАДСКАЯ 20 ИЮНЯ

ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА

30 16 2 46.41 597.700
0.35 0.52 0.22 0.36 0.71 0.69 0.41 0.53 1.01 0.40 0.77 1.60 0.98 1.45 1.37 1.90
0.50 1.20 1.13 1.76 1.31 1.79 0.96 2.54 1.60 1.24 2.38 2.00 0.94 2.68

СРЕДНЕГОДОСРЕДНИЕ ДАННЫЕ

10 18 7 2
93.0 89.0 81.0 66.0 54.0 38.0 29.0 27.0 20.0 32.0
3.4 7.1 10.9 14.0 16.2 17.4 18.9 19.9 21.3 21.4
6.5 7.5 8.3 9.0 9.8 10.0 10.1 10.3 10.3 10.3
4 10 10 10 10 11 10 10 10 4
12.000 8.000 12.000 0.216 0.0 93.000 210.000 210.000 210.000 250.000
250.000 520.000 200.000 0.500 0.500 50.000 0.200 0.300 0.200 0.180
11.0 13.0 15.0 16.0 17.0 18.0 19.0 20.0 20.0 20.0
1.00 1.00 0.95 0.95 0.90 0.90 0.85 0.85 0.80 0.80

DEK	CYT	ML	MS	NR	MP	N	LL	Q	TS1	TS2
1	4	12.129	8.149	12.083	0.0	32.000	0.219	334.818	1.000	4.000
2	14	14.199	10.426	13.348	0.0	32.360	0.260	379.304	2.100	25.000
3	24	21.036	16.917	16.954	0.0	37.973	0.397	422.258	5.900	84.000
4	34	40.226	33.002	25.890	0.0	54.907	0.781	459.471	9.000	174.000
5	44	71.352	71.966	47.536	1.074	99.118	1.403	497.455	14.000	280.000
6	55	81.909	122.767	75.759	23.982	191.928	1.614	512.074	12.400	422.399
7	65	74.618	112.608	69.189	90.049	304.416	0.902	522.439	13.000	561.390
8	75	66.678	97.886	60.138	126.656	347.056	0.294	531.753	14.000	710.397
9	85	58.915	83.807	51.409	157.224	351.559	0.001	531.992	16.200	873.395
10	89	56.154	78.956	48.500	167.806	351.434	0.001	530.692	16.400	918.994

DEK	CYT	FL	KSIFL	GANF	BL	BS	BR	BP	AFL	ARL
1	4	0.380	0.195	1.000	0.358	0.413	0.229	0.0	0.508	0.508
2	14	0.981	0.427	1.000	0.369	0.406	0.225	0.0	0.552	0.552
3	24	2.591	0.721	1.000	0.404	0.383	0.213	0.0	0.693	0.693
4	34	6.918	0.952	0.985	0.434	0.364	0.202	0.0	0.904	0.904
5	44	14.754	1.007	0.927	0.535	0.420	0.233	0.012	0.974	0.974
6	55	15.189	1.009	0.753	0.156	0.452	0.251	0.142	0.096	0.696
7	65	6.915	1.003	0.646	0.020	0.115	0.064	0.802	0.280	0.280
8	75	0.774	1.002	0.611	0.002	0.010	0.010	0.970	0.000	0.000
9	85	0.016	0.927	0.504	0.000	0.007	0.004	0.989	0.000	0.000
10	89	0.000	0.918	0.725	0.000	0.004	0.002	0.994	0.000	0.000

ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ ГОД

11 6 26 1
79.0 73.0 59.0 71.0 49.0 31.0 27.0 35.0 25.0 20.0 32.0
5.0 9.7 9.1 12.2 15.6 19.0 16.7 20.2 21.4 21.3 21.4
2.3 4.3 6.3 7.5 10.0 8.1 10.1 8.1 7.8 10.3 10.3
6 10 10 10 10 11 10 10 10 4
10.000 7.200 10.000 0.194 0.0 93.000 210.000 210.000 210.000 250.000
250.000 520.000 200.000 0.500 0.500 50.000 0.200 0.300 0.200 0.180
11.0 13.0 15.0 16.0 17.0 18.0 19.0 20.0 20.0 20.0 20.0
1.00 1.00 0.95 0.95 0.90 0.90 0.85 0.85 0.80 0.80 0.80

DEK	CYT	ML	MS	HR	MP	M	LL	Q	T31	T32
1	6	11.215	7.083	11.066	0.0	28.800	0.202	200.099	0.0	0.0
2	16	15.112	11.789	13.350	0.0	29.967	0.200	266.629	4.700	47.000
3	26	19.360	15.719	15.333	0.0	40.251	0.365	343.095	4.100	80.000
4	36	32.795	26.891	21.739	0.0	50.620	0.634	397.680	7.200	160.000
5	46	57.804	55.159	37.433	0.588	81.425	1.156	520.214	10.600	266.000
6	56	67.940	81.096	51.853	6.710	151.044	1.337	441.855	14.800	413.998
7	67	62.692	77.490	49.078	58.454	207.607	0.882	516.366	11.700	542.697
8	77	59.902	67.253	42.582	39.100	247.713	0.293	456.396	15.200	694.697
9	87	49.353	57.521	36.420	111.529	254.843	0.001	449.735	16.100	858.696
10	97	43.607	49.248	31.182	130.775	254.824	0.001	531.992	10.300	1021.694
11	101	41.564	46.398	29.377	137.473	254.812	0.001	550.092	16.400	1007.293
ТЕНДЕНЦИЯ Т/ГА 2.95 ОЦЕНКА X 81.9 ПРОГНОЗ Т/ГА 1.68 ВАЛ ТМС, Т. 1003.60										
DEK	CYT	FL	KSIFL	GAMF	BL	BS	BR	BP	AFL	ARL
1	6	0.477	0.314	1.000	0.356	0.414	0.230	0.0	0.500	0.500
2	16	1.546	0.750	1.000	0.379	0.399	0.222	0.0	0.587	0.587
3	26	1.861	0.517	0.942	0.410	0.379	0.211	0.0	0.733	0.733
4	36	5.015	0.784	1.000	0.436	0.363	0.201	0.0	0.894	0.894
5	46	11.272	0.991	0.882	0.360	0.406	0.225	0.008	0.985	0.985
6	56	9.217	0.856	0.650	0.178	0.459	0.255	0.108	0.735	0.735
7	67	5.077	0.956	0.611	0.025	0.140	0.078	0.758	0.316	0.316
8	77	1.010	0.994	0.740	0.002	0.022	0.012	0.964	0.074	0.074
9	87	0.027	0.918	0.004	0.000	0.007	0.004	0.988	0.007	0.007
10	97	0.000	0.927	0.504	0.000	0.004	0.002	0.994	0.000	0.000
11	101	0.000	0.918	0.725	0.000	0.002	0.001	0.997	0.000	0.000
ТЕНДЕНЦИЯ Т/ГА 2.95 ОЦЕНКА X 81.9 ПРОГНОЗ Т/ГА 1.68 ВАЛ ТМС, Т. 1003.60										

счета табл. 6.9. Затем приводится счет на ЭВМ типа ЕС. Результаты счета представлены далее. Порядок и расшифровку исходных данных см. в разделе 6.5.2.

В результате счета прогнозируемая урожайность озимой пшеницы в 1977 г. в Волгоградской области составила 1,68 т/га, а валовый сбор 1003,60 тыс. т.

Глава 7

Метод агрометеорологического прогноза урожайности картофеля (сочетание применения ЭВМ и малой вычислительной техники)

7.1. Основные принципы

Изложенные в главе 6 настоящей книги динамико-статистические методы прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и культуры картофеля, реализуются с помощью ЭВМ типа ЕС. Вместе с тем представляет интерес разработать такой вариант динамико-статистического метода прогноза, который мог бы быть реализован не только с помощью ЭВМ, но и с применением малой вычислительной техники.

Подобный вариант впервые был предложен нами в [138] применительно к культуре картофеля и в [137] для озимых зерновых культур. В этом варианте расчеты по модели могут быть осуществлены независимо на ЭВМ и одновременно с помощью малой вычислительной техники (или персонального компьютера). Для упрощения и ускорения расчетов получены вспомогательные таблицы и номограммы, описана процедура расчетов. Предложенные методы [137, 138] представляют интерес не только с точки зрения их применения в качестве методов прогнозов продуктивности конкретных сельскохозяйственных культур, но и как учебный материал, в котором в доступной и ясной форме, последовательно, на примере расчета раскрыта сущность модели продуктивности растений.

Следует отметить, что в зарубежной литературе несколько позже также появились работы, в которых приведено описание в прикладном варианте модели формирования урожая, в частности сорго [227], которая реализуется с помощью персонального компьютера.

Применительно к культуре картофеля предложены различные варианты моделей (их анализ приведен в [132]), несколько отличающиеся от предложенного нами ранее [128].

Остановимся более подробно на рассмотрении предлагаемого нами метода прогноза урожая картофеля.

7.2. Основы метода агрометеорологического прогноза среднеобластной урожайности картофеля с использованием декадной агрометеорологической информации

Предлагаемый метод прогноза среднеобластной урожайности картофеля основан на сочетании двух прогнозов: прогноза тенденции урожайности картофеля за ряд лет по методу гармонических весов и прогноза отклонений урожайности конкретного года от тенденции, которые определяются с помощью метода оценки агрометеорологических условий формирования урожая [132, 138].

7.2.1. Основы метода подекадной оценки агрометеорологических условий формирования урожая картофеля на конкретной станции

7.2.1.1. Оценка агрометеорологических условий формирования урожая картофеля на конкретной станции в прогнозируемом году

Оценка условий произрастания картофеля осуществляется дважды: со времени всходов до 30 июня и 31 июля.

Для оценки степени влияния агрометеорологических условий вегетационного периода на формирование урожая картофеля необходимо:

1) рассчитать динамику формирования урожая сухой биомассы картофеля при средних многолетних агрометеорологических условиях по предложенной модели;

2) рассчитать динамику формирования урожая сухой биомассы картофеля в текущем году; за период от всходов до момента проведения расчетов (соответственно до 30 июня и 31 июля) используются фактические данные, за остальную часть вегетационного периода (до увядания ботвы) — среднемноголетние;

3) сопоставить рассчитанный по фактическим данным рассматриваемого периода урожай с урожаем, рассчитанным по среднемноголетним данным.

Для оценки агрометеорологических условий формирования урожая принята формула

$$C = \frac{\hat{m}_p}{\bar{m}_p} \cdot 100, \quad (7.1)$$

где C — оценка агрометеорологических условий формирования урожая за рассматриваемый период, %; $\hat{m}_p$ — урожай сухой биомассы клубней картофеля, рассчитанный по фактическим данным за рассматриваемый период, г · м⁻²; $\bar{m}_p$ — урожай сухой биомассы клубней картофеля, рассчитанный по средним многолетним данным, г · м⁻².

Для выполнения расчетов по модели необходимы следующие данные по каждой станции:

1) φ — географическая широта станции (в градусах с десятичными);

2) механический состав почвы с подразделением на супесчаный или суглинистый;

3) $W_{\text{пв}}$ — наименьшая влагоемкость полуметрового слоя почвы;

4) дата появления всходов картофеля, по которой устанавливается число дней в первой расчетной декаде и количество дней от 20 марта до дня появления всходов;

5) дата увядания ботвы картофеля, по которой устанавливается число дней в последней расчетной декаде вегетационного периода;

6) следующая информация за установленный вегетационный период по расчетным декадам:

n — количество дней в расчетных декадах,

TS_1 — средняя суточная температура воздуха в расчетных декадах,

T_{max} — средняя максимальная температура воздуха в расчетных декадах,

S — среднее число часов солнечного сияния в расчетных декадах,

W — запасы продуктивной влаги (мм) в полуметровом слое почвы в расчетных декадах,

7) d — густота стояния растений картофеля на 1 м², необходимая для определения начальных биомасс отдельных органов (г · м⁻²) и площади листьев (м² · м⁻²) картофеля на декаду всходов:

массы листьев $m_l^0 = 0,523d$;

массы стеблей $m_s^0 = 0,158d$;

массы корней $m_r^0 = 0,6d$;

массы сухих веществ в материнском клубне $M_c = 17,5d$; площади листовой поверхности $L^0 = 0,0137d$.

Кроме указанной исходной информации, необходимы входные параметры, которые описаны в разделе 7.2.1.2, а для счета указаны в разделе 7.3.2.1. Входные параметры модели для нечерноземной зоны РСФСР, Белоруссии и республик Прибалтики различные, поэтому они даны отдельно, так же как и в программе счета (см. раздел 7.3.2.1.).

7.2.1.2. Динамическая модель формирования урожая сухой биомассы картофеля

Основная роль в формировании урожая картофеля принадлежит фотосинтезу листьев. Для расчета интенсивности фотосинтеза посева картофеля в расчетной декаде используется формула [277]

$$\Phi_0' = kb l_{\text{п. ф}}^I / (k + b l_{\text{п. ф}}^I), \quad (7.2)$$

где Φ_0 — интенсивность фотосинтеза при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности и реальных условиях освещенности,

мг $\text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; $k=28$ — интенсивность фотосинтеза при световом насыщении и нормальной концентрации CO_2 , мг $\text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \times \text{ч}^{-1}$; $b=300$ — начальный наклон световой кривой, мг $\text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \times \text{ч}^{-1} / (\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1})$; $I_{\text{п. ф}}$ — поглощенная посевами ФАР, кал $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$; j — номер расчетной декады.

Поглощенная посевами ФАР в расчетной декаде вычисляется по формуле [164]

$$I_{\text{п. ф}}^j = I_0^j / (1 + cL^j), \quad (7.3)$$

где I_0 — интенсивность ФАР на верхней границе посева в расчетной декаде, кал $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$; $c=0,5$ — эмпирическая постоянная; L — площадь листовой поверхности в расчетной декаде, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$. Поток ФАР на верхнюю границу посева определяется по формуле

$$I_0^j = 0,5Q^j / 60\tau_d, \quad (7.4)$$

где Q — суммарная солнечная радиация в расчетной декаде, кал $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; τ_d — средняя продолжительность дня в расчетной декаде, ч.

Суммарная солнечная радиация рассчитывается по формуле Сивкова [180]

$$Q^j = 12,66(S^j)^{1,31} + 315(\sin h_n^j)^{2,1}, \quad (7.5)$$

где S — средняя продолжительность солнечного сияния в расчетной декаде, ч; h_n — полуденная высота Солнца, которая определяется по формуле

$$\sin h_n^j = A^j + B^j, \quad (7.6)$$

здесь $A = \sin \varphi \cdot \sin \delta$; $B = \cos \varphi \cdot \cos \delta$; φ — географическая широта станции; δ — склонение Солнца.

Таблица склонений Солнца для весенних и летних месяцев аппроксимирована [2] полиномом

$$\delta = [0,473(t_0 + j) - 0,196 \cdot 10^{-2}(t_0 + j) - 0,407 \cdot 10^{-5}(t_0 + j)^3 - 0,616] \cdot 0,017453, \quad (7.7)$$

где t_0 — число дней от 20 марта до дня появления всходов картофеля; j — номер дня расчетного периода (только для этой формулы).

Склонение Солнца вычисляется за каждый j -й день и осредняется за расчетную декаду. Продолжительность дня τ_d (ч) определяется по формулам

$$\tau_d = \tau_3 - \tau_6, \quad (7.8)$$

$$\tau_3 = 12 + \frac{12}{\pi} \arccos\left(-\frac{A^j}{B^j}\right), \quad (7.9)$$

$$\tau_6 = 24 - \tau_3, \quad (7.10)$$

где τ_6 и τ_3 — время восхода и захода Солнца соответственно.

Интенсивность фотосинтеза в реальных условиях среды, отличных от биологически оптимальных, определяется по формуле

$$\Phi_t^j = \Phi(\alpha_{\text{ф}}^j \psi_{\text{ф}}^j \gamma_{\text{ф}}^j), \quad (7.11)$$

где Φ_t — интенсивность фотосинтеза в реальных условиях среды, мг $\text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; $\alpha_{\text{ф}}$ — онтогенетическая кривая фотосинтеза; $\psi_{\text{ф}}$, $\gamma_{\text{ф}}$ — функции воздействия температуры воздуха и влажности почвы на фотосинтез, представляющие собой одновершинные кривые, аппроксимированные следующими выражениями:

$$\psi_{\text{ф}}^j = e^{-1,6867\left(\frac{T_{\text{д}}^j - 22}{10}\right)^2}, \quad (7.12)$$

$$\gamma_{\text{ф}}^j = 4,2e^{\frac{-0,703W}{W_{\text{нв}}}} - 5,48e^{\frac{-1,648W}{W_{\text{нв}}}} \quad \text{при } W_{\text{нв}} \leq 85 \text{ мм}$$

и

$$\gamma_{\text{ф}}^j = 2,899e^{\frac{-0,9117W}{W_{\text{нв}}}} - 3,64e^{\frac{-2,73W}{W_{\text{нв}}}} \quad \text{при } W_{\text{нв}} > 85 \text{ мм}, \quad (7.13)$$

где $T_{\text{д}}$ — средняя дневная температура воздуха за декаду, $^{\circ}\text{C}$; W — запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы за декаду, мм; $W_{\text{нв}}$ — наименьшая влагоемкость полуметрового слоя почвы, мм.

Средняя за светлое время суток температура воздуха в расчетной декаде рассчитывается по формулам: для мая $T_{\text{д}} = 0,856T_{\text{max}} - 1,008$, июня $T_{\text{д}} = 0,891T_{\text{max}} - 1,081$, июля $T_{\text{д}} = 0,823T_{\text{max}} + 0,559$, августа и сентября $T_{\text{д}} = 0,823T_{\text{max}} - 0,686$, где T_{max} — средняя максимальная температура воздуха в расчетной декаде.

Кривая сезонного хода фотосинтеза листьев $\alpha_{\text{ф}}$ вычисляется по выражению

$$\alpha_{\text{ф}}^j = e^{-a\left(\frac{TS2 - t_{\text{ф}}^j}{10}\right)^2}, \quad (7.14)$$

в котором параметр a находится по формуле

$$a = -100 \ln 0,75 / (t_{\text{ф}}^j)^2, \quad (7.15)$$

где $TS2$ — сумма средних суточных температур в расчетной декаде с начала вегетационного периода нарастающим итогом, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ф}}^j$ — оптимальная сумма температур для фотосинтеза листьев, $^{\circ}\text{C}$.

Для двух различных регионов, которыми являются нечерноземная зона РСФСР и республики Прибалтики и Белоруссия, установлены разные оптимальные суммы температур для фотосинтеза листьев. Для нечерноземной зоны РСФСР эта сумма равняется 550°C , а для республик Прибалтики и Белоруссии 500°C .

Функции α_Φ , ψ_Φ , γ_Φ , входящие в соотношение (7.11), нормированы и изменяются от 0 до 1. Кривые, характеризующие фотосинтез, а также влияние температуры воздуха и влажности почвы на фотосинтез, представлены на рис. 7.1—7.3.

Суммарный фотосинтез посева за светлое время суток рассчитывается по формуле

$$\Phi' = 0,1 \varepsilon \Phi_i L' \tau_d, \quad (7.16)$$

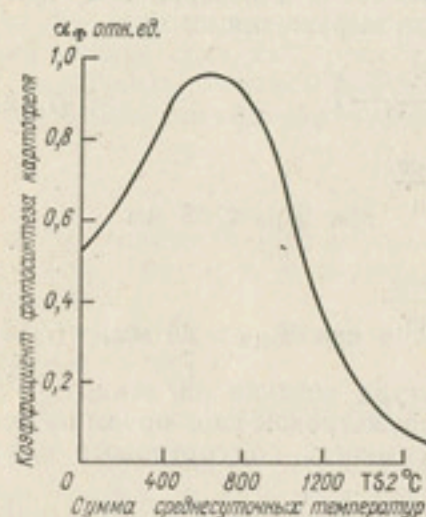


Рис. 7.1. Онтогенетическая кривая фотосинтеза картофеля.

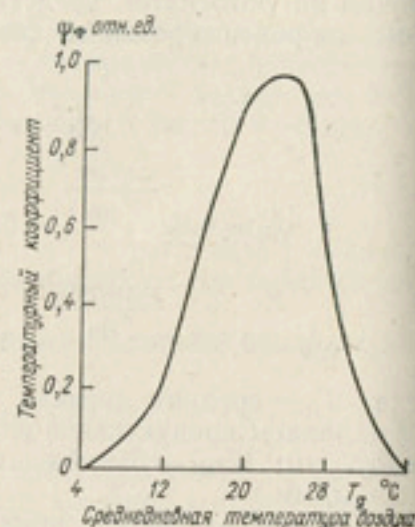


Рис. 7.2. Температурная кривая фотосинтеза картофеля.

где Φ — дневной фотосинтез растений на единицу площади, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; $\varepsilon = 0,68$ — коэффициент эффективности фотосинтеза; L — площадь листовой поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; τ_d — средняя продолжительность дня в расчетной декаде, ч.

Дополнительным (к ассимиляции CO_2) источником органических веществ у картофельного растения является материнский клубень. Органическое вещество клубня — это не только строительный материал для создания молодых органов растения — корней, стеблей и листьев, но и источник энергии, необходимой для превращения веществ и процессов роста. В онтогенезе только небольшая часть веществ материнского клубня расходуется в период прорастания, основная же масса их используется растением в процессе вегетации. Переток запасных питательных веществ материнского клубня в органы молодого растения рассчитывается по формуле

$$\Delta m_c' = \eta' M_c, \quad (7.17)$$

где Δm_c — переток сухих веществ из материнского клубня, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \times \text{сут}^{-1}$; η — коэффициент, характеризующий скорость перетока;

M_c — запасы питательных веществ в материнском клубне при посадке, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$.

Скорость перетока сухих веществ из материнского клубня в органы молодого растения определяется по формуле

$$\eta = \frac{0,035}{0,009 T_{ср}^2 + 1} \quad (7.18)$$

и представлена на рис. 7.4.

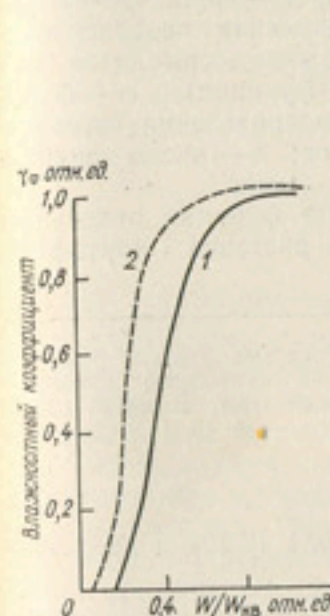


Рис. 7.3. Влажностные кривые фотосинтеза картофеля для супесчаных (1) и суглинистых (2) почв.

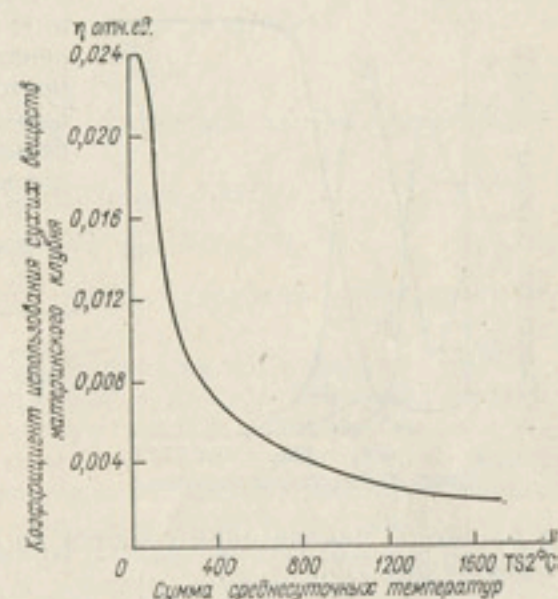


Рис. 7.4. Кривая использования сухих веществ материнского клубня.

Суточный прирост сухой биомассы посева картофеля в расчетной декаде ΔM ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) определяется суммой дневного фотосинтеза посева и перетока сухих веществ из материнского клубня минус дыхание:

$$\Delta M' = (\Phi' + \Delta m_c') - \alpha_R' (c_1 M' + c_2 \Phi'), \quad (7.19)$$

где α_R — онтогенетическая кривая дыхания, вычисляемая аналогично кривой фотосинтеза (7.14), только с учетом оптимальной температуры $t_{l \text{ opt}}$ для сезонного хода дыхания; M — сухая биомасса посева на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$; $c_1 = 0,01$ — коэффициент, характеризующий затраты на поддержание структуры $\text{г} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$; $c_2 = 0,255$ — коэффициент дыхания роста, безразмерный.

Для описания роста отдельных органов растений картофеля в расчетной декаде используются предложенные в работе [163] ростовые уравнения в модифицированном [20] виде

$$m_i^{j+1} = m_i^j + (\beta_i^j \Delta M^j - \omega_i^j m_i^j) n, \quad i \in l, s, r, \quad (7.20)$$

$$m_p^{j+1} = m_p^j + \left(\beta_p^j \Delta M^j + \sum_{i=l, s, r} \omega_i^j m_i^j \right) n, \quad (7.21)$$

где m — сухая биомасса отдельных органов, $г \cdot м^{-2}$ (l — листья, s — стебли, r — корни, p — клубни); β — функции перераспределения «свежих» ассимилятов (или ростовые функции); ω — функции перераспределения «старых» ассимилятов; n — число дней в расчетной декаде.

Ростовые функции отдельных органов растения картофеля

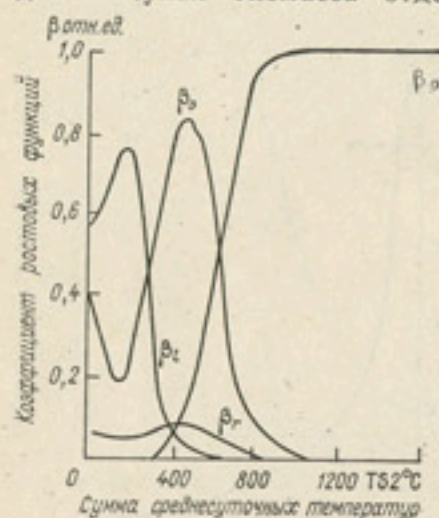


Рис. 7.5. Ростовые функции отдельных органов картофеля: клубней (β_p), стеблей (β_s), листьев (β_l), корней (β_r).

в расчетной декаде определяются по формуле (7.22) и представлены на рис. 7.5:

$$\beta_i^j = \theta_i^j / \sum_i \theta_i^j, \quad (7.22)$$

где

$$\theta_i^j = \frac{4,6052 \cdot 10 \cdot \frac{2(t_{i, \text{opt}}^2 - TS2)}{t_{i, \text{opt}}^2}}{t_{i, \text{opt}}^2 \left(1 + 10 \cdot \frac{2(t_{i, \text{opt}}^2 - TS2)}{t_{i, \text{opt}}^2} \right)^2} c_i, \quad i \in l, s, r, p, \quad (7.23)$$

где $t_{i, \text{opt}}^2$ — оптимальная сумма температур для роста отдельных органов растения; c_i — коэффициент соотношения различных органов в растении.

Для территории Нечерноземья коэффициенты соотношения листьев и стеблей в формуле (7.23) равняются $c_l = 0,2$, $c_s = 0,26$; а для республик Прибалтики и Белоруссии $c_l = 0,3$, $c_s = 0,16$.

Прирост массы клубней Δm_p рассчитывается от температуры начала клубнеобразования, до этого $\Delta m_p = 0$.

Перераспределение «старых» ассимилятов ω из листьев, стеблей и корней в клубни начинается с момента завершения роста каждого из этих органов:

$$\omega_i^j = \frac{0,3TS1^j}{(2t_{p, \text{opt}}^2 - t_p^j) - 2t_{i, \text{opt}}^2}, \quad (7.24)$$

где $TS1$ — средняя суточная температура воздуха за декаду; $t_{p, \text{opt}}^2$ — оптимальная сумма температур для роста клубней; t_p — сумма средних суточных температур, с накопления которой начинается клубнеобразование.

Масса всего растения за расчетную декаду равна

$$M^j = m_l^j + m_s^j + m_r^j + m_p^j. \quad (7.25)$$

Рост площади листьев посева в расчетной декаде определяется по формуле

$$L^{j+1} = L^j + \Delta M_l^j / 0,3z \text{ при } \Delta M_l^j < 0, \\ L^{j+1} = L^j + \Delta M_l^j / z \text{ при } \Delta M_l^j \geq 0, \quad (7.26)$$

где $\Delta M_l^j = (\beta_l^j \Delta M^j - \omega_l^j m_l^j) n$; $z = 55$ — удельная поверхностная плотность листьев, $г \cdot м^{-2}$.

Таким образом рассчитывается рост массы отдельных органов и листовой поверхности картофеля в каждой расчетной декаде. Полученные за первую расчетную декаду значения m_l , m_s , m_r , L , M используются как начальные для расчета во второй декаде вегетационного периода, а значения, полученные во второй декаде, используются для третьей и так до последней расчетной декады. При счете по среднесуточным данным последней расчетной декады принимается декада, в которую отмечена средняя многолетняя дата увядания ботвы картофеля, а при счете в текущем году последней принимается декада, в которой сумма эффективных температур $TS2$ достигает 1650°C .

Для оценки агрометеорологических условий формирования урожая картофеля используется величина биомассы клубней m_p , получаемая в последней расчетной декаде. Согласно модели, размерность m_p $г \cdot м^{-2}$. Для перевода сухой биомассы клубней из $г \cdot м^{-2}$ в урожай сырой биомассы в ц/га надо массу клубней последней расчетной декады m_p ($г \cdot м^{-2}$) умножить на 0,4.

7.2.2. Прогноз среднеобластной урожайности картофеля

7.2.2.1. Прогнозирование тенденции урожайности по методу гармонических весов

Основная идея метода гармонических весов состоит в следующем: наблюдения временного ряда взвешиваются так, чтобы более поздним наблюдениям придавались большие веса, т. е. влияние более поздних наблюдений должно сильнее отражаться на прогнозируемой оценке, чем влияние более ранних.

Существо этого метода изложено в разделе 6.3.2.1.

При расчете тенденции урожайности картофеля на прогнозируемый год необходимо учитывать, что временной непрерывный интервал, в котором рассматривается среднеобластная урожайность сельскохозяйственной культуры, должен содержать не менее 18 лет. При этом условии число лет, образующих одну фазу скользящего тренда k , должно равняться 16 ($k=16$). В разделе 7.4 приведен пример расчета тенденции среднеобластной урожайности для ряда в 18 лет при $k=5$.

7.2.2.2. Среднеобластная оценка агрометеорологических условий формирования урожая картофеля в прогнозируемом году

Согласно требованиям 7.2.1.1, для каждой конкретной станции области в прогнозируемом году оценка (%) условий произрастания картофеля проводится дважды: со времени всходов до 30 июня и до 31 июля.

Рассмотрим получение среднеобластной оценки агрометеорологических условий формирования урожая со времени всходов до 30 июня.

После получения оценок по каждой станции все станции группируются по их расположению в сельскохозяйственных микрорайонах области и устанавливается площадь микрорайона в процентах от общей площади области, по [83].

Из оценок условий произрастания картофеля по отдельным станциям микрорайона выводится средняя оценка для данного микрорайона. Средняя по области оценка условий формирования урожая картофеля $C_{обл}$ (%) рассчитывается как средневзвешенная с учетом процента площадей, занятых каждым сельскохозяйственным микрорайоном. Для получения средневзвешенного значения средние оценки по микрорайонам умножаются на процент площади, занимаемой конкретным микрорайоном.

В случае если область представлена всеми входящими в нее сельскохозяйственными микрорайонами, суммы всех произведений складываются и делятся на 100. Если какой-либо сельскохозяйственный микрорайон в области не освещен данными, сумма произведений делится на сумму процентов площадей тех микрорайонов, данные по которым брались при расчете.

Аналогично вычисляется среднеобластная оценка агрометеорологических условий формирования урожая с момента всходов до 31 июля.

Результаты оценки оказываются более надежными, если средняя по области оценка $C_{обл}$ (%) рассчитывается как средневзвешенная с учетом процента площадей, занятых картофелем в каждом сельскохозяйственном микрорайоне. Для получения средневзвешенного значения средние оценки по микрорайонам умножаются на процент площади, занятой картофелем в этом районе. И среднеобластная оценка вычисляется путем деления суммы полученных произведений на сумму процентов площадей, занятых картофелем.

7.2.2.3. Составление прогноза среднеобластной урожайности картофеля

Прогноз урожайности картофеля составляется дважды: первый — 30 июня, второй — 31 июля.

Прогнозируемая среднеобластная урожайность картофеля $Y_{п}$ вычисляется по выражению

$$Y_{п} = 0,01 Y_{t+1} C_{обл}, \quad (7.27)$$

где Y_{t+1} — тенденция среднеобластной урожайности на прогнозируемый год, ц/га; $C_{обл}$ — среднеобластная оценка агрометеорологических условий формирования урожайности картофеля в прогнозируемом году, %.

7.3. О методике прогноза среднеобластной урожайности картофеля с использованием декадной агрометеорологической информации

7.3.1. Расчет тенденции среднеобластной урожайности картофеля на прогнозируемый год по методу гармонических весов на ЭВМ типа ЕС

7.3.1.1. Подготовка входных данных для расчета тенденции среднеобластной урожайности в прогнозируемом году

Входные данные состоят из:

1) информационной карты, включающей в себя два числа: первое число — длина временного ряда (не менее 18 лет) — число целое, кодируется в трех позициях; второе число — количество точек одной фазы скользящего тренда ($k=16$) — число целое, кодируется в трех позициях;

2) карт временного ряда урожайности за все годы. Урожайность кодируется целыми числами по 18 чисел на карте. Каждое число кодируется в четырех позициях.

Пояснения символов листинга программы:

Символ печати (обозначения на ФОРТРАНе)	Обозначения, принятые при описании метода гармонических весов (см. раздел 6.3.2.1)	Символ печати (обозначения на ФОРТРАНе)	Обозначения, принятые при описании метода гармонических весов (см. раздел 6.3.2.1)
Y (I)	$y(t)$	M	m_{t+1}
K	k	C	C_{t+1}^n
VES (I)	q_i	W	ω_{t+1}
YR (I)	$\hat{y}_I(t)$	WS	$\tilde{\omega}_{t+1}$
YB (I)	$y_I(t) = a_I + b_I t$	YR	y_{t+1}

Программа для прогнозирования тенденции урожайности по одному временному ряду приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Программа счета тенденции среднеобластной урожайности картофеля на прогнозируемый год

```

0001      C      МЕТОД ГАРМОНИЧЕСКИХ ВЕСОВ
0002      DIMENSION YR(50),VES(50),Y(50)
0003      COMMON X(50),Y1(20),YB(20)
0004      REAL M
0005      INTEGER A,X,Y,Y1,X1,VES
0006      KB=100
0007      DO 11 L=1,KB
0008      READ(5,105) N,K
0009      READ(5,106) (Y(I),I=1,N)
0010      WRITE(6,106) (Y(J),J=1,N)
0011      A=1
0012      DO 4 I=1,N
0013      YR(I)=0
0014      4 VES(I)=0
0015      N1=N-K+1
0016      DO 5 J=1,N1
0017      X1=A
0018      X2=0
0019      K1=A
0020      DO 7 I=1,X
0021      X1=X1+X2
0022      X2=1
0023      X(I)=X1
0024      Y1(I)=Y(K1)
0025      7 K1=K1+1
0026      CALL OPT(K)
0027      K2=1
0028      K3=K-1+A
0029      DO 10 I=A,K3
0030      YR(I)=YR(I)+YB(K2)
0031      VES(I)=VES(I)+1
0032      10 K2=K2+1
0033      5 A=A+1
0034      DO 8 I=1,N
0035      YR(I)=YR(I)/VES(I)
0036      WRITE(6,101) (YR(J),J=1,N)
0037      B=1
0038      M=0
0039      N2=N-1
0040      DO 9 I=1,N2
0041      M=YR(I+1)-YR(I)
0042      M=M+1/(N-B)
0043      C=M/(N-1)
0044      WS=VS+C*M
0045      9 B=B+1
0046      Y2=YR(N)+WS
0047      WRITE(6,103) WS,Y2
0048      101 FORMAT(4X,10F10.5)
0049      103 FORMAT(4X,3HWS=,F11.7,3HYR=,F10.5)
0050      105 FORMAT(2I3)
0051      106 FORMAT(18I4)
0052      11 CONTINUE
0053      END

```

```

0001      SUBROUTINE OPT(K)
0002      COMMON X(50),Y1(20),YB(20)
0003      INTEGER X,Y1
0004      S1=0
0005      S2=0
0006      S3=0
0007      S4=0
0008      S5=0
0009      DO 1 I=1,K
0010      S1=S1+X(I)
0011      S2=S2+Y1(I)
0012      S3=S3/K
0013      S4=S4/K
0014      DO 2 I=1,K
0015      R1=X(I)-S1
0016      R2=Y1(I)-S2
0017      S3=S3+R1**2
0018      S4=S4+R2**2
0019      S5=S5+R1*R2
0020      RM=S5/SQRT(S3*S4)
0021      DO 3 I=1,K
0022      R=RM*SQRT(S4/K)/SQRT(S3/K)
0023      YB(I)=R*(X(I)-S1)+S2
0024      RETURN
0025      END

```

7.3.1.2. Выходные данные результата счета по программе
На АЦПУ выводятся:

№ 20 K=16

86.0116	8118.0115	83.0104	96.8	91.8	69.0122	87.0	89.0101	872.0
89.0117	8129.0117	8133.0140	8125.0128	8124.0	88.0			
110.72794	189.43301	106.04849	102.06398	98.52935	96.42642	94.50387	93.34991	92.91885
94.68186	95.03405	96.08692	98.13985	99.29283	100.44572	103.32101	107.15169	111.14478
118.37244	121.08547	123.08669	125.30533	124.68527	121.38969			
WS= 0.9375017				YR= 122.32727				

1. $y(t)$ — заданный временной ряд фактической урожайности.

3. WS — средние значения приростов (ω_{t+1}).

2. $y_1(t)$ — средние значения скользящего тренда.

4. YR — тенденция урожая на прогнозируемый год.

7.3.2. Расчет динамики формирования урожая сухой биомассы картофеля по декадам на конкретной станции

7.3.2.1. Подготовка входных данных для расчета динамики формирования урожая сухой биомассы картофеля по декадам на ЭВМ типа ЕС

Согласно требованиям 7.2.2.1, по каждой станции подготавливается исходная информация, которая кодируется в следующем порядке:

1. Информационная карта — состоит из пяти чисел:
 - первое число — количество расчетных декад. Число — целое, записывается в трех позициях;
 - второе число — количество дней от 20 марта до дня всходов. Число — целое, записывается в трех позициях;
 - третье число — дата появления всходов. Число — целое, записывается в трех позициях;
 - четвертое число — месяц появления всходов: май — 1, июнь — 2, июль — 3;
 - пятое число — широта местоположения станции. Записывается десятичным числом с двумя десятичными знаками в шести позициях.
2. Карта массива средних максимальных температур воздуха в расчетных декадах. Каждое число записывается в пяти позициях с одним знаком после запятой.
3. Карта массива влагозапасов (мм) в слое почвы 0—50 см в расчетных декадах. Каждое число записывается в пяти позициях с одним десятичным знаком.
4. Карта массива среднесуточных температур воздуха в расчетных декадах. Каждое число записывается в пяти позициях с одним десятичным знаком.
5. Карта массива, носящая информацию о количестве дней в расчетных декадах. Каждое число записывается целым в трех позициях.
6. Пять карт массива нулевых значений и других констант содержат 34 числа. Каждое число кодируется в десяти позициях с четырьмя десятичными знаками. Числа кодируются в следующем порядке:

Первая карта

- 1) m_l^0 — начальная масса листьев, $г \cdot м^{-2}$,
- 2) m_s^0 — начальная масса стеблей, $г \cdot м^{-2}$,
- 3) m_r^0 — начальная масса корней, $г \cdot м^{-2}$,
- 4) m_p^0 — начальная масса клубней, всегда задается равной нулю,
- 5) L^0 — начальная площадь листьев, $м^2 \cdot м^{-2}$,
- 6) M_c — масса сухих веществ в материнском клубне, $г \cdot м^{-2}$,
- 7) $W_{нв}$ — наименьшая влагоемкость (мм) в слое почвы 0—50 см,
- 8) 0.

Вторая карта

- 9) $t'_{l \text{ opt}}$ — оптимальная сумма температур для фотосинтеза листьев, равная для нечерноземной зоны РСФСР 550°C , а для Белоруссии и республик Прибалтики 500°C ,
- 10) 0,
- 11) 1000 — оптимальная сумма температур для перетока сухих веществ из материнского клубня,
- 12) $t_{l \text{ opt}}$ — оптимальная сумма температур для сезонного хода дыхания картофеля, равная 112°C ,
- 13) 0,
- 14) 0,
- 15) 0,
- 16) $t_{l \text{ opt}}^2$ — оптимальная сумма температур для роста листьев картофеля, равная 225°C .

Третья карта

- 17) $t_{s \text{ opt}}^2$ — оптимальная сумма температур для роста стеблей картофеля, равная 400°C ,
- 18) $t_{r \text{ opt}}^2$ — оптимальная сумма температур для роста корней картофеля, равная 325°C ,
- 19) $t_{p \text{ opt}}^2$ — оптимальная сумма температур для роста клубней, равная 1050°C ,
- 20) t_p — сумма среднесуточных температур воздуха, с которой начинается клубнеобразование, равная 450°C ,
- 21) 0,5 — начало кривой фотосинтеза,
- 22) 0,5 — начало кривой дыхания,
- 23) 0,
- 24) 0.

Четвертая карта

- 25) 0,
- 26) 0,
- 27) 0,0350 — начало кривой перетока сухих веществ из материнского клубня,
- 28) 0,0035 — коэффициент использования сухих веществ материнского клубня при $TS2 = 1000$,
- 29) 0,
- 30) 0,
- 31) 0,
- 32) 0.

Пятая карта

- 33) 2,0 — коэффициент ростовых функций,
- 34) 0.
7. Карта массива числа часов солнечного сияния в расчетных декадах (среднее за один день декады). Каждое число записывается в пяти позициях с одним десятичным знаком.

Программа динамической модели формирования урожая картофеля, реализуемая на основе декадной агрометеорологической информации, представлена в табл. 7.2

Таблица 7.2

Программа декадного варианта динамической модели формирования урожая сухой биомассы картофеля

```

C      ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ КАРТОФЕЛЯ
C      ДЕКАДНЫЙ ВАРИАНТ
0001  COMMON TMAX(15),W0(15),SS(15),P(15),PN(15),INF(50),TS(15),DV(15)
0002  COMMON M,T0,N1,N2,F1
0003  REAL INF
0004  INTEGER T0,DV
0005  KB=100
0006  DO 30 J=1,KB
0007  READ (5,100) N,T0,N1,N2,F1
0008  READ (5,102) (TMAX(J),J=1,N)
0009  READ (5,102) (W0(J),J=1,N)
0010  READ (5,102) (TS(J),J=1,N)
0011  READ (5,115) (DV(J),J=1,N)
0012  READ (5,104) (INF(J),J=1,34)
0013  READ (5,102) (SS(J),J=1,N)
0014  WRITE (6,100) N,T0,N1,N2,F1
0015  WRITE (6,102) (TMAX(J),J=1,N)
0016  WRITE (6,102) (W0(J),J=1,N)
0017  WRITE (6,102) (TS(J),J=1,N)
0018  WRITE (6,102) (SS(J),J=1,N)
0019  WRITE (6,115) (DV(J),J=1,N)
0020  WRITE (6,104) (INF(J),J=1,34)
0021  CALL DMK
0022  100 FORMAT (4I3,F6.2)
0023  101 FORMAT (8F10.4)
0024  102 FORMAT (14F5.1)
0025  103 FORMAT (20F3.0)
0026  115 FORMAT (24I3)
0027  30 CONTINUE
0028  END

0001  SUBROUTINE DMK
0002  COMMON TMAX(15),W0(15),SS(15),P(15),PN(15),INF(50),TS(15),DV(15)
0003  INTEGER T0,DV
0004  COMMON M,T0,N1,N2,F1
0005  REAL M,ML,MS,MR,MP,L,K51F,INF,J0,JJ,MU
0006  INTEGER G1,C2
0007  G1=0
0008  J1=1
0009  ML=INF(1)
0010  MS=INF(2)
0011  MR=INF(3)
0012  MP=INF(4)
0013  L=INF(5)
0014  TS2=0
0015  DO 99 J=1,N
0016  C2=1
0017  M=ML+MS+MR+MP
0018  S1=0
0019  S2=0
0020  S3=0
0021  S4=0
0022  S5=0
0023  S6=0
0024  S7=0
0025  S8=0
0026  S9=0
0027  S10=0
0028  S11=0

```

```

0029  61 IF (C2.LE.DV(J)) GO TO 80
0030  GO TO 82
0031  80 DELTA=0.017453*(0.473*(T0+C1)-0.194E-2*(T0+C1))+2-0.407E-5*(T0+C1)
0032  6=3-0.616
0033  A=5*INF(6.017453*F1)*SIN(DELTA)
0034  B=COS(0.017453*F1)*COS(DELTA)
0035  TZ=12+3.8197*ARCOS(-A/B)
0036  TV=24-TZ
0037  S1=S1+DELTA
0038  S2=S2+A
0039  S3=S3+6
0040  S4=S4+TZ
0041  S5=S5+TV
0042  TS1=TS(J)
0043  IF (TS1.LT.7) TS1=1
0044  TS2=TS2+TS1
0045  A1=-100.*ALOG(INF(21))/(INF(9)**2)
0046  AFL=EXP(-A1*((TS2-INF(9))/10.))**2)
0047  A1=-100.*ALOG(INF(22))/(INF(12)**2)
0048  ARL=EXP(-A1*((TS2-INF(12))/10.))**2)
0049  B1=INF(33)/INF(16)
0050  DML=(-2.3026*B1*10.**(INF(33)+B1*TS2)+1000.*0.2)/
0051  6*(1.+10**((INF(33)+B1*TS2)**2)
0052  B1=INF(33)/INF(17)
0053  B1=-B1
0054  DMS=(-2.3026*B1*10.**(INF(33)+B1*TS2)+1000.*0.26)/
0055  6*(1.+10**((INF(33)+B1*TS2)**2)
0056  B1=INF(33)/INF(18)
0057  B1=-B1
0058  DMR=(-2.3026*B1*10.**(INF(33)+B1*TS2)+1000.*0.03)/
0059  6*(1.+10**((INF(33)+B1*TS2)**2)
0060  R1=TS2-INF(20)
0061  IF(R1.LT.0) GO TO 62
0062  B1=INF(33)/(INF(19)-INF(20))
0063  B1=-B1
0064  DMP=(-2.3026*B1*10.**(INF(33)+B1*R1)+1000.*0.51)/
0065  6*(1.+10**((INF(33)+B1*R1)**2)
0066  GO TO 63
0067  62 DMP=0
0068  63 S6=TS6+AFL
0069  S7=S7+ARL
0070  S8=S8+DML
0071  S9=S9+DMS
0072  S10=S10+DMR
0073  S11=S11+DMP
0074  G1=G1+1
0075  C2=C2+1
0076  GO TO 81
0077  82 DELTA=S1/DV(J)
0078  A=S2/DV(J)
0079  B=S3/DV(J)
0080  TZ=34/DV(J)
0081  TV=S5/DV(J)
0082  TAUD=TZ-TV
0083  AFL=S6/DV(J)
0084  ARL=S7/DV(J)
0085  DML=S8/DV(J)
0086  DMS=S9/DV(J)
0087  DMR=S10/DV(J)
0088  DMP=S11/DV(J)
0089  DM=DML+DMS+DMR+DMP
0090  BL=DML/DM
0091  BS=DMS/DM
0092  BR=DMR/DM
0093  BP=DMP/DM

```



```

0090 Q=12.66*55(J)**1.31+315*(A+B)**2.1
0091 J0=0.5*Q/(TAUD*60)
0092 IF (IN2.EQ.1) GO TO 1
0093 IF (IN2.EQ.2) GO TO 2
0094 NN1=31-NN1+1
0095 IF (C1.LE.NN1) GO TO 6
0096 TD=0.873*THAX(J)-0.686
0097 GO TO 7
0098 1 NN1=31-NN1+1
0099 IF (C1.LE.NN1) GO TO 10
0100 IF (C1.LE.NN1+30) GO TO 5
0101 IF (C1.LE.NN1+61) GO TO 6
0102 TD=0.873*THAX(J)-0.686
0103 GO TO 7
0104 2 NN1=30-NN1+1
0105 IF (C1.LE.NN1) GO TO 5
0106 IF (C1.LE.NN1+31) GO TO 6
0107 TD=0.873*THAX(J)-0.686
0108 GO TO 7
0109 10 TD=0.856*THAX(J)-1.008
0110 GO TO 7
0111 5 TD=0.891*THAX(J)-1.081
0112 GO TO 7
0113 6 TD=0.823*THAX(J)+0.559
0114 7 W1=W0(J)/INF(7)
0115 KSIF=EXP(-1.6847*((TD-22)/10)**2)
0116 GAMF=-1.5978*W1**2+2.4624*W1+0.06269
0117 IF (INF(7).LE.85) GO TO 33
0118 COT034
0119 33 IF (W1.GE.0.75) GAMF=1
0120 34 IF (GAMF.LT.0) GAMF=0
0121 IF (GAMF.GT.1) GAMF=1
0122 JJ=J0/(1.+0.5*JL)
0123 F0=28.*300.*JJ/(28.*300.*JJ)
0124 FT=AFL*F0*KSIF*GAMF
0125 F=0.68*FT*JL*TAUD*0.1
0126 A1=(INF(27)/INF(28)-1.)/INF(11)
0127 ETA=INF(27)/(A1*TS2+1.)
0128 DD=ETA*INF(6)
0129 DMM=F+DD*ARL*(0.01*H+0.255*F)
0130 R5=2.*INF(19)-INF(20)
0131 B1=0.3*HL*TS1/(R5-2.*INF(16))
0132 IF (TS2.LT.2*INF(16)) GO TO 64
0133 GO TO 65
0134 64 B1=0
0135 65 ML=ML+(B1*DMM-B1)*DV(J)
0136 B2=0.3*MS*TS1/(R5-2.*INF(17))
0137 IF (TS2.LT.2*INF(17)) GO TO 83
0138 GO TO 84
0139 83 B2=0
0140 84 MS=MS+(B2*DMM-B2)*DV(J)
0141 B3=0.3*MR*TS1/(R5-2.*INF(18))
0142 IF (TS2.LT.2*INF(18)) GO TO 85
0143 GO TO 86
0144 85 B3=0
0145 86 MR=MR+(B3*DMM-B3)*DV(J)
0146 MP=MP+(B3*DMM+B1+B2+B3)*DV(J)
0147 R1=(BL*DMM-B1)*DV(J)
0148 IF (R1.LT.0) GO TO 86
0149 L=L+(R1-B1)/55.
0150 GO TO 67
0151 66 L=L+(R1-B1)/(55.*0.3)
0152 67 WRITE(6,107) J1,C1
0153 WRITE(6,109) ML,MS,MR,MP,M,L
0154 WRITE(6,100) DELTA,A,B,TAUD,TD,0
0155 WRITE(6,104) TS1,TS2,J0,KSIF,AFL,ARL

```

```

0156 WRITE(6,106) F,DD
0157 WRITE(6,105) ETA,F0,FT
0158 WRITE(6,112) BL,B5,BR,BP
0159 WRITE(6,114) GAMF
0160 99 J1=J1+1
0161 100 FORMAT(4X,6HDELTA=,F8.3,4X,2HML=,F8.3,4X,2HMS=,F8.3,4X,5HTAUD=,F8.3,
0162 4X,3HTD=,F8.3,4X,2HQB=,F8.3)
0163 104 FORMAT(4X,4HTSI=,F8.3,4X,4HTS2=,F8.3,4X,3HJ0=,F8.3,4X,
0164 6HKSIF=,F8.3,4X,4HAF=,F8.3,4X,4HARL=,F8.3)
0165 105 FORMAT(4X,4HETA=,F8.3,4X,3HFB=,F8.3,4X,3HFI=,F8.3)
0166 106 FORMAT(4X,2HF=,F8.3,4X,3HDD=,F8.3)
0167 107 FORMAT(4X,3HJ1=,I3,4X,3HC(=,I3)
0168 109 FORMAT(4X,3HML=,F7.3,4X,3HMS=,F7.3,4X,3HMR=,F7.3,4X,3HMP=,F7.3,
0169 6X,2HML=,F10.3,4X,2HML=,F10.3)
0170 112 FORMAT(4X,3HBL=,F8.3,4X,3HBS=,F8.3,4X,3HBR=,F8.3,4X,3HBP=,F8.3)
0171 114 FORMAT(4X,5HGAMF=,F8.3)
0172 RETURN
0173 END

```

Пояснение символов листинга программы:

Символ печати (обозначен на ФОРТРАНе)	Обозначения, принятые при описании динами- ческой модели (см. раздел 7.2.1.2)	Символ печати (обозначен на ФОРТРАНе)	Обозначения, принятые при описании динами- ческой модели (см. раздел 7.2.1.2)
M	M	INF (7)	W_{HB}
ML	m_l	F	Φ
MS	m_s	DD	Δm_c
MR	m_r	ETA	η
MP	m_p	INF (6)	M_c
DELTA	δ	INF (11)	1000
TZ	τ_z	ARL	α_R
TV	τ_n	INF (12)	$t_{I opt}$
TAUD	τ_d		
Q	Q		
TD	T_d	DMM	ΔM
Y0	I_0		
TS1	TS1	BL	β_l
TS2	TS2	BS	β_s
JJ	$J_{H\Phi}$	BR	β_r
L	z	BP	β_p
F0	Φ_0	B1	ω_l
FT	Φ_τ	B2	ω_s
AFL	α_Φ	B3	ω_r
INF (9)	$t'_{I opt}$	DML	ΔM_l
KSIF	Ψ_Φ	DMS	ΔM_s
GAMF	γ_Φ	DMR	ΔM_r
		DMP	ΔM_p

7.3.2.2. Выходные данные результата счета по программе

На АЦПУ для каждой расчетной декады выводятся:

ДЕКАДА N 9		СУТКИ N 07	
ML	67.485 : NS	105.361 : MR	28.895 : MP
DELTA	8.864 : TAUD	12.723 : TD	14.330 : Q
JJ	8.118 : FB	15.661 : FT	1.136 : F
BL	8.000 : BS	8.000 : BR	1.000 : AFL

Пояснения символов печати, выдаваемых на АЦПУ:

Символ печати	Обозначения, принятые при описании динамической модели (см. разд. 7.2.1.2)	Символ печати	Обозначения, принятые при описании динамической модели (см. разд. 7.2.1.2)	Символ печати	Обозначения, принятые при описании динамической модели (см. разд. 7.2.1.2)
ML	m_l	TD	T_d	F	Φ
MS	m_s	Q	Q	F Φ	Φ_0
MR	m_r	TS1	TS1	FT	Φ_r
MP	m_p	TS2	TS2	BL	β_l
M	M	JJ	JJ	BS	β_s
L	L	KSIF	Ψ_Φ	BR	β_r
DELTA	δ	AFL	α_Φ	BP	β_p
TAUD	τ_d	ARL	α_R	GAMF	γ_Φ

7.4. Описание метода агрометеорологического прогноза среднеобластной урожайности картофеля, реализуемого с помощью малой вычислительной техники

Метод прогноза среднеобластной урожайности картофеля основан на использовании декадной агрометеорологической информации. Он может быть реализован как с помощью ЭВМ типа ЕС, так и малой вычислительной техники. Для удобства использования в описании метода выделены основные положения динамико-статистического прогнозирования урожайности и повторены основные расчетные формулы.

Нижеприведенные расчетные и вспомогательные таблицы позволяют осуществлять прогноз урожайности картофеля с помощью малой вычислительной техники. Предлагаемые таблицы состоят из:

— таблицы исходной информации с данными по станции Михайловское Московской области за среднемноголетний период;

— семи расчетных (табл. 7.1—7.7) и десяти вспомогательных (табл. 7.1—7.10) таблиц для расчета динамики биомассы отдельных органов картофеля по декадам вегетационного периода с примером расчета по станции Михайловское Московской области за среднемноголетний период;

— таблицы (табл. 7.8) расчета среднеобластной оценки агрометеорологических условий формирования урожая картофеля в прогнозируемом году, на примере Московской области в 1973 г.

— таблицы (табл. 7.9) расчета тенденции среднеобластной урожайности картофеля по 18-летнему временному ряду урожайности при $k=5$;

— таблицы (табл. 7.10) составления прогноза средней областной урожайности картофеля, на примере прогноза для Московской области в 1973 г.

Перед каждой расчетной таблицей дается пояснение о ее заполнении. В расчетных таблицах наряду с нумерацией граф указан и порядок действий над значениями, получаемыми в этих графах. Числа в нумерации граф, заключенные в скобки, означают коэффициенты, с которыми надо производить указанные арифметические действия. До начала расчета по таблицам необходимо построить эталонные графики по прилагаемым вспомогательным таблицам (табл. 7.7, 7.8, 7.9).

Таблица исходной информации по станции Михайловское Московской области для расчета динамики биомассы отдельных органов картофеля по декадам вегетационного периода по среднемноголетним данным

Вид информации	Количество или качество показателей информации	Расчетные декады вегетационного периода картофеля											
		Июль			Июль			Август			Сентябрь		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Географическая широта станции, округленная до 30'	50° 30'												
Механический состав почвы под посевами картофеля	Суглинистый 115												
Наименьшая влагосмкость (мм) почвы в слое 0—50 см под картофелем	18 VI												
Дата появления всходов картофеля	13 IX												
Дата прекращения вегетации картофеля (по дате увядания ботвы)													
Количество дней в расчетных декадах		3	10	10	10	10	11	10	10	11	10	3	
Среднесуточная температура воздуха, °C		15,4	16,4	17,4	17,8	17,7	17,1	15,9	14,4	12,5	10,8		
Средняя максимальная температура воздуха, °C		20,9	21,6	22,3	23,0	22,5	21,9	21,2	20,2	19,1	18,1		
Среднее число часов солнечного сияния		9	9	9	9	8	8	8	7	6	9		
Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—50 см	4,32	95	90	90	80	75	65	70	75	80	90		
Средняя густота стояния растений на декаду всходов на 1 м ²													
Число дней от 20 марта до даты всходов картофеля	90												

1. Описание вычисления интенсивности фотосинтеза Φ ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) листьев картофеля в расчетных декадах за светлое время суток по расчетной табл. 7.1

Расчетные формулы и обозначения	Номера вспомогательных таблиц, графиков, для получения результатов без вычисления по формулам Описание вычисления по таблицам и графикам	Номер расчетной таблицы и их графа, где записываются результаты счета
$Q' = 12,66 (S')^{1,31} + 315(A' + B')^{2,1}$, где Q — суммарная солнечная радиация в расчетной декаде, $\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \times \text{мин}^{-1}$	Получается в результате сложения двух величин, определяемых по вспомогательным табл. 7.1 и 7.2. Для каждой расчетной декады Q вычисляется с точностью до 0,01	Расчетная табл. 7.1, графа 5
S — среднее число часов солнечного сияния в расчетной декаде	$12,66 (S')^{1,31}$ — первое слагаемое в формуле (7.5), определяется по вспомогательной табл. 7.1 с учетом среднего числа часов солнечного сияния в расчетной декаде	Расчетная табл. 7.1, графа 3
$(A' + B')$ — переменные, зависящие от широты станции и склонения Солнца	$315(A' + B')^{2,1}$ — второе слагаемое в формуле (7.5), определяется по широте станции, округленной до 30', с учетом расчетной декады месяца по вспомогательной табл. 7.2.	Расчетная табл. 7.1, графа 4
$I_0 = \frac{Q'}{120\tau'_d}$	Вычисляется по формуле (7.4) с точностью до 0,01	Расчетная табл. 7.1, графа 8
где I_0 — интенсивность ФАР на верхней границе посева в расчетной декаде, $\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$		
τ'_d — продолжительность дня в расчетной декаде, ч	τ'_d устанавливается по вспомогательной табл. 7.3, согласно широте станции, округленной до 30'	Расчетная табл. 7.1, графа 6

Рассчетные формулы и обозначения	Номера вспомогательных таблиц, графиков, для получения результатов без вычисления по формулам Описание вычисления по таблицам и графикам	Номер расчетной таблицы и их графа, где записываются результаты счета
$I'_{пФ} = \frac{I_b}{1 + 0,5L}$ где $I_{пФ}$ — поглощенная посевом ФАР в расчетной декаде, кал·см⁻² × мин⁻¹ L — площадь листьев в расчетной декаде, м²·м⁻² $\Phi_0 = \frac{8400 I'_{пФ}}{28 + 300 I'_{пФ}}$ где Φ_0 — интенсивность фотосинтеза листьев при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности и реальных условиях освещенности в расчетной декаде, мг СО₂·дм⁻²·ч⁻¹ $\Phi = 0,068 \Phi_0 \Psi_{Ф} Y_{Ф} L_{т.к.}$ где Φ — интенсивность фотосинтеза ассимилирующей поверхности картофеля за светлое время суток в расчетной декаде, г·м⁻²·сут⁻¹	Вычисляется по формуле (7.3) с точностью до 0,01 Для первой расчетной декады площадь листьев устанавливается по вспомогательной табл. 7.4 согласно густоте стояния растений картофеля на 1 м² на декаду исходов. Для последующих расчетных декад используется площадь листьев, полученная в предыдущих расчетных декадах (вычисляется по расчетной табл. 7.7) Вычисляется по формуле (7.2) с точностью до 0,01 Вычисляется по формулам (7.11) и (7.16) с точностью до 0,01	Расчетная табл. 7.1, графа 12 Расчетная табл. 7.1, графа 9 Расчетная табл. 7.1, графа 16 Расчетная табл. 7.1, графа 23 и расчетная табл. 7.2, графа 3

Расчетные формулы и обозначения	Номера вспомогательных таблиц, графиков, для получения результатов без вычисления по формулам Описание вычисления по таблицам и графикам	Номер расчетной таблицы и их графа, где записываются результаты счета
$\alpha_{Ф}$ — онтогенетический коэффициент фотосинтеза картофеля в условных единицах в расчетной декаде $\Psi_{Ф}$ — температурный коэффициент фотосинтеза картофеля в расчетной декаде, усл. ед.	$\alpha_{Ф}$ устанавливается по эталонному графику онтогенетической кривой фотосинтеза картофеля, построенному для своего региона по вспомогательной табл. 7.7, согласно среднему значению суммы среднесуточных температур TS2 в расчетной декаде Сумма среднесуточных температур TS2 в расчетных декадах получается в результате умножения среднесуточной температуры воздуха на количество дней в декаде и суммируется с суммой среднесуточных температур предыдущей декады. Сумма среднесуточных температур вычисляется с точностью до целых Пример получения $\alpha_{Ф}$. Пусть во второй декаде июля TS2 = 562 °C, а в третьей — 756 °C. Определим $\alpha_{Ф}$ для третьей декады июля. Среднее значение суммы среднесуточных температур для третьей декады равно (562 + 756) : 2 = 659 °C. На оси абсцисс восстанавливаем перпендикуляр из точки 659 до пересечения с кривой фотосинтеза. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось ординат и считываем значение $\alpha_{Ф}$ с точностью до 0,01: $\alpha_{Ф} = 0,965$. $\Psi_{Ф}$ устанавливается по эталонному графику «Температурная кривая фотосинтеза картофеля», построенному по данным вспомогательной табл. 7.8 согласно значениям дневной температуры воздуха T_a в расчетных декадах. Дневная температура воздуха в расчетных декадах устанавливается по	Расчетная табл. 7.1, графа 19 Расчетная табл. 7.1, графа 18; расчетная табл. 7.2, графа 5; расчетная табл. 7.3, графа 4; расчетная табл. 7.4, графа 4; расчетная табл. 7.5, графа 4; расчетная табл. 7.6, графа 4 Расчетная табл. 7.1, графа 21

Расчетные формулы и обозначения	Номера вспомогательных таблиц, графиков, для получения результатов без вычисления по формулам Описание вычисления по таблицам и графикам	Номер расчетной таблицы и их графа, где записываются результаты счета
	графикам связи с максимальной температурой воздуха в этих декадах. Расчет средней дневной температуры воздуха по средней максимальной температуре воздуха для расчетных декад производится по графикам, построенным по вспомогательной табл. 7.9 Пример получения T_d и Ψ. Пусть в первой декаде июня средняя максимальная температура воздуха равна $20,9^\circ\text{C}$. На июньском графике на оси абсцисс из точки $20,9$ восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с прямой графика. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось ординат и считаем с точностью до $0,1$ значение дневной температуры воздуха: $T_d = 17,5^\circ\text{C}$. После получения T_d для расчетной декады устанавливаем Ψ для расчетной декады. Для этого на оси абсцисс из точки $17,5$ восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось ординат и получаем значение $\Psi = 0,71$ с точностью до $0,01$	Расчетная табл. 7.1, графа 20 Расчетная табл. 7.1, графа 22
γ_{Φ} — влажностный коэффициент, усл. ед.	γ_{Φ} для суглинистых почв определяется по вспомогательной табл. 7.5, а для супесчаных почв — по вспомогательной табл. 7.6. Для расчетной декады значение γ_{Φ} устанавливается в месте пересечения вертикальной строки с влагозапасами в полуметровом слое, например равными 95 мм для суглинистых почв, с горизонтальной строкой, где указаны значения наименьшей влагоемкости, например 115 мм. Значение $\gamma_{\Phi} = 0,98$.	

Расчетная таблица 7.1

Вычисление интенсивности фотосинтеза Φ картофеля в расчетных декадах за светлое время суток

Месяц	Расчетная декада	$315(A+B) \cdot 2,1$	$Q = 12,66(S) \cdot 1,31 + 315(A+B) \cdot 2,1$	T_1	T_2	$t_0 = \frac{120T_2}{Q}$	L на начало декады	$75^{\circ}0$	$75^{\circ}0 + 1$	$\frac{75^{\circ}0 + 1}{t_0} = \Phi_{\text{в}} / l$	$\Phi_{\text{в}} / 10018$
1	2	225, 16	12,66(S) · 1,31	6	$7 = (120) \times 6$	$8 = 5 : 7$	9	$10 = (0,5) \times 9$	$11 = (1) + 10$	$12 = 8 : 11$	$13 = (8400) \times 12$
Июнь	2	225, 16	220, 25	445, 41	17, 5	2100	0,059	0,029	1,029	0,20	1680
	3	225, 16	220, 25	445, 41	17, 3	2076	0,132	0,056	1,056	0,19	1596
Июль	1	225, 16	217, 29	442, 45	17, 1	2052	0,302	0,151	1,151	0,18	1512
	2	225, 16	210, 39	435, 55	17, 0	2040	0,738	0,369	1,369	0,15	1260
	3	192, 96	199, 19	392, 15	16, 4	1968	0,812	0,406	1,406	0,14	1176
Август	1	192, 96	183, 65	376, 61	15, 8	1896	0,800	0,400	1,400	0,14	1176
	2	192, 96	164, 21	357, 17	15, 2	1824	0,615	0,307	1,307	0,14	1176
	3	161, 99	139, 19	301, 18	14, 4	1728	0,485	0,242	1,242	0,14	1176
Сентябрь	1	132, 38	110, 43	242, 81	13, 6	1632	0,355	0,182	1,182	0,12	1008
	2	225, 16	80, 49	305, 65	12, 8	1536	0,275	0,137	1,137	0,17	1428

Месяц	Рассчитанная дата	$300t/n\Phi$	$28+300t/n\Phi$	$\frac{\Phi_{28+300t/n\Phi}}{\Phi_{16=13:15}}$	$(0,068)\Phi_0$	TSS	α_{Φ}	T_d	Ψ_{Φ}	γ_{Φ}	$\Phi=0,068\Phi_0\gamma_{\Phi}\Psi_{\Phi}T_d$
1	2	$14=(300)\times 12$	$15=(28)+14$	$16=13:15$	$17=(0,068)\times 16$	18	19	20	21	22	$23=17\times 19\times 21\times 22\times 9\times 6$
Июнь	2	60	88	19,09	1,30	46	0,530	17,5	0,710	0,98	0,48
	3	57	85	18,77	1,27	210	0,670	18,2	0,770	0,99	1,46
Июль	1	54	82	18,44	1,25	324	0,860	14,8	0,850	0,99	4,67
	2	45	73	17,26	1,17	562	0,985	15,2	0,900	0,99	12,78
	3	42	70	16,80	1,14	756	0,960	15,1	0,860	0,99	12,30
Август	1	42	70	16,80	1,14	927	0,810	14,2	0,800	0,95	8,85
	2	42	70	16,80	1,14	1086	0,605	13,2	0,735	0,97	4,56
	3	42	70	16,80	1,14	1246	0,415	11,8	0,650	0,99	2,02
Сентябрь	1	36	64	15,75	1,07	1370	0,270	10,2	0,540	0,99	0,68
	2	51	79	18,07	1,22	1402	0,200	8,8	0,450	0,99	0,38

Значения первого слагаемого $12,66(S)^{1,31}$ в формуле (7.5)

S	$12,66(S)^{1,31}$	S	$12,66(S)^{1,31}$
1,0	12,66	4,8	98,82
1,1	14,34	4,9	101,53
1,2	16,08	5,0	104,25
1,3	17,85	5,1	106,99
1,4	19,67	5,2	109,75
1,5	21,53	5,3	112,52
1,6	23,43	5,4	115,31
1,7	25,37	5,5	118,12
1,8	27,34	5,6	120,94
1,9	29,35	5,7	123,77
2,0	31,39	5,8	126,62
2,1	33,46	5,9	129,49
2,2	35,56	6,0	132,38
2,3	37,70	6,1	135,27
2,4	39,86	6,2	138,19
2,5	42,05	6,3	141,11
2,6	44,26	6,4	141,05
2,7	46,51	6,5	147,01
2,8	48,78	6,6	149,98
2,9	51,07	6,7	152,96
3,0	53,39	6,8	155,96
3,1	55,73	6,9	158,97
3,2	58,10	7,0	161,99
3,3	60,49	7,1	165,04
3,4	62,90	7,2	168,09
3,5	65,34	7,3	171,15
3,6	67,79	7,4	174,23
3,7	70,27	7,5	177,32
3,8	72,77	7,6	180,42
3,9	75,29	7,7	183,54
4,0	77,83	7,8	186,67
4,1	80,39	7,9	189,81
4,2	82,96	8,0	192,96
4,3	85,56	8,1	196,13
4,4	88,18	8,2	199,31
4,5	90,81	8,3	202,50
4,6	93,46	8,4	205,70
4,7	96,13	8,5	208,91

s	$12,66 (s)^{1,31}$	s	$12,66 (s)^{1,31}$
8,6	212,14	12,6	349,88
8,7	215,38	12,7	353,52
8,8	218,63	12,8	357,17
8,9	221,89	12,9	360,83
9,0	225,16	13,0	364,50
9,1	228,44	13,1	368,18
9,2	231,74	13,2	371,86
9,3	235,04	13,3	375,56
9,4	238,36	13,4	379,26
9,5	241,68	13,5	282,97
9,6	245,02	13,6	386,69
9,7	248,37	13,7	390,42
9,8	251,73	13,8	394,16
9,9	255,10	13,9	397,91
10,0	258,48	14,0	401,66
10,1	261,87	14,1	405,42
10,2	265,28	14,2	409,19
10,3	268,69	14,3	412,97
10,4	272,11	14,4	416,76
10,5	275,54	14,5	420,55
10,6	278,98	14,6	424,36
10,7	282,44	14,7	428,17
10,8	285,90	14,8	431,99
10,9	289,37	14,9	435,82
11,0	292,86	15,0	439,65
11,1	296,35	15,1	443,50
11,2	299,85	15,2	447,35
11,3	303,36	15,3	451,21
11,4	306,88	15,4	455,07
11,5	310,42	15,5	458,95
11,6	313,96	15,6	462,83
11,7	317,51	15,7	466,72
11,8	321,07	15,8	470,62
11,9	324,64	15,9	474,53
12,0	328,21	16,0	478,44
12,1	331,80	16,1	482,36
12,2	335,40	16,2	486,29
12,3	339,01	16,3	490,22
12,4	342,62	16,4	494,17
12,5	346,24		

Вспомогательная таблица 7.2
Значения второго слагаемого $315(A+B)^{2,1}$ в формуле (7.5) по декадам

Географическая широта станции	Май			Июль			Июль			Август			Сентябрь		
	1		3	1		3	1		3	1		3	1		3
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
50°	217,44	229,69	238,33	244,63	247,14	247,14	241,55	238,26	227,9	213,37	194,64	169,83	140,31	108,31	74,38
50° 30'	214,84	227,18	235,92	242,28	244,82	244,82	242,20	235,84	225,39	210,74	191,91	167,04	137,58	105,71	72,06
51°	212,22	224,65	233,47	239,90	242,48	242,48	239,82	233,39	222,85	208,09	189,18	164,25	134,82	103,10	69,76
51° 30'	209,59	222,10	231,01	237,50	240,10	240,10	237,41	230,92	220,29	205,42	186,43	161,45	132,03	100,50	67,48
52°	206,94	219,53	228,52	235,07	237,70	237,70	234,97	228,42	217,71	202,74	183,67	158,67	129,32	97,93	65,24
52° 30'	204,28	216,94	226,01	232,62	235,28	235,28	232,51	225,91	215,12	200,05	180,91	155,88	126,58	95,37	63,03
53°	201,60	214,33	223,48	230,14	232,83	232,83	230,03	223,37	212,50	197,34	178,14	153,09	123,85	92,85	60,81
53° 30'	198,91	211,70	220,93	227,64	230,36	230,36	227,52	220,81	209,87	194,63	175,35	150,30	122,15	90,32	58,69
54°	196,20	209,06	218,36	225,12	227,86	227,86	224,99	218,24	207,22	191,90	172,58	147,52	118,45	87,83	55,37
54° 30'	193,49	206,40	215,77	222,58	225,34	225,34	222,45	215,64	204,56	189,16	169,79	144,73	115,76	85,35	54,48
55°	190,76	203,73	213,15	220,01	222,81	222,81	219,88	213,02	201,88	185,41	167,01	141,95	113,09	82,91	52,42
55° 30'	188,02	201,04	210,53	217,43	220,25	220,25	217,29	210,39	199,19	183,65	164,21	139,19	110,43	80,49	50,40
56°	185,28	198,34	207,89	214,83	217,67	217,67	214,69	207,74	205,49	180,89	161,42	135,42	107,79	78,09	48,41
56° 30'	182,52	195,63	205,23	212,21	215,07	215,07	212,06	203,08	193,73	178,12	158,63	133,66	105,16	75,72	46,45
57°	179,76	192,91	202,55	209,58	212,46	212,46	209,42	202,40	191,04	175,34	155,84	130,92	102,55	73,37	44,53
57° 30'	176,99	190,17	199,87	206,93	209,83	209,83	206,76	199,71	188,31	172,55	153,05	128,18	99,97	71,05	42,64
58°	174,22	187,43	197,17	204,26	207,18	207,18	204,09	197,01	185,56	169,77	150,25	123,45	97,39	68,76	40,80
58° 30'	171,44	184,67	194,45	201,58	204,51	204,51	201,41	194,29	182,81	166,98	147,47	122,73	94,84	66,50	38,98
59°	168,65	181,91	191,74	198,88	201,84	201,84	198,71	191,56	180,04	164,19	144,69	120,02	92,31	64,27	37,21
59° 30'	165,87	179,14	189,00	196,18	199,14	199,14	196,00	188,83	177,28	161,40	141,91	117,33	89,80	62,05	35,47
60°	163,08	176,37	186,26	193,46	196,44	196,44	193,27	186,08	174,50	158,60	139,14	114,65	87,31	60,39	33,77

Продолжительность дня t_d (ч) по декадам

Географическая широта станции	Июль			Июль			Август			Сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
50°	15,9	16,3	16,2	16,0	15,9	15,5	15,0	14,6	13,9	13,3	12,7	12,0
50° 30'	16,0	16,4	16,3	16,1	16,0	15,5	15,0	14,6	13,9	13,3	12,7	12,0
51°	16,2	16,5	16,4	16,3	16,1	15,6	15,1	14,6	14,0	13,4	12,7	12,1
51° 30'	16,2	16,6	16,5	16,4	16,2	15,7	15,2	14,7	14,0	13,4	12,7	12,0
52°	16,3	16,7	16,6	16,4	16,3	15,7	15,2	14,7	14,0	13,4	12,7	12,0
52° 30'	16,4	16,8	16,6	16,5	16,4	15,8	15,3	14,8	14,0	13,4	12,7	12,0
53°	16,5	16,9	16,7	16,6	16,4	15,9	15,3	14,8	14,0	13,4	12,7	12,0
53° 30'	16,5	16,9	16,8	16,6	16,5	15,9	15,4	14,8	14,1	13,4	12,7	12,0
54°	16,7	17,1	16,9	16,8	16,6	16,0	15,5	14,9	14,2	13,5	12,8	12,0
54° 30'	16,8	17,2	17,0	16,9	16,8	16,1	15,6	15,0	14,2	13,5	12,8	12,0
55°	16,8	17,3	17,1	17,0	16,9	16,2	15,7	15,1	14,3	13,6	12,8	12,0
55° 30'	17,0	17,5	17,3	17,1	17,0	16,4	15,8	15,2	14,4	13,6	12,8	12,0
56°	17,1	17,6	17,4	17,2	17,1	16,5	15,8	15,2	14,4	13,6	12,8	12,0
56° 30'	17,2	17,7	17,5	17,4	17,2	16,5	15,9	15,3	14,4	13,6	12,8	12,0
57°	17,4	17,9	17,7	17,5	17,3	16,7	16,0	15,3	14,5	13,7	12,9	12,0
57° 30'	17,5	18,0	17,8	17,6	17,4	16,7	16,0	15,4	14,5	13,7	12,9	12,0
58°	17,6	18,1	17,9	17,7	17,6	16,9	16,2	15,5	14,6	13,7	12,9	12,0
58° 30'	17,8	18,3	18,1	17,9	17,7	16,9	16,3	15,6	14,7	13,8	12,9	12,0
59°	17,9	18,6	18,3	18,0	17,9	17,1	16,4	15,6	14,7	13,8	12,9	12,0
59° 30'	18,1	18,7	18,4	18,2	18,0	17,2	16,5	15,7	14,8	13,8	12,9	12,0
60°	18,2	18,8	18,5	18,3	18,1	17,3	16,5	15,8	14,8	13,9	13,0	12,0

Вспомогательная таблица 7.4
Начальные биомассы отдельных органов ($г \cdot м^{-2}$) и площадь ассимилирующей поверхности ($м^2 \cdot м^{-2}$) картофеля на декаду всходов в зависимости от густоты стояния растений

Органы растений картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	Густота стояния растений картофеля на 1 м ² на декаду всходов											
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	
Масса листьев m_l	1,02	1,20	1,15	1,20	1,26	1,31	1,36	1,41	1,46	1,52	1,57	
Масса стеблей m_s	0,32	0,33	0,35	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,44	0,45	0,47	
Масса корней m_r	1,2	1,26	1,32	1,38	1,44	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,80	
Масса клубней m_k	2,54	2,69	2,82	2,94	3,08	3,21	3,33	3,46	3,58	3,72	3,84	
Масса всего растения картофеля M	35,0	35,75	38,50	40,25	42,0	43,75	45,5	47,25	49,0	50,75	52,5	
Содержание сухих веществ в материнском клубне M_c	0,027	0,029	0,030	0,032	0,033	0,034	0,035	0,037	0,038	0,039	0,041	
Площадь ассимилирующей поверхности L												
Густота стояния растений картофеля на 1 м ² на декаду всходов												
Органы растений картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	
	1,62	1,67	1,72	1,78	1,83	1,88	1,94	1,99	2,04	2,09	2,14	
Масса листьев m_l	0,49	0,50	0,52	0,54	0,55	0,57	0,58	0,60	0,62	0,63	0,65	
Масса корней m_r	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	
Масса клубней m_k	3,97	4,09	4,22	4,36	4,48	4,61	4,74	4,87	5,00	5,12	5,25	
Масса всего растения картофеля M	54,25	56,0	57,75	59,5	61,25	63,0	64,75	66,5	68,25	70,0	71,75	
Содержание сухих веществ в материнском клубне M_c	0,042	0,044	0,045	0,046	0,048	0,049	0,051	0,052	0,053	0,055	0,055	
Площадь ассимилирующей поверхности L												

Органы растений картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	Густота стояния растений картофеля на 1 м ² на декаду всходов									
	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1
Масса листьев m_l	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,46	2,51	2,56	2,62	2,67
Масса стеблей m_s	0,65	0,68	0,70	0,71	0,73	0,74	0,76	0,77	0,79	0,80
Масса корней m_r	2,52	2,58	2,64	2,7	2,76	2,82	2,88	2,94	3,00	3,06
Масса клубней m_k										
Масса всего растения картофеля M	5,38	5,51	5,64	5,76	5,89	6,02	6,15	6,27	6,41	6,53
Содержание сухих веществ в материнском клубне M_c	73,5	75,25	77,0	78,75	80,5	82,25	84,0	85,75	87,5	89,25
Площадь ассимилирующей поверхности L	0,059	0,059	0,050	0,052	0,053	0,054	0,056	0,057	0,058	0,07

Органы растения картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	Густота стояния растений картофеля на 1 м ² на декаду всходов									
	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1
Масса листьев m_l	2,72	2,77	2,82	2,88	2,93	2,98	3,03	3,08	3,14	3,20
Масса стеблей m_s	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96
Масса корней m_r	3,12	3,13	3,24	3,3	3,36	3,42	3,48	3,54	3,6	3,65
Масса клубней m_k										
Масса всего растения картофеля M	6,66	6,70	6,91	7,05	7,17	7,30	7,43	7,55	7,69	7,82
Содержание сухих веществ в материнском клубне M_c	91,0	92,75	94,5	96,25	98,0	99,75	101,5	103,25	105,0	106,75
Площадь ассимилирующей поверхности L	0,071	0,073	0,074	0,075	0,077	0,078	0,079	0,081	0,082	0,084

Органы растения картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	Густота стояния растений картофеля на 1 м ² на декаду всходов									
	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1
Масса листьев m_l	3,24	3,29	3,35	3,40	3,45	3,50	3,56	3,61	3,66	3,71
Масса стеблей m_s	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,11	1,12
Масса корней m_r	3,72	3,78	3,84	3,9	3,96	4,02	4,08	4,14	4,20	4,26
Масса клубней m_k										
Масса всего растения картофеля M	7,94	8,07	8,20	8,33	8,45	8,58	8,71	8,84	8,97	9,09
Содержание сухих веществ в материнском клубне M_c	108,5	110,25	112,0	113,75	115,5	117,25	119,0	120,75	122,5	124,25
Площадь ассимилирующей поверхности L	0,085	0,086	0,088	0,089	0,090	0,092	0,093	0,094	0,096	0,097

Органы растения картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	Густота стояния растений картофеля на 1 м ² на декаду всходов									
	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	
Масса листьев m_l	3,76	3,82	3,87	3,92	3,97	4,03	4,08	4,13	4,18	
Масса стеблей m_s	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,23	1,25	1,26	
Масса корней m_r	4,32	4,38	4,41	4,5	4,56	4,62	4,68	4,74	4,8	
Масса клубней m_k										
Масса всего растения картофеля M	9,22	9,35	9,48	9,60	9,73	9,87	9,99	10,12	10,24	
Содержание сухих веществ в материнском клубне M_c	126,0	127,75	129,5	131,25	133,0	134,75	136,5	138,25	140,0	
Площадь ассимилирующей поверхности L	0,099	0,100	0,101	0,103	0,104	0,105	0,107	0,108	0,110	

Параметр $\gamma_{\text{ф}}$ для суглинистых почв

Наименьшая влажность почвы (мм) в слое почвы 0—50 см		Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—50 см																		
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
85	0	0,22	0,42	0,59	0,71	0,81	0,88	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92			
90	0	0,18	0,38	0,54	0,67	0,76	0,85	0,91	0,95	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,93		
95	0	0,14	0,34	0,51	0,64	0,74	0,82	0,88	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	
100	0	0,11	0,31	0,47	0,60	0,71	0,79	0,86	0,91	0,95	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93
105	0	0,08	0,27	0,43	0,57	0,67	0,76	0,83	0,89	0,93	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95
110	0	0,05	0,24	0,40	0,53	0,64	0,73	0,81	0,86	0,91	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95
115	0	0,02	0,21	0,37	0,50	0,61	0,70	0,78	0,84	0,89	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
120		0	0,18	0,34	0,47	0,58	0,67	0,75	0,82	0,87	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
125		0	0,15	0,31	0,44	0,55	0,65	0,73	0,79	0,85	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
130		0	0,13	0,28	0,41	0,52	0,62	0,70	0,77	0,82	0,87	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
135		0	0,10	0,25	0,38	0,50	0,59	0,67	0,74	0,80	0,85	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98
140		0	0,08	0,23	0,36	0,50	0,57	0,65	0,72	0,78	0,83	0,87	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98
145		0	0,06	0,20	0,33	0,44	0,54	0,62	0,70	0,76	0,81	0,86	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,98
150		0	0,04	0,18	0,31	0,42	0,52	0,60	0,67	0,74	0,79	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
155		0	0,02	0,16	0,28	0,40	0,49	0,58	0,65	0,72	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
160			0	0,14	0,26	0,37	0,47	0,55	0,63	0,70	0,75	0,80	0,84	0,88	0,91	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98
165			0	0,12	0,24	0,35	0,45	0,53	0,61	0,67	0,73	0,78	0,83	0,86	0,90	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98
170			0	0,10	0,22	0,33	0,42	0,51	0,59	0,65	0,71	0,76	0,81	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,96
175			0	0,08	0,20	0,31	0,40	0,49	0,57	0,63	0,69	0,75	0,79	0,83	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96
180			0	0,06	0,18	0,29	0,38	0,47	0,54	0,61	0,67	0,73	0,78	0,82	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96
185			0	0,05	0,16	0,27	0,36	0,45	0,52	0,59	0,66	0,71	0,76	0,80	0,84	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95
190			0	0,03	0,14	0,25	0,34	0,43	0,51	0,58	0,64	0,69	0,74	0,78	0,82	0,86	0,88	0,91	0,93	0,95
195			0	0,01	0,13	0,23	0,32	0,41	0,49	0,56	0,62	0,67	0,72	0,77	0,81	0,84	0,87	0,90	0,92	0,92

85																			
90																			
95																			
100																			
105	0,93																		
110	0,94	0,93																	
115	0,96	0,94	0,93																
120	0,97	0,96	0,94	0,93															
125	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93														
130	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93													
135	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93												
140	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93											
145	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93										
150	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93									
155	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93								
160	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93							
165	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93						
170	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,93					
175	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,93	0,93				
180	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93			
185	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93		
190	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
195	0,94	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

Вспомогательная таблица 7.6
Параметр γ_{Φ} для супесчаных почв

Наименьшая влажность почвы (мм) в слое почвы 0-50 см	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0-50 см							
	10	15	20	25	30	35	40	45
50	0	0,06	0,34	0,55	0,72	0,84	0,93	0,99
55	0	0	0,24	0,45	0,63	0,76	0,87	0,94
60	0	0	0,16	0,38	0,55	0,69	0,80	0,89
65	0	0	0,08	0,30	0,48	0,62	0,74	0,83
70	0	0,01	0,22	0,40	0,55	0,67	0,77	0,85
75	0	0	0,16	0,34	0,49	0,61	0,72	0,80
80	0	0	0,10	0,27	0,42	0,55	0,65	0,75
85	0	0	0,04	0,21	0,36	0,49	0,61	0,75

Наименьшая влажность почвы (мм) в слое почвы 0-50 см	Запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0-50 см							
	50	55	60	65	70	75	80	85
50	1,00							
55	0,99	1,00						
60	0,95	1,00	1,00					
65	0,90	0,96	1,00	1,00				
70	0,85	0,92	0,97	1,00	1,00			
75	0,80	0,87	0,93	0,97	1,00	1,00		
80	0,75	0,82	0,89	0,94	1,00	1,00	1,00	
85	0,70	0,78	0,84	0,90	0,94	0,98	1,00	1,00

Вспомогательная таблица 7.7

Построение эталонных графиков

Каждый график строится по предложенным ниже данным отдельно на миллиметровой бумаге согласно указанному масштабу. Графики онтогенетических кривых фотосинтеза α_{Φ} , кривой дыхания α_R , кривой использования сухих веществ материнского клубня β_L , ростовых функций листьев β_S , стеблей β_r , корней β_p , клубней β_p строятся в зависимости от сумм среднесуточных температур TS2. Значения α_{Φ} , α_R , β_L , β_S , β_r , β_p нормированы и изменяются от 0 до 1. По оси X на этих графиках откладывается сумма среднесуточных температур TS2, равная 1800 °C, через 100 °C в масштабе 100 °C=1 см, по оси Y—значения α_{Φ} , α_R , β_L , β_S , β_r , β_p , изменяющиеся от 0 до 1, в масштабе 0,1=2 см. Ниже даются таблицы для построения графиков α_{Φ} , α_R , β_L , β_S , β_r , β_p отдельно для станций Нечерноземья и станций Белоруссии и Прибалтики.

Данные для построения эталонных графиков α_{Φ} , α_R , β_L , β_S , β_r , β_p для станций, расположенных в Нечерноземье:

TS2 °C	α_{Φ}	α_R	β_L	β_S	β_r	β_p
19	0,524	0,621	0,584	0,332	0,054	0
91	0,617	0,967	0,710	0,246	0,044	0
170	0,719	0,827	0,722	0,189	0,039	0
264	0,830	0,276	0,627	0,309	0,064	0
361	0,922	0,032	0,216	0,688	0,093	0

TS2 °C	α_{Φ}	α_R	β_L	β_S	β_r	β_p
433	0,974	0,002	0,057	0,873	0,070	0
530	0,999	0	0,014	0,819	0,038	0,129
620	0,989	0	0,004	0,588	0,018	0,391
702	0,948	0	0,001	0,266	0,006	0,727
782	0,883	0	0	0,083	0,002	0,916
864	0,798	0	0	0,023	0	0,977
963	0,676	0	0	0,005	0	0,995
1046	0,569	0	0	0,002	2	0,998
1129	0,464	0	0	0,001	0	0,999
1198	0,382	0	0	0	0	1,000
1238	0,338	0	0	0	0	1,000
1296	0,279	0	0	0	0	1,000
1327	0,251	0	0	0	0	1,000

Данные для построения эталонных графиков α_{Φ} , α_R , β_L , β_S , β_r , β_p для станций, расположенных в Прибалтике и Белоруссии

TS2 °C	α_{Φ}	α_R	β_L	β_S	β_r	β_p
19	0,527	0,621	0,760	0,193	0,047	0
91	0,629	0,976	0,845	0,120	0,035	0
170	0,740	0,827	0,822	0,088	0,030	0
264	0,858	0,276	0,787	0,159	0,054	0
361	0,948	0,032	0,384	0,502	0,144	0
443	0,991	0,002	0,124	0,775	0,101	0
530	0,997	0	0,031	0,728	0,055	0,186
620	0,960	0	0,007	0,466	0,023	0,503
702	0,893	0	0,001	0,182	0,007	0,810
782	0,801	0	0	0,053	0,002	0,946
864	0,693	0	0	0,014	0	0,985
963	0,551	0	0	0,003	0	0,997
1046	0,437	0	0	0,001	0	0,999
1129	0,334	0	0	0	0	1,000
1198	0,259	0	0	0	0	1,000
1238	0,221	0	0	0	0	1,000
1296	0,173	0	0	0	0	1,000
1327	0,150	0	0	0	0	1,000

Кривая использования сухих веществ материнского клубня строится по указанным ниже данным. По оси X откладывается сумма среднесуточных температур до 1800 °C через 100 °C в масштабе 100 °C=1 см, по оси Y—значения коэффициента использования η от 0 до 0,036 в масштабе 0,002=1 см. Точки, полученные в поле графика, плавно соединяются.

Данные для построения эталонного графика кривой использования сухих веществ материнского клубня η :

TS2 °C	η , усл. ед.	TS2 °C	η , усл. ед.	TS2 °C	η , усл. ед.
0	0,035	625	0,005	1225	0,003
25	0,029	650	0,005	1250	0,003
50	0,024	675	0,005	1275	0,003
75	0,021	700	0,005	1300	0,003
100	0,018	725	0,005	1325	0,003
125	0,016	750	0,005	1350	0,003
150	0,015	775	0,004	1375	0,003
175	0,014	800	0,004	1400	0,003
200	0,013	825	0,004	1425	0,003
225	0,012	850	0,004	1450	0,002
250	0,011	875	0,004	1475	0,002
275	0,010	900	0,004	1500	0,002
300	0,009	925	0,004	1525	0,002
325	0,009	950	0,004	1550	0,002
350	0,008	975	0,004	1575	0,002
375	0,008	1000	0,004	1600	0,002
400	0,008	1025	0,003	1625	0,002
425	0,007	1050	0,003	1650	0,002
450	0,007	1075	0,003	1675	0,002
475	0,007	1100	0,003	1700	0,002
500	0,006	1125	0,003	1725	0,002
525	0,006	1150	0,003	1750	0,002
550	0,006	1175	0,003	1775	0,002
575	0,006	1200	0,003	1800	0,002
600	0,005				

Вспомогательная таблица 7.8

Построение графика температурной кривой ψ_F

График строится по значениям средней дневной температуры воздуха T_d (°C). Значение ψ_F нормировано от 0 до 1. По оси X откладывается средняя дневная температура воздуха от 4 до 36 °C через 1 °C в масштабе 1 °C=0,5 см, по оси Y — значения ψ от 0 до 1 в масштабе 0,1=2 см. Точки, полученные в поле графика, соединяются плавной кривой.

Данные для построения эталонного графика температурной кривой фотосинтеза картофеля ψ_F

T_d °C	ψ_F , усл. ед.	T_d °C	ψ_F , усл. ед.	T_d °C	ψ_F , усл. ед.
0	0,000	8	0,037	16	0,545
1	0,001	9	0,058	17	0,656
2	0,001	10	0,088	18	0,763
3	0,002	11	0,130	19	0,859
4	0,004	12	0,185	20	0,937
5	0,008	13	0,255	21	0,983
6	0,013	14	0,340	22	1,000
7	0,022	15	0,438	23	0,983

T_d °C	ψ_F , усл. ед.	T_d °C	ψ_F , усл. ед.	T_d °C	ψ_F , усл. ед.
24	0,935	29	0,478	33	0,130
25	0,859	30	0,340	34	0,088
26	0,763	31	0,255	35	0,058
27	0,656	32	0,185	36	0,000
28	0,545				

Вспомогательная таблица 7.9

Построение графика расчета средней дневной температуры воздуха T_d по максимальной температуре воздуха T_{max}

Графики строятся для каждого месяца отдельно на миллиметровой бумаге. По оси X для всех месяцев откладывается максимальная температура, равная 35 °C, через 1 °C в масштабе 1 °C=0,5 см, по оси Y — дневная температура воздуха через 1 °C до 36 °C в масштабе 1 °C=0,5 см. Точки, полученные в поле графика, соединяются прямой линией.

Данные для построения эталонных ежемесячных графиков расчета средней дневной температуры воздуха по максимальной температуре воздуха:

T_{max} °C	Май	Июнь	Июль	Август и сентябрь
0	1,0	1,1	0,6	0,7
5	3,4	3,4	4,7	3,7
6	4,1	4,3	5,5	4,6
7	5,0	5,2	6,3	5,4
8	5,8	6,0	7,1	6,3
9	6,7	6,9	8,0	7,2
10	7,6	7,8	8,8	8,0
11	8,4	8,4	9,6	8,9
12	9,3	9,6	10,4	9,8
13	10,1	10,5	11,3	10,7
14	11,0	11,4	12,1	11,5
15	11,8	12,3	12,9	12,4
16	12,7	13,2	13,7	13,3
17	13,5	14,1	14,6	14,2
18	14,4	15,0	15,4	15,0
19	15,3	15,8	16,2	15,9
20	16,1	16,7	17,0	16,8
21	17,0	17,6	17,8	17,6
22	17,8	18,5	18,7	18,5
23	18,7	19,4	19,5	19,4
24	19,5	20,3	20,3	20,3
25	20,4	21,2	21,1	21,1
26	21,2	22,1	22,0	22,0
27	22,1	23,0	22,8	22,9
28	23,0	23,9	23,9	23,8
29	23,8	24,8	24,4	24,6
30	24,7	25,6	25,2	25,5
31	25,5	26,5	26,1	26,4
32	26,4	27,4	26,9	27,3
33	27,2	28,3	27,7	28,1
34	28,1	29,2	28,5	29,0
35	29,0	30,1	29,4	29,9

II. Описание вычисления суточного прироста сухой биомассы картофеля ΔM ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.2

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и их граф, где записываются результаты счета
$\Delta M = \Phi + M_c \eta - \alpha_R (0,01M + 0,255\Phi),$ где ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ Φ — интенсивность фотосинтеза ассимилирующей поверхности картофеля за светлое время суток в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ M_c — содержание сухих веществ в материнском клубне, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ $TS2$ — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, $^{\circ}\text{C}$ η — коэффициент использования сухих веществ материнского клубня в условиях единичных в расчетной декаде M — масса всего растения картофеля на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Вычисляется по формуле (7.19) с точностью до 0,01 Φ переносывается из расчетной табл. 7.1, графы 23 M_c определяется один раз и используется для всех расчетных декад; устанавливается по вспомогательной табл. 7.4 согласно густоте клубней картофеля на 1 м^2 на декаде всходов $TS2$ переносывается из расчетной табл. 7.1, графы 18 η устанавливается по эталонному графику кривой использования сухих веществ материнского клубня, построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур $TS2$ в расчетной декаде. Значение η считывается с точностью до 0,001 Для первой расчетной декады масса всего растения устанавливается по вспомогательной табл. 7.4 согласно густоте стояния растений картофеля на 1 м^2 на декаде всходов. Для последующих расчетных декад используется масса растений, полученная в предыдущих декадах α_R устанавливается по эталонному графику онтогенетической кривой дыхания картофеля, построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур $TS2$, накапливаемых за расчетную декаду. Значение α_R считывается с точностью до 0,01	Расчетная табл. 7.2, графа 15 Расчетная табл. 7.2, графа 3 Расчетная табл. 7.2, графа 4 Расчетная табл. 7.2, графа 5 Расчетная табл. 7.2, графа 6 Расчетная табл. 7.2, графа 9; расчетная табл. 7.7, графа 7 Расчетная табл. 7.2, графа 13

Расчетная таблица 7.2

Вычисление суточного прироста сухой биомассы картофеля ΔM ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) в расчетных декадах

Месяц	1	2	3	4	5	6	$\Delta M_c = M_c \eta$	$\Phi + \Delta M_c$	M на начало декады	$0,01M$	$0,255\Phi$	$\Phi \cdot 10^3 + 0,255M$	α_R	$\alpha_R (0,01M + 0,255\Phi)$	$\Delta M = \Phi + \Delta M_c - \alpha_R (0,01M + 0,255\Phi)$
Июнь	2	0,48	75,25		46	0,025	1,88	2,36	5,51	0,055	0,12	0,175	0,615	0,107	2,25
	3	1,46	75,25		210	0,016	1,20	2,66	12,26	0,122	0,377	0,499	0,930	0,454	2,19
Июль	1	4,67	75,25		284	0,008	0,60	5,27	34,26	0,342	0,568	0,91	0,175	0,159	5,11
	2	12,78	75,25		562	0,006	0,45	13,23	85,33	0,853	3,258	4,110	0	0	13,23
	3	12,30	75,25		756	0,004	0,30	12,60	217,61	2,176	3,136	5,310	0	0	12,60
Август	1	8,85	75,25		927	0,003	0,22	9,07	354,88	3,548	2,25	5,800	0	0	9,07
	2	4,56	75,25		1086	0,003	0,22	4,78	552,54	5,525	1,163	6,688	0	0	4,78
	3	2,02	75,25		1245	0,002	0,22	2,24	600,30	6,003	0,518	6,518	0	0	2,24
Сентябрь	1	0,68	75,25		1370	0,002	0,15	0,83	624,89	6,249	0,173	6,422	0	0	0,83
	2	0,38	75,25		1402	0,002	0,15	0,53	633,14	6,331	0,096	6,427	0	0	0,53

III. Описание вычисления сухой биомассы листьев картофеля m_l ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.3

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и их граф, где записываются результаты счета
$\Delta M_l = (\beta_l \Delta M - \omega_l m_l) n$, где ΔM — декадный прирост листьев, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ n — количество дней в расчетной декаде	ΔM_l вычисляется по формуле (7.20) с точностью до 0,01 n устанавливается по таблице исходной информации	Расчетная табл. 7.3, графа 12
m_l — масса листьев на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ TS2 — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, $^{\circ}\text{C}$ β_l — коэффициент ростовой функции листьев картофеля в расчетной декаде, усл. ед.	Для первой расчетной декады начальная масса листьев устанавливается по вспомогательной табл. 7.4 согласно густоте стояния растений на 1 м^2 на декаду исходов. Для второй расчетной декады начальной массой будет масса листьев, полученная в конце первой декады, т. е. для последующих расчетных декад используется масса листьев, полученная в предыдущих декадах TS2 переписывается из расчетной табл. 7.1, графы 18 β_l устанавливается по эталонному графику ростовой функции листьев картофеля, построенному по вспомогательной табл. 7.7, согласно среднему значению суммы среднесуточных температур, накопленных за расчетную декаду; β_l определяется с точностью до 0,001	Расчетная табл. 7.3, графа 3; расчетная табл. 7.7, графа 3
ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ω_l — коэффициент перетока «старых» ассимилятов листьев в расчетной декаде	ΔM для расчетной декады переписывается из расчетной табл. 7.2 графы 15 Для расчетных декад, когда сумма среднесуточных температур $\text{TS2} \leq 450^{\circ}\text{C}$, $\omega_l = 0$, а для расчетных декад, когда $\text{TS2} > 450^{\circ}\text{C}$, ω_l устанавливается по вспомогательной табл. 7.3а согласно среднесуточной температуре воздуха в расчетной декаде, округленной до $0,5^{\circ}\text{C}$	Расчетная табл. 7.3, графа 4 Расчетная табл. 7.3, графа 5 Расчетная табл. 7.3, графа 6 Расчетная табл. 7.3, графа 8

Расчетная таблица 7.3

Вычисление сухой биомассы листьев картофеля m_l ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Расчетная декада	m_l^I на начало декады	TS2	β_l	ΔM	$\beta_l \Delta M$	ω_l	$\omega_l m_l$	$\beta_l \Delta M - \omega_l m_l$	n	$\Delta M_l = (\beta_l \Delta M - \omega_l m_l) n$	$m_l^{I+1} = m_l^I + \Delta M_l$
1	2	3	4	5	6	7 = 5 × 6	8	9 = 8 × 3	10 = 7 - 9	11	12 = 10 × 11	13 = 3 + 12
Июнь	2	2,25	46	0,600	2,25	1,35	0	0	1,35	3	4,05	6,30
	3	6,30	210	0,750	2,19	1,64	0	0	1,64	10	16,4	22,90
	1	22,90	384	0,470	5,11	2,40	0	0	2,40	10	24,0	46,90
Июль	2	46,90	562	0,050	13,23	0,66	0,0054	0,25	0,41	10	4,10	51,00
	3	51,00	756	0,005	12,50	0,063	0,0052	0,26	-0,20	11	-2,17	48,83
	1	48,83	927	0	9,07	0	0,0051	0,25	-0,25	10	-2,50	46,33
Август	2	46,33	1086	0	4,78	0	0,0048	0,22	-0,22	10	-2,20	44,13
	3	44,13	1245	0	2,24	0	0,0043	0,19	-0,19	11	-2,09	42,04
	1	42,04	1370	0	0,83	0	0,0037	0,15	-0,15	10	-1,5	40,54
Сентябрь	2	40,54	1402	0	0,53	0	0,0033	0,13	-0,13	3	-0,39	40,15

Значения функций перераспределения «старых» ассимилятов листьев ω_l , стеблей ω_s , корней ω_r для расчетных декад

Среднесуточная температура декады, округленная до 0,5 °C	ω_l и ω_r	ω_s
8,0	0,0024	0,0032
8,5	0,0025	0,0034
9,0	0,0027	0,0036
9,5	0,0028	0,0038
10,0	0,0030	0,0040
10,5	0,0031	0,0042
11,0	0,0033	0,0044
11,5	0,0034	0,0046
12,0	0,0036	0,0048
12,5	0,0037	0,0050
13,0	0,0039	0,0052
13,5	0,0041	0,0054
14,0	0,0042	0,0056
14,5	0,0043	0,0058
15,0	0,0045	0,0060
15,5	0,0046	0,0062
16,0	0,0048	0,0064
16,5	0,0049	0,0066
17,0	0,0051	0,0068
17,5	0,0052	0,0070
18,0	0,0054	0,0072
18,5	0,0055	0,0074
19,0	0,0057	0,0076
19,5	0,0058	0,0078
20,0	0,0060	0,0080
20,5	0,0061	0,0082
21,0	0,0063	0,0084

Вспомогательная таблица 7.3а

IV. Описание вычисления сухой биомассы стеблей картофеля m_s ($г \cdot м^{-2}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.4

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и граф, где записываются результаты счета
$\Delta M_s = (\beta_s \Delta M - \omega_s m_s) n,$ где ΔM_s — декадный прирост стеблей, $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$ n — количество дней в расчетной декаде m_s — масса стеблей на начало расчетной декады, $г \cdot м^{-2}$ TS2 — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, °C β_s — коэффициент ростовой функции стеблей картофеля в расчетной декаде, усл. ед. ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$ ω_s — коэффициент перетока «старых» ассимилятов стеблей в расчетной декаде	ΔM_s вычисляется по формуле (7.20) с точностью до 0,01; n устанавливается по таблице исходной информации Для первой расчетной декады начальная масса стеблей устанавливается по вспомогательной табл. 7.4 согласно густоте стояния растений на $1 м^2$ на декаду исходов. Для второй расчетной декады начальной массой будет масса стеблей, полученная в конце первой декады, т. е. для последующих расчетных декад используется масса стеблей, полученная в предыдущих декадах TS2 переносится из расчетной табл. 7.1, графы 18 β_s устанавливается по эталонному графику ростовой функции стеблей картофеля, построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур, накопленных за расчетную декаду; β_s определяется с точностью до 0,001 ΔM для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.2, графы 15 Для расчетных декад, когда сумма среднесуточных температур $TS2 \leq 450 °C$, $\omega_s = 0$, а для расчетных декад, когда $TS2 > 450 °C$, ω_s устанавливается по вспомогательной табл. 7.3а согласно среднесуточной температуре воздуха в расчетной декаде, округленной до 0,5 °C	Расчетная табл. 7.4, графа 12 Расчетная табл. 7.4, графа 3; расчетная табл. 7.7, графа 4 Расчетная табл. 7.4, графа 4 Расчетная табл. 7.4, графа 5 Расчетная табл. 7.4, графа 6 Расчетная табл. 7.4, графа 8

Вычисление сухой биомассы стеблей картофеля m_s ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Расчетная декада	m_s^i на начало декады	TS2	β_s	ΔM	$\beta_s \Delta M$	ω_s	$\omega_s m_s^i$	$\beta_s \Delta M - \omega_s m_s^i$	n	$\Delta M_s = (\beta_s \Delta M - \omega_s m_s^i) n$	$m_s^i + 1 = m_s^i + \Delta M_s$ на конец декады
1	2	3	4	5	6	$7 = 5 \times 6$	8	$9 = 8 \times 3$	$10 = 7 - 9$	11	$12 = 10 \times 11$	$13 = 3 + 12$
Июнь	2	0,68	46	0,345	2,25	0,78	0	0	0,78	3	2,34	3,02
	3	3,02	210	0,205	2,19	0,45	0	0	0,45	10	4,50	7,52
Июль	1	7,52	384	0,460	5,11	2,35	0	0	2,35	10	23,50	31,02
	2	31,02	562	0,830	13,23	10,98	0,0072	0,22	10,76	10	107,60	138,62
	3	138,62	756	0,410	12,60	5,16	0,0070	0,97	4,19	11	46,09	184,71
Август	1	184,71	927	0,030	9,07	0,27	0,0068	1,25	-0,98	10	-9,80	174,91
	2	174,91	1086	0	4,78	0	0,0064	1,12	-1,12	10	-11,20	163,71
	3	163,71	1245	0	2,24	0	0,0058	0,95	-0,95	11	-10,45	153,26
Сентябрь	1	153,26	1370	0	0,83	0	0,0050	0,76	-0,76	10	-7,60	145,66
	2	145,66	1402	0	0,53	0	0,0044	0,73	-0,73	3	-2,19	143,47

V. Описание вычисления сухой биомассы корней картофеля m_r ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.5

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам для получения результатов без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и их графы, где записывается результат счета
$\Delta M_r = (\beta_r \Delta M - \omega_r m_r) n$, где ΔM_r — декадный прирост корней, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ n — количество дней в расчетной декаде m_r — масса корней на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	ΔM_r вычисляется по формуле (7.20) с точностью до 0,01; n устанавливается по таблице исходной информации	Расчетная табл. 7.5, графа 12
$TS2$ — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, $^{\circ}\text{C}$ β_r — коэффициент ростоной функции стеблей картофеля в расчетной декаде, усл. ед.	Для первой расчетной декады начальная масса корней устанавливается по вспомогательной табл. 7.4 согласно густоте стояния на 1 м^2 на декаду входов. Для второй расчетной декады начальной массой будет масса корней, полученная в конце первой декады, т. е. для последующих расчетных декад используется масса корней, полученная в предыдущих декадах $TS2$ переносится из расчетной табл. 7.1, графы 18	Расчетная табл. 7.5, графа 3; расчетная табл. 7.7, графа 5
ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	β_r устанавливается по эталонному графику ростоной функции корней картофеля, построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур, накопленный за расчетную декаду; β_r определяется с точностью до 0,001	Расчетная табл. 7.5, графа 4
ω_r — коэффициент перетока «старых» ассимилятов корней в расчетной декаде	ΔM для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.2, графы 15	Расчетная табл. 7.5, графа 5
ω_r — коэффициент перетока «старых» ассимилятов корней в расчетной декаде	Для расчетных декад, когда сумма среднесуточных температур $TS2 \leq 450^{\circ}\text{C}$, $\omega_r = 0$, а для расчетных декад, когда $TS2 > 450^{\circ}\text{C}$, ω_r устанавливается по вспомогательной табл. 7.3а согласно среднесуточной температуре воздуха в расчетной декаде, округленной до $0,5^{\circ}\text{C}$	Расчетная табл. 7.5, графа 6
		Расчетная табл. 7.5, графа 8

Вычисление сухой биомассы корней картофеля m_r ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Рас- четная декада	m_r^j на начало декады	TS2	β_r	ΔM	$\beta_r \Delta M$	ω_r	$\omega_r m_r$	$\beta_r \Delta M -$ $-\omega_r m_r$	n	$\Delta M_r = (\beta_r \Delta M -$ $-\omega_r m_r) n$	$m_r^j + 1 = \omega_r^j +$ $+\Delta M_r$ на конец декады
1	2	3	4	5	6	7=5×6	8	9=8×3	10=7-9	11	12=10×11	13=3+12
Июнь	2	2,58	46	0,055	2,25	0,120	0	0	0,120	3	0,36	2,94
	3	2,94	210	0,045	2,12	0,090	0	0	0,090	10	0,90	3,84
Июль	1	3,84	384	0,070	5,11	0,357	0	0	0,357	10	3,57	7,41
	2	7,41	562	0,060	13,23	0,794	0,0054	0,040	0,754	10	7,54	14,95
	3	14,95	756	0,001	12,60	0,013	0,0052	0,077	-0,064	11	-0,70	14,25
Август	1	14,25	927	0	9,07	0	0,0051	0,073	-0,073	10	-0,73	13,52
	2	13,52	1086	0	4,78	0	0,0048	0,064	-0,064	10	-0,64	12,88
	3	12,88	1245	0	2,24	0	0,0043	0,055	-0,055	11	-0,60	12,28
Сентябрь	1	12,28	1370	0	0,83	0	0,0037	0,045	-0,045	10	-0,45	11,83
	2	11,83	1402	0	0,53	0	0,0033	0,039	-0,039	3	-0,12	11,71

VI. Описание вычисления сухой биомассы клубней картофеля m_p ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.6

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и граф, где записываются результаты счета
m_p — масса клубней на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Если в расчетную декаду сумма среднесуточных температур $TS2 \leq 400^\circ\text{C}$, то $m_p = 0$; расчет m_p начинается с той декады, когда $TS2 > 400^\circ\text{C}$, т. е. когда коэффициент ростовой функции клубней β_p уже не равен нулю	Расчетная табл. 7.6, графа 3; расчетная табл. 7.7, графа 6
TS2 — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, $^\circ\text{C}$	TS2 переносится из расчетной табл. 7.1, графы 18	Расчетная табл. 7.6, графа 4
$\Delta M_p = (\beta_p \Delta M + \omega_p m_i + \omega_p m_r) n$, где ΔM_p — декадный прирост клубней, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; n — количество дней в расчетной декаде	ΔM_p вычисляется по формуле (7.21) с точностью до 0,01; n устанавливается по таблице исходной информации	Расчетная табл. 7.6, графа 13
β_p — коэффициент ростовой функции клубней картофеля в расчетной декаде, усл. ед.	β_p устанавливается по эталонному графику «Ростовая функция клубней картофеля», построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур, накопленных за расчетную декаду. β_p определяется с точностью до 0,001	Расчетная табл. 7.6, графа 5
ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	ΔM для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.2, графы 15	Расчетная табл. 7.6, графа 6
$\omega_p m_i$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов листьев на массу листьев	$\omega_p m_i$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.3, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 8
$\omega_p m_r$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов стеблей на массу стеблей	$\omega_p m_r$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.4, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 9
$\omega_p m_p$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов корней на массу корней	$\omega_p m_p$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.5, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 10

Вычисление сухой биомассы клубней картофеля m_p ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Расчетная декада	m_p на начало декады	TS2	β_p	ΔM	$\beta_p \Delta M$	$\omega_l m_l$	$\omega_s m_s$	$\omega_r m_r$	$\beta_p \Delta M + \omega_l m_l + \omega_s m_s + \omega_r m_r$	n	ΔM_p	$m_p^{j+1} = m_p^j + \Delta M_p$
1	2	3	4	5	6	$7=5 \times 6$	8	9	10	$11=7+8+9+10$	12	$13=11 \times 12$	$14=13+14$
Июнь	2	0	46	0	2,25	0	0	0	0	0	3	0	0
	3	0	210	0	2,19	0	0	0	0	0	10	0	0
Июль	1	0	384	0	5,11	0	0	0	0	0	10	0	0
	2	0	562	0,060	13,23	0,794	0,25	0,22	0,04	1,304	10	13,04	13,04
	3	13,04	756	0,575	12,60	7,24	0,26	0,97	0,08	8,55	11	94,05	107,09
Август	1	107,09	927	0,970	9,07	8,79	0,25	1,25	0,07	10,36	10	103,60	317,78
	2	317,78	1086	1,0	4,78	4,78	0,22	1,12	0,06	6,18	10	61,80	379,58
	3	379,58	1245	1,0	2,24	2,24	0,19	0,95	0,05	3,43	11	37,73	417,31
Сентябрь	1	417,31	1370	1,0	0,83	0,83	0,15	0,76	0,04	1,78	10	17,80	435,11
	2	435,11	1402	1,0	0,53	0,53	0,13	0,73	0,04	1,43	3	4,41	439,52

VII. Описание вычисления сухой биомассы всего растения M ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) картофеля и площади листьев L ($\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$) за расчетные декады по расчетной табл. 7.7

Органы растения картофеля и площадь ассимилирующей поверхности	Процедура	Номера расчетных таблиц и их графы, где записываются результаты счета
Масса листьев на начало декады m_l $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Переносится из расчетной табл. 7.3, графы 3	Расчетная табл. 7.7, графа 3
Масса стеблей на начало декады m_s $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Переносится из расчетной табл. 7.4, графы 3	Расчетная табл. 7.7, графа 4
Масса корней на начало декады m_r $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Переносится из расчетной табл. 7.5, графы 3	Расчетная табл. 7.7, графа 5
Масса клубней на начало декады m_p $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Переносится из расчетной табл. 7.6, графы 3	Расчетная табл. 7.7, графа 6
Площадь листьев на начало декады L $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$	Переносится из вспомогательной табл. 7.4	Расчетная табл. 7.7, графа 8
Декадный прирост массы листьев ΔM_l $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	Переносится из расчетной табл. 7.3, графы 12	Расчетная табл. 7.7, графа 9

Расчетная таблица 7.7

Вычисление сухой биомассы всего растения картофеля M ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) и площади листьев L ($\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Расчетная декада	На начало декады					
		m_l	m_s	m_r	m_p	$M = m_l + m_s + m_r + m_p$	L
1	2	3	4	5	6	$7=3+4+5+6$	8
Июнь	2	2,25	0,68	2,58	0	5,51	0,059
	3	6,30	3,02	2,94	0	12,26	0,132
Июль	1	22,90	7,52	3,84	0	34,26	0,302
	2	46,90	31,02	7,41	0	85,33	0,738
	3	51,00	138,62	14,95	13,04	217,61	0,812
Август	1	48,83	184,71	14,25	107,09	354,88	0,800
	2	46,33	174,91	13,52	317,78	552,54	0,615
	3	44,13	163,71	12,88	379,58	600,30	0,485
Сентябрь	1	42,04	153,26	12,28	417,31	624,89	0,365
	2	40,54	145,66	11,83	435,11	633,14	0,275

Месяц	Расчетная декада	ΔM_l	Если $\Delta M_l \geq 0$, то $\frac{\Delta M_l}{55}$	Если $\Delta M_l < 0$, то $\frac{\Delta M_l}{16,5}$	L на конец декады
1	2	9	$10=9:(55)$	$11=9:(16,5)$	$12=8+10$
Июнь	2	4,05	0,073		0,132
	3	16,6	0,302		0,302
Июль	1	24	0,436		0,738
	2	4,1	0,074		0,812
	3	-2,17		-0,012	0,800
Август	1	-2,50		-0,150	0,615
	2	-2,20		-0,130	0,485
	3	-2,09		-0,120	0,365
Сентябрь	1	-1,50		-0,090	0,275
	2	-0,39		-0,024	0,251

VIII. Определение тенденции среднеобластной урожайности (ц/га) на 1972 г. по ряду урожайности с 1954 по 1971 г.
($n=18, k=5$)

1. Определение параметров уравнений $y = R(x - \bar{x}) + \bar{y}$ фаз скользящего тренда методом наименьших квадратов

Годы	x	y	$\Delta x = x - \bar{x}$	$\Delta y = y - \bar{y}$	Δx^2	Δy^2	$\Delta x \Delta y$	$\sum \Delta x \Delta y$	$\sum \Delta x^2$	$\sum \Delta y^2$	$\sqrt{\sum \Delta x^2 \times \sum \Delta y^2}$	$\frac{\sum \Delta x \Delta y}{\sum \Delta x^2}$	$\frac{\sum \Delta y^2}{\sum \Delta x^2}$	$\sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{\sum \Delta x^2}}$	R				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14=9:13	15	16	17	18	19=18:16	20=14:19
1954	1	89	-2	-0,4	4	0,16	0,8												
1955	2	78	-1	-1,4	1	129,96	11,4												
1956	3	107	0	17,6	0	309,76	0												
1957	4	84	1	-5,4	1	29,16	-5,4												
1958	5	89	2	-0,4	4	0,16	-0,8												
$\bar{x}=3, \bar{y}=89,4$																			
1955	2	78	-2	-12,2	4	148,84	24,4												
1956	3	107	-1	16,8	1	282,24	-16,8												
1957	4	84	0	-6,2	0	38,44	0												
1958	5	89	1	-1,2	1	1,44	-2,2												
1959	6	93	2	2,8	4	7,84	5,6												
$\bar{x}=4, \bar{y}=90,2$																			
1955	2	78	-2	-12,2	4	148,84	24,4												
1956	3	107	-1	16,8	1	282,24	-16,8												
1957	4	84	0	-6,2	0	38,44	0												
1958	5	89	1	-1,2	1	1,44	-2,2												
1959	6	93	2	2,8	4	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x}=10, \bar{y}=478,8$																			
1955	2	78	-8	-12,2	64	148,84	24,4												
1956	3	107	-7	16,8	49	282,24	-16,8												
1957	4	84	-6	-6,2	36	38,44	0												
1958	5	89	-5	-1,2	25	1,44	-2,2												
1959	6	93	-4	2,8	16	7,84	5,6												
$\bar{x$																			

Аналогично вычисляются параметры оставшихся уравнений фаз скользящего тренда:

$$\begin{aligned} y_3 &= -2,29x + 104,2, & y_7 &= 1,98x + 73,0, & y_{11} &= 4,34x + 53,6, \\ y_4 &= 0,70x + 86,0, & y_8 &= 4,92x + 44,4, & y_{12} &= 4,7x + 46,0, \\ y_5 &= -1,70x + 101,3, & y_9 &= 5,86x + 29,9, & y_{13} &= 4,86x + 42,5, \\ y_6 &= -3,30x + 114,4, & y_{10} &= 6,1x + 28,6, & y_{14} &= 1,19x + 137. \end{aligned}$$

Продолжение расчетной таблицы 7.8

2. Определение гармонических коэффициентов по уравнению

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t} \quad (t = 2, 3, \dots, n-1)$$

Первый гармонический коэффициент определяется по уравнению:

$$m_2 = \frac{1}{n-1}, \quad \text{т. е.} \quad m_2 = \frac{1}{18-1} = \frac{1}{17} = 0,0588,$$

$$m_3 = m_2 + \frac{1}{n-2} = 0,0588 + \frac{1}{18-2} = 0,1213,$$

$$m_4 = m_3 + \frac{1}{n-3} = 0,1213 + \frac{1}{18-3} = 0,1879,$$

$$m_5 = m_4 + \frac{1}{n-4} = 0,1879 + \frac{1}{18-4} = 0,2593,$$

$$m_6 = m_5 + \frac{1}{n-5} = 0,2593 + \frac{1}{18-5} = 0,3362,$$

$$m_7 = m_6 + \frac{1}{n-6} = 0,3362 + \frac{1}{18-6} = 0,4195,$$

$$m_8 = m_7 + \frac{1}{n-7} = 0,4195 + \frac{1}{18-7} = 0,5104,$$

$$m_9 = m_8 + \frac{1}{n-8} = 0,5104 + \frac{1}{18-8} = 0,6104,$$

$$m_{10} = m_9 + \frac{1}{n-9} = 0,6104 + \frac{1}{18-9} = 0,7215,$$

$$m_{11} = 0,8465, \quad m_{12} = 0,9894,$$

$$m_{13} = 1,1561, \quad m_{14} = 1,3561,$$

$$m_{15} = 1,6061, \quad m_{16} = 1,9394,$$

$$m_{17} = 2,4394, \quad m_{18} = 3,4394.$$

3. Определение гармонических весов по формуле

$$C_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{n-1} = \frac{m_{t+1}}{17}$$

$$C_2 = 0,0588 : 17 = 0,0035,$$

$$C_3 = 0,1213 : 17 = 0,0071,$$

$$C_4 = 0,1879 : 17 = 0,0111,$$

$$C_5 = 0,2593, \quad C_6 = 0,0198,$$

$$C_7 = 0,3362, \quad C_8 = 0,0300,$$

$$C_9 = 0,4195, \quad C_{10} = 0,0424,$$

$$C_{11} = 0,5104, \quad C_{12} = 0,0582,$$

$$C_{13} = 0,6104, \quad C_{14} = 0,0798,$$

$$C_{15} = 0,7215, \quad C_{16} = 0,1141,$$

$$C_{17} = 0,8465, \quad C_{18} = 0,2023.$$

Продолжение расчетной таблицы 7.8

4. Определение средних значений (тренда) точек скользящего тренда по выражению

$$\bar{y}_t = \frac{1}{q_t} \sum_{j=1}^{q_t} y_j(t) \quad (j = 1, 2, \dots, q)$$

Год	Расчет
1954	$\bar{y}_1 = 0,62x + 87,5 = 0,62 \cdot 1 + 87,5 = 88,1$
1955	$\bar{y}_2 = (0,62x + 87,5) + (1,18 + 85,5) : 2 = (0,62 \cdot 2 + 87,5) + (1,18 \cdot 2 + 85,5) : 2 = (88,7 + 87,9) : 2 = 88,3$
1956	$\bar{y}_3 = (0,62 \cdot 3 + 87,5) + (1,18 \cdot 3 + 85,5) + (-2,29 \cdot 3 + 104,2) : 3 = (89,0 + 89,4 + 97,3) : 3 = 91,9$
1957	$\bar{y}_4 = (0,62 \cdot 4 + 87,5) + (1,18 \cdot 4 + 85,5) + (-2,29 \cdot 4 + 104,2) + (0,7 \cdot 4 + 86,0) : 4 = 363,9 : 4 = 90,9$
1958	$\bar{y}_5 = (90,6 + 91,4 + 92,8 + 89,5 + 92,8) : 5 = 457,1 : 5 = 91,4$
1959	$\bar{y}_6 = (1,18 \cdot 6 + 85,5) + (-2,29 \cdot 6 + 104,2) + (0,67 \cdot 6 + 86,0) + (-1,7 \cdot 6 + 101,3) + (-3,3 \cdot 6 + 114,4) : 5 = 91,8$
1960	$\bar{y}_7 = (-2,29 \cdot 7 + 85,5) + (0,7 \cdot 7 + 86,0) + (-1,7 \cdot 7 + 101,3) + (-3,3 \cdot 7 + 114,4) + (1,98 \cdot 7 + 73,0) : 5 = 446,7 : 5 = 89,3$
1961	$\bar{y}_8 = (91,6 + 87,7 + 88,0 + 88,8 + 83,8) : 5 = 439,9 : 5 = 88,0$
1962	$\bar{y}_9 = (86 + 84,7 + 90,8 + 88,7 + 82,6) : 5 = 432,8 : 5 = 86,6$
1963	$\bar{y}_{10} = (81,4 + 92,8 + 93,6 + 88,5 + 89,6) : 5 = 445,9 : 5 = 89,2$
1964	$\bar{y}_{11} = (94,8 + 98,5 + 94,4 + 95,7 + 101,3) : 5 = 484,7 : 5 = 96,9$
1965	$\bar{y}_{12} = (103,4 + 100,2 + 101,8 + 105,7 + 104,4) : 5 = 513,5 : 5 = 102,7$
1966	$\bar{y}_{13} = (106,1 + 107,9 + 110 + 107,1 + 105,3) : 5 = 536,8 : 5 = 107,3$
1967	$\bar{y}_{14} = (114 + 114,4 + 118,8 + 110,5 + 120,3) : 5 = 571,0 : 5 = 114,2$
1968	$\bar{y}_{15} = (118,7 + 116,5 + 115,4 + 119,2) : 4 = 469,8 : 4 = 117,4$
1969	$\bar{y}_{16} = (4,7 \cdot 16 + 46,0) + (4,86 \cdot 16 + 42,5) + (-1,19 \cdot 16 + 137) : 3 = (121,2 + 120,3 + 118,0) : 3 = 359,5 : 3 = 119,8$
1970	$\bar{y}_{17} = (4,86 \cdot 17 + 4,25) + (-1,19 \cdot 17 + 137) : 2 = (125,1 + 116,8) : 2 = 241,9 : 2 = 121,0$
1971	$\bar{y}_{18} = -1,19 \cdot 18 + 137 = -21,4 + 137 = 115,6$

Продолжение расчетной таблицы 7.8

5. Определение средних приростов по выражению

$$\bar{\omega}_{t+1} = \sum_{i=1}^{n-1} C_{t+1}^n \omega_{t+1}$$

Год	$\bar{y}_t$ (тренд)	ω_{t+1} (прирост) = $\bar{y}_{t+1} - \bar{y}_t$	C_{t+1}^n (гармонические веса)	$C_{t+1}^n \omega_{t+1}$
1954	88,1	0,2	0,0035	0,0007
1955	88,3	3,6	0,0071	0,0255
1956	91,9	-1,0	0,0111	-0,0111
1957	90,9	0,5	0,0152	0,0076
1958	91,4	0,4	0,0198	0,0079
1959	91,8	-2,5	0,0247	-0,0617
1960	89,3	-1,3	0,0301	-0,0391
1961	88,0	-1,4	0,0359	-0,0502
1962	86,6	2,6	0,0425	0,1105
1963	89,2	7,7	0,0498	0,3834
1964	96,9	5,8	0,0582	0,3375
1965	102,7	4,6	0,0680	0,3128
1966	107,3	6,9	0,0798	0,5506
1967	114,2	3,2	0,0945	0,3024
1968	117,4	2,4	0,1141	0,2738
1969	119,8	1,2	0,1435	0,1722
1970	121,0	-5,5	0,2024	-1,1132
1971	115,6			

$$\sum_{i=1}^{n-1} C_{t+1}^n \omega_{t+1} = 1,2096 \approx 1,2$$

6. Определение тенденции среднеобластной урожайности на прогнозируемый год по формуле $\bar{y}_{t+1} = \bar{y}_t + \bar{\omega}_{t+1}$

$$\bar{y}_{1972} = 115,6 + 1,2 = 116,8 \text{ ц/га}$$

IX. Вычисление среднеобластной оценки (%) агрометеорологических условий формирования урожая картофеля в прогнозируемом году по расчетной табл. 7.9

Описание расчетной табл. 7.9

1. Номера сельскохозяйственных микрорайонов области [83] устанавливаются в зависимости от административной принадлежности станций, ведущих наблюдения за агрометеорологическими условиями формирования урожая картофеля.
2. Станции записываются согласно их принадлежности сельскохозяйственному микрорайону.
3. Площади сельскохозяйственных микрорайонов устанавливаются по [83].
4. Все площади сельскохозяйственных микрорайонов области суммируются.
5. Рассчитанный урожай картофеля m_p ($г \cdot м^{-2}$) по станциям области выписывается из графы 14 для последней декады расчетной табл. 7.6, в которой расчеты производились с учетом погодных условий прогнозируемого года до 30 июня (графа 5).
6. Рассчитанный урожай картофеля m_p ($г \cdot м^{-2}$) по станциям области выписывается из графы 14 для последней декады расчетной табл. 7.6, в которой расчеты производились с учетом погодных условий прогнозируемого года до 31 июля (графа 6).
7. Рассчитанный урожай картофеля m_p ($г \cdot м^{-2}$) по станциям области выписывается для последней декады из графы 14 расчетной табл. 7.6, в которой расчеты производились с учетом среднееголетних погодных условий (графа 7).
8. Для получения оценки условий (%) на 30 июня прогнозируемого года по станциям рассчитанный урожай ($г \cdot м^{-2}$) с учетом фактических данных до 30 июня делится на рассчитанный урожай ($г \cdot м^{-2}$) с учетом среднееголетних данных и умножается на 100 (графа 8).
9. Для получения оценки условий (%) на 31 июля прогнозируемого года по станциям рассчитанный урожай ($г \cdot м^{-2}$) с учетом фактических данных до 31 июля делится на рассчитанный урожай ($г \cdot см^{-2}$) с учетом среднееголетних данных и умножается на 100 (графа 9).
- 10, 11. Оценки условий, полученные на 30 июня и 31 июля для каждой станции микрорайона (графы 8 и 9), суммируются и делятся на число станций, входящих в этот микрорайон (графы 10 и 11).
12. Площадь сельскохозяйственного микрорайона (графа 3) умножается на среднюю оценку условий микрорайона на 30 июня, полученную в графе 10.
13. Площадь сельскохозяйственного микрорайона (графа 3) умножается на среднюю оценку условий микрорайона на 31 июля, полученную в графе 11.
14. Суммируются произведения, полученные в графе 12.
15. Суммируются произведения, полученные в графе 13.
16. Сумма произведений, полученная в графе 14, делится на сумму графы 4.
17. Сумма произведений, полученная в графе 15, делится на сумму графы 4.

Расчетная таблица 7.9
Среднеобластная оценка агрометеорологических условий формирования урожая картофеля в прогнозируемом 1973 г. по Московской области

Номер сельскохозяйственного микрорайона области	Станция	Площадь сельскохозяйственного микрорайона, % от общей площади области	Сумма площадей сельскохозяйственных микрорайонов	Рассчитанный урожай ($t \cdot m^{-2}$) по станциям				Оценка условий по станциям, %	
				по фактическим данным на 30 VI 1973 г.	по фактическим данным на 31 VII 1973 г.	по среднееголетним данным	на 30 VI 1973 г.	на 31 VII 1973 г.	
									5
42	Можайск Небольшино Дмитров Волоколамск	50,2	78,8	415,74 310,79 476,50 514,99	376,89 326,82 467,69 476,74	349,41 289,50 364,92 379,64	118,98 107,35 130,58 135,65	107,86 112,89 128,16 125,58	
43 45	Михайловка Кашира	20,4 8,2		427,96 439,24	394,36 395,05	439,52 398,15	97,36 110,32	89,72 99,22	
Номер сельскохозяйственного микрорайона области	Станция	Средняя оценка условий по сельскохозяйственным микрорайонам	Произведение площади, занятых сельскохозяйственными микрорайонами, на среднюю оценку условий по сельскохозяйственным микрорайонам	Сумма произведений		Среднеобластная оценка условий			
				на 30 VI 1973 г.	на 31 VII 1973 г.	на 30 VI 1973 г.	на 31 VII 1973 г.		
								10	11
1	2			12 = 3 × 10	13 = 3 × 11		16 = 14 : 4	17 = 15 : 4	
42	Можайск Небольшино Дмитров Волоколамск	123,14 97,36 110,32	118,62 89,72 99,22	6181,63 1986,14 904,62	5954,72 1830,29 813,60				
43 45	Михайловка Кашира					9072,39	8598,61	115,13 109,12	

Х. Прогноз среднеобластной урожайности картофеля Y_n (ц/га) по расчетной табл. 7.10
Описание граф расчетной табл. 7.10

1	2	3	4	5
Тенденция среднеобластной урожайности картофеля на прогнозируемый год	Средняя по области оценка условий на 30 июня переписывается из графы 16 расчетной табл. 7.9	Средняя по области оценка условий на 31 июля переписывается из графы 17 расчетной табл. 7.9	Ожидаемая среднеобластная урожайность по оценке на 30 июня вычисляется по формуле: $Y_n = 0,01 Y_{t+1} C_{обл.}$ где Y_{t+1} — тенденция среднеобластной урожайности на прогнозируемый год; $C_{обл.}$ — среднеобластная оценка условий на 30 июня	Ожидаемая среднеобластная урожайность по оценке на 31 июля вычисляется по формуле: $Y_n = 0,01 Y_{t+1} C_{обл.}$ где Y_{t+1} — тенденция среднеобластной урожайности на прогнозируемый год; $C_{обл.}$ — среднеобластная оценка условий на 31 июля

Расчетная таблица 7.10

Прогноз среднеобластной урожайности картофеля Y_n (ц/га) на 1973 г. в Московской области

Тенденция среднеобластной урожайности на прогнозируемый год, ц/га	Средняя по области оценка условий, %		Ожидаемая среднеобластная урожайность картофеля по оценке
	на 30 VI 1973 г.	на 31 VII 1973 г.	
1	2	3	5
122	115	109	140
			133

Фактический среднеобластной урожай картофеля в 1973 г. в Московской области составил 141 ц/га.

Глава 8

О прогнозировании урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации

Развитие методов агрометеорологического прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур опирается на получение оценок по площади как различных агрометеорологических параметров, так и показателей состояния посевов. Необходим переход от измерений агрометеорологических параметров в точке, характеризующей условия произрастания культур на отдельных полях, к получению оценок по площади, позволяющих судить об условиях формирования урожая на больших территориях. Аэрофотометрический метод определения параметров растительного покрова [54, 160] повышает точность оценок состояния посевов сельскохозяйственных культур по площади. Однако площади районов, где пролегают маршруты аэрофотометрических обследований, намного меньше тех площадей, по которым ведется расчет средних значений состояния посевов. Таким образом, так же как и использование стандартной агрометеорологической информации, интерпретация фотометрической информации связана с решением задачи распространения ее на территории, значительно большие по сравнению с обследованными. С появлением качественно новой (аэрофотометрической) информации также возникает новая задача — согласование в единой схеме прогноза наземной и самолетной информации.

Переход от данных в точке к данным по площади, согласование разнородной информации возможны при использовании методов объективного анализа, которые позволяют получать значения рассматриваемых параметров в узлах регулярной сетки. Метод агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых культур опирается, с одной стороны, на выполнение на основе методов объективного анализа разработок [148] по приведению разнородной как в качественном, так и в пространственном смысле агрометеорологической информации к одной точке (узел регулярной сетки), с другой — на создание динамической модели формирования урожая этих культур, для которой в качестве основы принята модель продуктивности озимой пшеницы в весенне-летний период вегетации [132].

Прогноз урожая осуществляется с использованием предложенного в [121] показателя отношения урожайности двух смежных лет.

8.1. Основы метода агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации

Метод агрометеорологического прогноза урожайности яровых зерновых культур [149] включает в себя упрощенный метод оптимальной интерполяции, позволяющей преобразовать с учетом

закономерностей пространственной изменчивости параметра исходную агрометеорологическую информацию в отдельных точках в поле значений агрометеорологических параметров, т. е. интерполировать значения каждого из рассматриваемых параметров в узлы регулярной сетки, и метод оценки агрометеорологических условий формирования урожая, основанный на динамической модели продуктивности ранних яровых зерновых культур, расчеты по которой ведутся в узлах регулярной сетки. Фотометрическая информация корректирует эти расчеты.

Оценка агрометеорологических условий осуществляется по отношению к предыдущему году. Изменение рассчитанных с помощью модели урожаев яровых культур в смежные годы ставится во взаимоднозначное изменение хозяйственной урожайности в эти годы. Для прогноза урожая используется отношение урожая двух смежных лет.

8.1.1. Основы упрощенного метода оптимальной интерполяции

Метод оптимальной интерполяции, предложенный в [21], заключается в определении значений какого-либо параметра в заранее заданных точках исследуемой территории (узлы регулярной сетки) по данным случайных в пространственном отношении из-

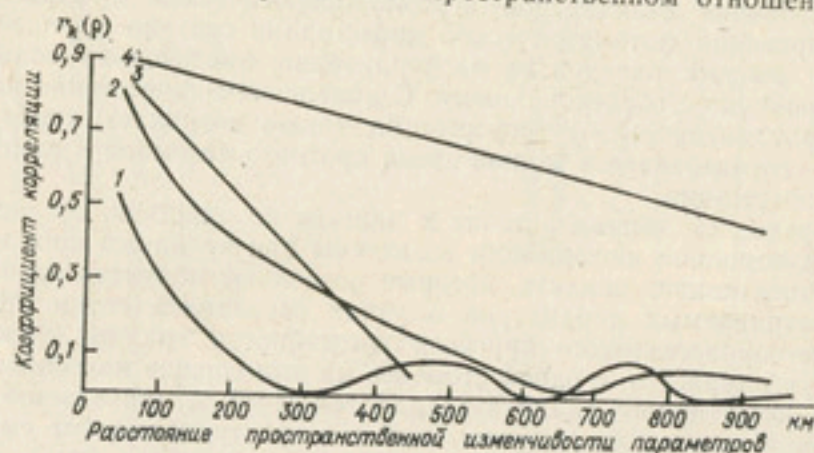


Рис. 8.1. Пространственные корреляционные функции параметров.

1 — влагозапасы (мм) в слое 0—50 см; 2 — биомасса яровых культур в фазу колошения (ц/га); 3 — средняя максимальная температура и средняя суточная температура воздуха в расчетных декадах (°C); 4 — среднее число часов солнечного сияния в расчетных декадах.

мерений. Интерполяция любого k -го параметра в узлы регулярной сетки производится с учетом его пространственной изменчивости. Для определения пространственной изменчивости используются данные о статистической структуре анализируемых полей. Пространственные корреляционные функции рассматриваемых нами агрометеорологических параметров получены в предположении, что все исследуемые параметры однородны и изотропны по всей изучаемой территории (рис. 8.1). Методика расчета этих функций была принята аналогичной изложенной в [182].

Для интерполяции значений в узел регулярной сетки использовано соотношение вида

$$f(r_0) = \frac{\sum_{i=1}^n f(r_i) P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (8.1)$$

где $f(r_0)$ — искомое значение в некоторой точке поля r_0 , на которую производится интерполяция (в нашем случае — узел регулярной сетки); $f(r_i)$ — известные значения исходных данных в некоторых точках r_i (точках наблюдения); P_i — вес параметра, зависящий от расстояния между узлом регулярной сетки и пунктом наблюдения, определяемый по корреляционной функции параметра $r_k(\rho)$.

Величина r_i обозначает расстояние между узлом регулярной сетки и пунктом наблюдения и определяется с помощью следующей формулы:

$$r_i = 12724 \sqrt{\left(\sin \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right)^2 + \left(\sin \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2}\right)^2}, \quad (8.2)$$

где φ_1, λ_1 — соответственно широта и долгота узла; φ_2, λ_2 — широта и долгота пункта наблюдения, в десятых долях градуса.

Интерполяция любого значения в узел сетки производится по данным не более чем восьми станций. Дальнейшее увеличение числа станций практически не изменяет конечный результат.

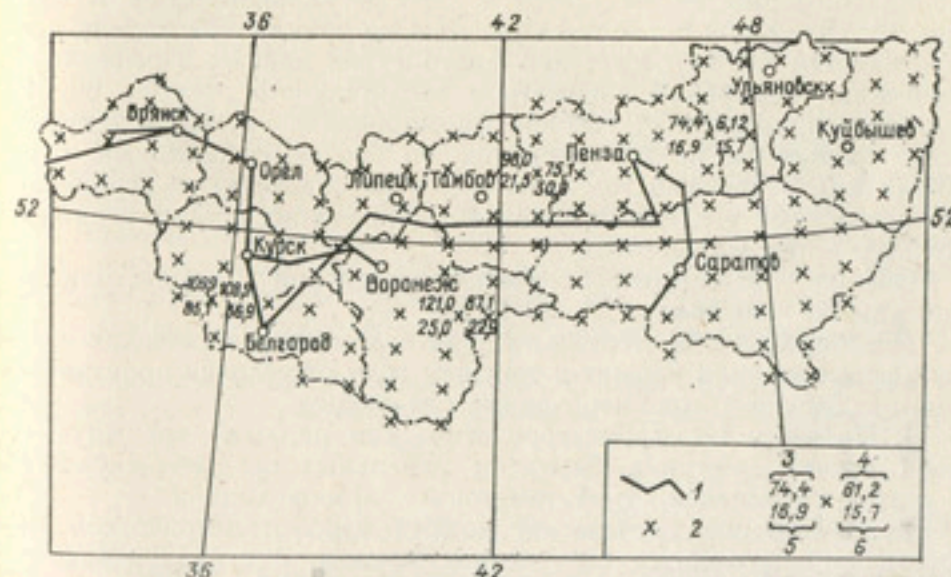


Рис. 8.2. Регулярная сетка рассчитанных значений агрометеорологических параметров.

1 — маршруты, 2 — узел регулярной сетки, 3 — биомасса, 4 — влагозапасы, 5 — максимальная температура воздуха (°C) за декаду, 6 — средняя температура воздуха (°C) за декаду.

Выбор восьми значимых станций производится по условию $r_i < r_0$, где r_0 — расстояние, на котором корреляционная функция параметра перестает быть значимой. Если в окружности с центром в узле регулярной сетки и радиусом r_i находится больше восьми станций, то значение интерполируемого параметра определяется по восьми ближайшим к центру станциям; если число станций меньше, то интерполяция не производится.

Таким образом, вся требуемая для выполнения расчетов исходная агрометеорологическая информация преобразуется из информации в отдельных точках (с помощью упрощенного метода оптимальной интерполяции) в поле значений рассматриваемых параметров. Каждый из необходимых агрометеорологических параметров рассчитывается в узлы регулярной сетки.

В качестве примера на рис. 8.2 приведена регулярная сетка расчетных значений биомасс яровых зерновых культур, полученных с помощью аэрофотометрических измерений, влагозапасов полуметрового слоя почвы, средней суточной и средней максимальной температуры воздуха. Шаг сетки выбран равным $0,5^\circ$. На рис. 8.2 представлены также маршруты полетов.

8.1.2. Основы метода оценки агрометеорологических условий формирования урожая яровых зерновых культур

Оценка условий произрастания ранних яровых зерновых культур осуществляется с помощью динамической модели формирования урожая (раздел 6.3.3). Как отмечалось в разделе 8.1.1, вся исходная информация выводится в узлы регулярной сетки. В каждом из этих узлов проводятся расчеты по прикладной модели продуктивности. Из-за отсутствия многолетних данных аэрофотометрических измерений параметров растительного покрова оценка агрометеорологических условий формирования урожая в текущем году проводится не по сравнению со среднепогодными условиями или условиями года-аналога, а по сравнению с агрометеорологическими условиями произрастания ранних яровых зерновых культур в предыдущем году.

Оценка агрометеорологических условий осуществляется дважды: 23—30 июня и 23—31 июля.

Для определения степени отличия агрометеорологических условий формирования урожая в текущем году от условий произрастания предыдущего года необходимо следующее:

1. Провести по агрометеорологическим данным предыдущего года расчет динамики биомассы отдельных органов и урожая с учетом имеющейся аэрофотометрической информации.

Корректировка расчета по модели аэрофотометрической информацией проводится следующим образом. В декаду аэрофотометрических обследований посевов ранних яровых зерновых культур вместо расчетных значений биомассы отдельных органов и площади ассимилирующей поверхности в схему вводятся измеренные значения биомассы. Фотометрическая информация содержит

сведения об общей надземной биомассе без дифференциации по органам. В связи с этим рассчитанные на декаду проведения аэрофотометрических обследований значения биомассы отдельных органов используются для определения соотношения органов в общей надземной биомассе, что позволяет определить биомассу каждого из органов по фактическим измерениям общей надземной биомассы $m_{\text{изм}}$:

$$m_{\text{изм}} = \frac{\hat{m}_i}{\hat{M}} M_{\text{изм}}, \quad i \in l, s, p, \quad (8.3)$$

где $\hat{m}_i$ — рассчитанные по модели на декаду проведения аэрофотометрических обследований значения биомассы i -го органа растений; $\hat{M}$ — рассчитанные по модели за декаду проведения аэрофотометрических обследований значения надземной биомассы растения; $M_{\text{изм}}$ — измеренные с помощью аэрометода значения надземной биомассы; l, s, p — соответственно листья, стебли, колосья.

Проводится также корректировка площади ассимилирующей поверхности, для чего рассчитывается площадь листьев $L_{\text{изм}}$ по данным аэрофотометрических измерений:

$$L_{\text{изм}} = m_{\text{изм}}/z, \quad (8.4)$$

где z — удельная поверхностная плотность листьев.

Таким образом, после аэрофотометрических обследований посевов ранних яровых культур в декаду обследований при расчетах по модели вместо расчетных значений биомассы и площади ассимилирующей поверхности вводятся измеренные значения.

2. На следующем этапе необходимо провести по агрометеорологическим данным текущего года с учетом аэрофотометрической информации расчет динамики биомассы отдельных органов и урожая, причем от всходов до декады проведения аэрофотометрических обследований используются агрометеорологические данные текущего года, а после обследований — предыдущего года.

3. Затем необходимо сопоставить урожай, рассчитанный по агрометеорологическим данным текущего года $\hat{m}_{\text{р тек}}$, с урожаем, рассчитанным по агрометеорологическим данным предыдущего года $\hat{m}_{\text{р пред}}$:

$$C = \hat{m}_{\text{р тек}}/\hat{m}_{\text{р пред}}, \quad (8.5)$$

где C — оценка агрометеорологических условий формирования урожая текущего года.

В результате расчетов оценок агрометеорологических условий формирования урожая ранних яровых зерновых культур в узлах регулярной сетки получается поле значений C . После проведения

изолиний равных значений C_i будут получены зоны равных значений оценок.

Средняя по территории области (республики) оценка условий произрастания ранних яровых культур $C_{обл}$ определяется по выражению:

$$C_{обл} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_i k_i, \quad (8.6)$$

где $\bar{C}_i$ — средняя оценка условий i -й зоны; k_i — площадь, занятая i -й зоной, в долях от общей площади области.

8.1.3. Прогноз урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации

Прогноз урожайности ранних яровых зерновых культур осуществляется дважды — 23—30 июня и 23—31 июля.

Прогнозируемая среднеобластная урожайность $Y_{пр}$ определяется по выражению

$$Y_{пр} = Y_{пред} C_{обл}, \quad (8.7)$$

где $Y_{пред}$ — средняя областная урожайность ранних яровых зерновых культур в предыдущем году.

8.2. Метод агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации

8.2.1. Подготовка входных данных для расчета динамики формирования урожая биомассы яровых зерновых культур по декадам на ЭВМ типа ЕС

Исходные данные содержатся во входном потоке в стандартном наборе данных SYSIN. Ниже приводятся исходные данные, необходимые для работы программы, в порядке ввода их в ЭВМ.

1. Карта коэффициентов соотношения органов в растении при созревании:

$c_l = 0,23$ — доля листьев в растении,

$c_s = 0,33$ — доля стебля,

$c_r = 0,16$ — доля корня,

$c_p = 0,28$ — доля колоса.

Формат записи 4F4.2.

2. Информационная карта

Обозначения в алгоритме	Тип данных	Формат записи	Обозначения в программе	В контрольном примере
N	Целое десятичное	13	N	$\emptyset \emptyset 9$
i	Целое десятичное	13	NUS	$\emptyset \emptyset 22$
t_p	Целое десятичное	13	T $\emptyset$	$\emptyset \emptyset 51$
Nl	Целое десятичное	13	Nl	$\emptyset \emptyset 22$
Kc	Целое десятичное	13	ND	$\emptyset \emptyset 7$

где N — количество декад; NUS — количество узлов сетки; T $\emptyset$ — число дней от 20 марта до всходов, включая день всходов; Nl — количество дней, оставшихся в мае; ND — номер декады, в которой проведена аэрофотометрия.

№ п/п	Обозначения	В контрольном примере	Пояснения
1	0	0	
2	0	0	
3	0	0	
4	0	0	
5	0	0	
6	0	0	
7	W_{HB}	80,0	Наименьшая влагоемкость, мм
8	0	0	
9	m_l	3,771	Масса листьев в первой декаде, г·м ⁻²
10	m_s	20,95	Масса стеблей в первой декаде, г·м ⁻²
11	m_r	9,218	Масса корней в первой декаде, г·м ⁻²
12	m_p	0	Масса колосов в первой декаде, г·м ⁻²
13	L	0,264	Площадь листовой поверхности, м ² ·м ⁻²
14	0	0	
15	0	0	
16	0	0	
17	0	0	
18	0	0	
19	0	0	
20	0	0	
21	0	0	
22	α_{ϕ_i}	0,5	Значение α_{ϕ_i} в точке 0
23	0	0	
24	0	0	
25	t_{opt}^1	210,0	Оптимальная сумма температур для α_{ϕ_i} , °C
26	0	0	
27	0	0	
28	$t_{opt_l}^2$	235,0	Оптимальные суммы температур для ростовых функций листьев, стеблей, корней, колосов соответственно
29	$t_{opt_s}^2$	285,0	
30	$t_{opt_r}^2$	285,0	
31	$t_{opt_p}^2$	565,0	
32	t_p	280,0	Температура колошения, °C

№ п/п	Обозначения	В контрольном примере	Пояснения
33	t_{opt}^3	210,0	Оптимальная сумма температур для σ_{R_1} , °C
34	0	0	
35	0	0	
36	0	0	
37	a	2,0	Значение $\alpha_{R_{I_0}}$ в точке 0
38	$\alpha_{R_{I_0}}$	0,5	
39	0	0	
40	0	0	
41	0	0	Поверхностная плотность листьев, г·м ⁻²
42	z_l	50,0	
43	0	0	
44	0	0	

Формат записи 11F7.3.

3. Массив числа дней каждой декады DV (15).

В контрольном примере

Декада	I/V	II/V	III/V	I/VI	II/VI	III/VI	I/VII	II/VII	III/VII
Количество дней	001	010	011	010	010	010	010	010	011

Формат записи 1413

4. Массив долгот узлов DOLUS.

5. Массив широт узлов SIUS.

Формат записи 16F5.1.

6. Карта с константой NST, количество станций с измерениями T_{max} и T_{cp} .

Формат записи 13.

7. Массив долгот станций DOLT.

8. Массив широт станций SIT.

9. Карта с константой NST, число станций с измерениями SS.

10. Массив долгот станций, DOIS.

11. Массив широт станций SIS (16F5.2).

12. Карта с константами NST, D8, R, X для расчета в узлы сетки значений T_{max} и T_{cp} .

Здесь NST — количество станций; D8 — признак, определяющий вид зависимости для расчета весов P_h .

При D8=1 расчет весов ведется для T_{max} , T_{cp} и SS; при D8=2 — для влагозапасов; при D8=3 — для биомассы; R — радиус поиска влияющих станций; X(1), X(2), X(3), X(4) — коэффициенты зависимости. Назначение констант п. 12 однозначно для обработки всех метеопараметров.

Формат записи 213; 5F8.4.

13. Массив измерений T_{max} , TMAX.

14. Массив измерений T_{cp} , TS.

Формат записи 16F5.2.

15. Карта констант для влагозапасов.

16. Массив долгот станций DOLST.

17. Массив широт станций SIST.

18. Массив измерений влагозапасов WØ.

Формат записи 13F6.2.

19. Карта констант числа часов солнечного сияния.

20. Массив измерений часов солнечного сияния.

Формат записи 16F5.2.

Формирование данных для следующих декад аналогично п. 12—20.

21. Карта констант для биомассы.

22. Массив долгот пунктов пролета.

23. Массив широт пунктов пролета.

Формат записи 16F5.2.

24. Массив измерений биомассы.

Формат записи 16F5.1.

Формирование данных последующих декад повторяется с п. 12 по п. 20, причем данные берутся за предыдущий год.

Инструкция к программе

Для работы программы (табл. 8.1, 8.2) необходимо составить следующий поток управления заданием:

- 1) //SXDMOPT JOB;
- 2) //STEP EXEC FORTGCLG;
- 3) //FORT SYSIN DD *;
- 4) управляющая программа, подпрограммы; WWK, OPTI, MODEL;
- 5) /*;
- 6) //GO. SYSIN DD *;
- 7) исходные данные;
- 8) //.


```

0001      C
0002      DEКАДНАЯ ВАРИАНТ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ ЯР. КУЛЬТУР
0003      COMMON /A1/DOLUS(400),SIUS(400),TMUS(400),TSUS(400),MUS(400),SSUS
0004      1(400),SNUS(400),MUS/A2/USML(400),USMS(400),USMR(400),USMP(400),
0005      USM(400),ULL(400),TS2(400),INF(50),DV(15),KD,J5,TB,N1/A3/DOLST
0006      1(600),SIST(600),THAX(150),TS(150),W0(150),SS(150),B10(600),
0007      100LT(150),S1T(150),DOLUS(150),SIUS(150),X(14),NST,DB,R
0008      REAL INF
0009      INTEGER DB
0010      INTEGER TB,DV
0011      READ (5,100)N,MUS,TB,N1,ND
0012      READ (5,101) (INF(I),I=1,44)
0013      READ (5,115) (DV(I),I=1,N)
0014      READ (5,2) (DOLUS(I),I=1,NUS)
0015      READ (5,2) (SIUS(I),I=1,NUS)
0016      DO 11 I=1,NUS
0017      DOLUS(I)=-0.17454*DOLUS(I)
0018      11 SIUS(I)=-0.17453*SIUS(I)
0019      DO 9 I=1,NUS
0020      TS2(I)=0.0
0021      9 USM(I)=0.0
0022      DO 12 I=1,NUS
0023      USML(I)=INF(9)
0024      USMS(I)=INF(10)
0025      USMR(I)=INF(11)
0026      USMP(I)=INF(12)
0027      ULL(I)=INF(13)
0028      DO 10 I=1,NUS
0029      USM(I)=USML(I)+USMS(I)+USMR(I)+USMP(I)

```

```

0024      KD=B
0025      CALL MKK
0026      DO 214 J5=1,N
0027      READ (5,103)NST,DB,R,X
0028      READ (5,102) (THAX(I),I=1,NST)
0029      READ (5,102) (TS(I),I=1,NST)
0030      WRITE (6,110)NST,DB,R,X
0031      DO 202 I=1,NST
0032      DOLST(I)=DOL(I)
0033      SIST(I)=SIT(I)
0034      202 B10(I)=THAX(I)
0035      CALL OPTI
0036      DO 203 I=1,NUS
0037      TMUS(I)=SNUS(I)
0038      DO 208 I=1,NST
0039      B10(I)=TS(I)
0040      CALL OPTI
0041      DO 209 I=1,NUS
0042      TSUS(I)=SNUS(I)
0043      READ (5,103)NST,DB,R,X
0044      READ (5,104) (DOLST(I),I=1,NST)
0045      READ (5,104) (SIST(I),I=1,NST)
0046      READ (5,104) (W0(I),I=1,NST)
0047      WRITE (6,110)NST,DB,R,X
0048      DO 210 I=1,NST
0049      DOLST(I)=0.017453*DOLST(I)
0050      SIST(I)=0.017453*SIST(I)
0051      B10(I)=W0(I)
0052      CALL OPTI
0053      DO 211 I=1,NUS

```

```

0054      211 MUS(I)=SNUS(I)
0055      READ (5,103)NST,DB,R,X
0056      READ (5,102) (SS(I),I=1,NST)
0057      WRITE (6,110)NST,DB,R,X
0058      DO 212 I=1,NST
0059      DOLST(I)=DOLST(I)
0060      SIST(I)=SIST(I)
0061      B10(I)=SS(I)
0062      CALL OPTI
0063      DO 213 I=1,NUS
0064      SSUS(I)=SNUS(I)
0065      CALL MODEL
0066      IF (J5.EQ.N0) GO TO 215
0067      GO TO 210
0068      215 READ (5,103)NST,DB,R,X
0069      READ (5,102) (DOLST(I),I=1,NST)
0070      READ (5,102) (SIST(I),I=1,NST)
0071      READ (5,2) (B10(I),I=1,NST)
0072      WRITE (6,110)NST,DB,R,X
0073      DO 216 I=1,NST
0074      DOLST(I)=0.17453*DOLST(I)
0075      SIST(I)=0.17453*SIST(I)
0076      CALL OPTI
0077      CALL MKK
0078      DO 217 I=1,NUS
0079      IF (SNUS(I).EQ.555.5) GO TO 217
0080      PR=USML(I)/USM(I)
0081      USML(I)=SNUS(I)*PR
0082      PR=USMS(I)/USM(I)
0083      USMS(I)=SNUS(I)*PR
0084      PR=USMR(I)/USM(I)

```



```

0005 USMR(I)=SNUS(I)*PR
0006 PR=USMP(I)/USM(I)
0007 USMP(I)=SNUS(I)*PR
0008 USM(I)=SNUS(I)
0009
0010 WRITE (6,100) (USM(I), I=1,NUS)
0011 WRITE (6,100) (USM(I), I=1,NUS)
0012 WRITE (6,100) (USMR(I), I=1,NUS)
0013 WRITE (6,100) (USMP(I), I=1,NUS)
0014 WRITE (6,100) (USM(I), I=1,NUS)
0015 WRITE (6,100) (ULL(I), I=1,NUS)
0016 KD=KD+D/(J5)
0017
0018 CONTINUE
0019
0020 2 FORMAT (16F5.1)
0021 100 FORMAT (513)
0022 101 FORMAT (11F7.3)
0023 102 FORMAT (16F5.2)
0024 103 FORMAT (213,5F8.4)
0025 104 FORMAT (13F6.2)
0026 109 FORMAT (/ ,12X,16F7.2)
0027 110 FORMAT (/ ,2X,4HNSI=,13,3X,3HD8=,12,3X,2HR=,F6.1,3X,5HX(1)=,F8.4,
0028 13X,5HX(2)=,F8.4,3X,5HX(3)=,F8.4,3X,5HX(4)=,F8.4)
0029 115 FORMAT (14I3)
0030
0031 END

```

```

0001 SUBROUTINE WWK
0002 COMMON /A3/DOLST(600),SIST(600),TMAX(130),TS(130),W0(130),SS(130)
0003 1,810(600),DOLT(130),SIT(130),DOLS(130),SIS(130),X(4),NST,08,R
0004 READ (5,105)NST
0005 READ (5,102) (DOLST(I), I=1,NST)
0006 READ (5,102) (SIST(I), I=1,NST)
0007 DO 13 I=1,NST
0008 DOLT(I)=.017453*DOLST(I)
0009 SIT(I)=.017453*SIST(I)
0010 READ (5,105)NST
0011 READ (5,102) (DOLST(I), I=1,NST)
0012 READ (5,102) (SIST(I), I=1,NST)
0013 DO 14 I=1,NST
0014 DOLS(I)=.017453*DOLST(I)
0015 SIS(I)=.017453*SIST(I)
0016 102 FORMAT (16F5.2)
0017 105 FORMAT (13)
0018 RETURN
0019 END

```

```

0021 SUBROUTINE OPTI
0022 DIMENSION RASST(8),USIS(8),STIS(130),USN(130)
0023 COMMON /A1/DOLUS(400),SUS(400),TMUS(400),TSUS(400),MUS(400),SSUS
0024 1(400),SNUS(400),NUS/A3/DOLST(600),SIST(600),TMAX(130),TS(130),
0025 2W0(130),SS(130),010(600),DOLT(130),SIT(130),DOLS(130),SIS(130),
0026 2X(4),NST,08,R
0027 INTEGER 08
0028 USK=555.5
0029 DO 18 I=1,400
0030 SNUS(I)=0.0
0031 DO 40 I=1,NUS
0032 DO 23 L=1,8
0033 RASST(L)=0.0
0034 USIS(L)=0.0
0035 DO 25 L=1,90
0036 STIS(L)=0.0
0037 USN(L)=0.0
0038 K=0
0039 DO 38 J=1,NST
0040 RAS=12742.0*SQRT(SIN((SISUS(I)-SIST(J))/2.0)*2+5*IN(DOLS(I)-DOLST
0041 1(J))/2.0)*0.2)
0042 IF (RAS.GT.R) GO TO 38
0043 K=K+1
0044 STIS(K)=RAS
0045 USN(K)=BIO(J)
0046
0047 CONTINUE
0048 IF (K.EQ.0) GO TO 44
0049 IF (K.LE.8) GO TO 60
0050 DO 59 L=1,8
0051 I=L
0052 R1=STIS(I)
0053 J=I+1
0054 IF (R1.GT.R2) GO TO 200
0055 J=J+1
0056 IF (J1.GT.K) GO TO 300
0057 GO TO 100

```



```

0034      200 I1=J1
0035      R1=R2
0036      J1=J1+1
0037      IF (I1.GE.K) GO TO 300
0038      GO TO 100
0039      RASST(L1)=STIS(I1)
0040      USIS(L1)=USN(I1)
0041      STIS(I1)=R
0042      50 CONTINUE
0043      80 SUM1=0.0
0044      SUM2=0.0
0045      IF (K.LE.0) GO TO 75
0046      K=8
0047      75 DO 90 K1=1,K
0048      IF (D0.EQ.1) GO TO 76
0049      IF (D0.EQ.2) GO TO 51
0050      RAB=X(1)/RASST(K1)+X(2)
0051      GO TO 77
0052      51 RAB=X(1)*EXP(X(2)*RASST(K1))+X(3)*EXP(X(4)*RASST(K1))
0053      GO TO 77
0054      76 RAB=-X(1)*RASST(K1)+X(2)
0055      77 SUM1=SUM1+RAB
0056      RAB=RAB*USIS(K1)
0057      SUM2=SUM2+RAB
0058      90 CONTINUE
0059      SNUS(I)=SUM2/SUM1
0060      GO TO 40
0061      44 SNUS(I)=USK
0062      . GO TO 40
0063      60 DO 70 I1=1,K
0064      USIS(I1)=USN(I1)
0065      RASST(I1)=STIS(I1)
0066      70 CONTINUE
0067      GO TO 80
0068      40 CONTINUE
0069      RETURN
0070      END

```

```

0081      SUBROUTINE MODEL
0082      COMMON /A1/DOLUS(400),SIUS(400),TMUS(400),TSUS(400),WUS(400),SSUS
0083      1(400),SNUS(400),NUS/A2/USML(400),USMS(400),USMR(400),USMP(400),
0084      USH(400),ULL(400),TS2(400),INF(50),DV(15),KD,J5,T0,N1
0085      INTEGER T0,DV
0086      REAL KSIFL,KSIFP,J0,J3,INF
0087      INTEGER G1,G2
0088      A1=100.*ALOG(INF(22))/(INF(25)**2)
0089      A2=-100.*ALOG(INF(30))/(INF(33)**2)
0090      N1=30-N1+1
0091      DO 99 I=1,NUS
0092      G1=KD+1
0093      IF (USM(I1).EQ.555.5) GO TO 98
0094      IF (TMUS(I1).EQ.555.5) GO TO 98
0095      IF (TSUS(I1).EQ.555.5) GO TO 98
0096      IF (SSUS(I1).EQ.555.5) GO TO 98
0097      IF (WUS(I1).EQ.555.5) GO TO 98
0098      IF (USIS(I1).EQ.555.5) GO TO 98
0099      G2=1
0100      51=0.0
0101      52=0.0
0102      53=0.0
0103      54=0.0
0104      56=0.0
0105      57=0.0
0106      58=0.0
0107      59=0.0
0108      510=0.0
0109      511=0.0
0110      512=0.0
0111      513=0.0
0112      514=0.0
0113      515=0.0
0114      516=0.0
0115      517=0.0
0116      518=0.0
0117      519=0.0
0118      520=0.0
0119      521=0.0
0120      522=0.0
0121      523=0.0
0122      524=0.0
0123      525=0.0
0124      526=0.0
0125      527=0.0
0126      528=0.0
0127      529=0.0
0128      530=0.0
0129      531=0.0
0130      532=0.0
0131      533=0.0
0132      534=0.0
0133      535=0.0
0134      536=0.0
0135      537=0.0
0136      538=0.0
0137      539=0.0
0138      540=0.0
0139      541=0.0
0140      542=0.0
0141      543=0.0
0142      544=0.0
0143      545=0.0
0144      546=0.0
0145      547=0.0
0146      548=0.0
0147      549=0.0
0148      550=0.0
0149      551=0.0
0150      552=0.0
0151      553=0.0
0152      554=0.0
0153      555=0.0
0154      556=0.0
0155      557=0.0
0156      558=0.0
0157      559=0.0
0158      560=0.0
0159      561=0.0
0160      562=0.0
0161      563=0.0
0162      564=0.0
0163      565=0.0
0164      566=0.0
0165      567=0.0
0166      568=0.0
0167      569=0.0
0168      570=0.0
0169      571=0.0
0170      572=0.0
0171      573=0.0
0172      574=0.0
0173      575=0.0
0174      576=0.0
0175      577=0.0
0176      578=0.0
0177      579=0.0
0178      580=0.0
0179      581=0.0
0180      582=0.0
0181      583=0.0
0182      584=0.0
0183      585=0.0
0184      586=0.0
0185      587=0.0
0186      588=0.0
0187      589=0.0
0188      590=0.0
0189      591=0.0
0190      592=0.0
0191      593=0.0
0192      594=0.0
0193      595=0.0
0194      596=0.0
0195      597=0.0
0196      598=0.0
0197      599=0.0
0200      600=0.0
0201      601=0.0
0202      602=0.0
0203      603=0.0
0204      604=0.0
0205      605=0.0
0206      606=0.0
0207      607=0.0
0208      608=0.0
0209      609=0.0
0210      610=0.0
0211      611=0.0
0212      612=0.0
0213      613=0.0
0214      614=0.0
0215      615=0.0
0216      616=0.0
0217      617=0.0
0218      618=0.0
0219      619=0.0
0220      620=0.0
0221      621=0.0
0222      622=0.0
0223      623=0.0
0224      624=0.0
0225      625=0.0
0226      626=0.0
0227      627=0.0
0228      628=0.0
0229      629=0.0
0230      630=0.0
0231      631=0.0
0232      632=0.0
0233      633=0.0
0234      634=0.0
0235      635=0.0
0236      636=0.0
0237      637=0.0
0238      638=0.0
0239      639=0.0
0240      640=0.0
0241      641=0.0
0242      642=0.0
0243      643=0.0
0244      644=0.0
0245      645=0.0
0246      646=0.0
0247      647=0.0
0248      648=0.0
0249      649=0.0
0250      650=0.0
0251      651=0.0
0252      652=0.0
0253      653=0.0
0254      654=0.0
0255      655=0.0
0256      656=0.0
0257      657=0.0
0258      658=0.0
0259      659=0.0
0260      660=0.0
0261      661=0.0
0262      662=0.0
0263      663=0.0
0264      664=0.0
0265      665=0.0
0266      666=0.0
0267      667=0.0
0268      668=0.0
0269      669=0.0
0270      670=0.0
0271      671=0.0
0272      672=0.0
0273      673=0.0
0274      674=0.0
0275      675=0.0
0276      676=0.0
0277      677=0.0
0278      678=0.0
0279      679=0.0
0280      680=0.0
0281      681=0.0
0282      682=0.0
0283      683=0.0
0284      684=0.0
0285      685=0.0
0286      686=0.0
0287      687=0.0
0288      688=0.0
0289      689=0.0
0290      690=0.0
0291      691=0.0
0292      692=0.0
0293      693=0.0
0294      694=0.0
0295      695=0.0
0296      696=0.0
0297      697=0.0
0298      698=0.0
0299      699=0.0
0300      700=0.0
0301      701=0.0
0302      702=0.0
0303      703=0.0
0304      704=0.0
0305      705=0.0
0306      706=0.0
0307      707=0.0
0308      708=0.0
0309      709=0.0
0310      710=0.0
0311      711=0.0
0312      712=0.0
0313      713=0.0
0314      714=0.0
0315      715=0.0
0316      716=0.0
0317      717=0.0
0318      718=0.0
0319      719=0.0
0320      720=0.0
0321      721=0.0
0322      722=0.0
0323      723=0.0
0324      724=0.0
0325      725=0.0
0326      726=0.0
0327      727=0.0
0328      728=0.0
0329      729=0.0
0330      730=0.0
0331      731=0.0
0332      732=0.0
0333      733=0.0
0334      734=0.0
0335      735=0.0
0336      736=0.0
0337      737=0.0
0338      738=0.0
0339      739=0.0
0340      740=0.0
0341      741=0.0
0342      742=0.0
0343      743=0.0
0344      744=0.0
0345      745=0.0
0346      746=0.0
0347      747=0.0
0348      748=0.0
0349      749=0.0
0350      750=0.0
0351      751=0.0
0352      752=0.0
0353      753=0.0
0354      754=0.0
0355      755=0.0
0356      756=0.0
0357      757=0.0
0358      758=0.0
0359      759=0.0
0360      760=0.0
0361      761=0.0
0362      762=0.0
0363      763=0.0
0364      764=0.0
0365      765=0.0
0366      766=0.0
0367      767=0.0
0368      768=0.0
0369      769=0.0
0370      770=0.0
0371      771=0.0
0372      772=0.0
0373      773=0.0
0374      774=0.0
0375      775=0.0
0376      776=0.0
0377      777=0.0
0378      778=0.0
0379      779=0.0
0380      780=0.0
0381      781=0.0
0382      782=0.0
0383      783=0.0
0384      784=0.0
0385      785=0.0
0386      786=0.0
0387      787=0.0
0388      788=0.0
0389      789=0.0
0390      790=0.0
0391      791=0.0
0392      792=0.0
0393      793=0.0
0394      794=0.0
0395      795=0.0
0396      796=0.0
0397      797=0.0
0398      798=0.0
0399      799=0.0
0400      800=0.0
0401      801=0.0
0402      802=0.0
0403      803=0.0
0404      804=0.0
0405      805=0.0
0406      806=0.0
0407      807=0.0
0408      808=0.0
0409      809=0.0
0410      810=0.0
0411      811=0.0
0412      812=0.0
0413      813=0.0
0414      814=0.0
0415      815=0.0
0416      816=0.0
0417      817=0.0
0418      818=0.0
0419      819=0.0
0420      820=0.0
0421      821=0.0
0422      822=0.0
0423      823=0.0
0424      824=0.0
0425      825=0.0
0426      826=0.0
0427      827=0.0
0428      828=0.0
0429      829=0.0
0430      830=0.0
0431      831=0.0
0432      832=0.0
0433      833=0.0
0434      834=0.0
0435      835=0.0
0436      836=0.0
0437      837=0.0
0438      838=0.0
0439      839=0.0
0440      840=0.0
0441      841=0.0
0442      842=0.0
0443      843=0.0
0444      844=0.0
0445      845=0.0
0446      846=0.0
0447      847=0.0
0448      848=0.0
0449      849=0.0
0450      850=0.0
0451      851=0.0
0452      852=0.0
0453      853=0.0
0454      854=0.0
0455      855=0.0
0456      856=0.0
0457      857=0.0
0458      858=0.0
0459      859=0.0
0460      860=0.0
0461      861=0.0
0462      862=0.0
0463      863=0.0
0464      864=0.0
0465      865=0.0
0466      866=0.0
0467      867=0.0
0468      868=0.0
0469      869=0.0
0470      870=0.0
0471      871=0.0
0472      872=0.0
0473      873=0.0
0474      874=0.0
0475      875=0.0
0476      876=0.0
0477      877=0.0
0478      878=0.0
0479      879=0.0
0480      880=0.0
0481      881=0.0
0482      882=0.0
0483      883=0.0
0484      884=0.0
0485      885=0.0
0486      886=0.0
0487      887=0.0
0488      888=0.0
0489      889=0.0
0490      890=0.0
0491      891=0.0
0492      892=0.0
0493      893=0.0
0494      894=0.0
0495      895=0.0
0496      896=0.0
0497      897=0.0
0498      898=0.0
0499      899=0.0
0500      900=0.0
0501      901=0.0
0502      902=0.0
0503      903=0.0
0504      904=0.0
0505      905=0.0
0506      906=0.0
0507      907=0.0
0508      908=0.0
0509      909=0.0
0510      910=0.0
0511      911=0.0
0512      912=0.0
0513      913=0.0
0514      914=0.0
0515      915=0.0
0516      916=0.0
0517      917=0.0
0518      918=0.0
0519      919=0.0
0520      920=0.0
0521      921=0.0
0522      922=0.0
0523      923=0.0
0524      924=0.0
0525      925=0.0
0526      926=0.0
0527      927=0.0
0528      928=0.0
0529      929=0.0
0530      930=0.0
0531      931=0.0
0532      932=0.0
0533      933=0.0
0534      934=0.0
0535      935=0.0
0536      936=0.0
0537      937=0.0
0538      938=0.0
0539      939=0.0
0540      940=0.0
0541      941=0.0
0542      942=0.0
0543      943=0.0
0544      944=0.0
0545      945=0.0
0546      946=0.0
0547      947=0.0
0548      948=0.0
0549      949=0.0
0550      950=0.0
0551      951=0.0
0552      952=0.0
0553      953=0.0
0554      954=0.0
0555      955=0.0
0556      956=0.0
0557      957=0.0
0558      958=0.0
0559      959=0.0
0560      960=0.0
0561      961=0.0
0562      962=0.0
0563      963=0.0
0564      964=0.0
0565      965=0.0
0566      966=0.0
0567      967=0.0
0568      968=0.0
0569      969=0.0
0570      970=0.0
0571      971=0.0
0572      972=0.0
0573      973=0.0
0574      974=0.0
0575      975=0.0
0576      976=0.0
0577      977=0.0
0578      978=0.0
0579      979=0.0
0580      980=0.0
0581      981=0.0
0582      982=0.0
0583      983=0.0
0584      984=0.0
0585      985=0.0
0586      986=0.0
0587      987=0.0
0588      988=0.0
0589      989=0.0
0590      990=0.0
0591      991=0.0
0592      992=0.0
0593      993=0.0
0594      994=0.0
0595      995=0.0
0596      996=0.0
0597      997=0.0
0598      998=0.0
0599      999=0.0
0600      1000=0.0
0601      1001=0.0
0602      1002=0.0
0603      1003=0.0
0604      1004=0.0
0605      1005=0.0
0606      1006=0.0
0607      1007=0.0
0608      1008=0.0
0609      1009=0.0
0610      1010=0.0
0611      1011=0.0
0612      1012=0.0
0613      1013=0.0
0614      1014=0.0
0615      1015=0.0
0616      1016=0.0
0617      1017=0.0
0618      1018=0.0
0619      1019=0.0
0620      1020=0.0
0621      1021=0.0
0622      1022=0.0
0623      1023=0.0
0624      1024=0.0
0625      1025=0.0
0626      1026=0.0
0627      1027=0.0
0628      1028=0.0
0629      1029=0.0
0630      1030=0.0
0631      1031=0.0
0632      1032=0.0
0633      1033=0.0
0634      1034=0.0
0635      1035=0.0
0636      1036=0.0
0637      1037=0.0
0638      1038=0.0
0639      1039=0.0
0640      1040=0.0
0641      1041=0.0
0642      1042=0.0
0643      1043=0.0
0644      1044=0.0
0645      1045=0.0
0646      1046=0.0
0647      1047=0.0
0648      1048=0.0
0649      1049=0.0
0650      1050=0.0
0651      1051=0.0
0652      1052=0.0
0653      1053=0.0
0654      1054=0.0
0655      1055=0.0
0656      1056=0.0
0657      1057=0.0
0658      1058=0.0
0659      1059=0.0
0660      1060=0.0
0661      1061=0.0
0662      1062=0.0
0663      1063=0.0
0664      1064=0.0
0665      1065=0.0
0666      1066=0.0
0667      1067=0.0
0668      1068=0.0
0669      1069=0.0
0670      1070=0.0
0671      1071=0.0
0672      1072=0.0
0673      1073=0.0
0674      1074=0.0
0675      1075=0.0
0676      1076=0.0
0677      1077=0.0
0678      1078=0.0
0679      1079=0.0
0680      1080=0.0
0681      1081=0.0
0682      1082=0.0
0683      1083=0.0
0684      1084=0.0
0685      1085=0.0
0686      1086=0.0
0687      1087=0.0
0688      1088=0.0
0689      1089=0.0
0690      1090=0.0
0691      1091=0.0
0692      1092=0.0
0693      1093=0.0
0694      1094=0.0
0695      1095=0.0
0696      1096=0.0
0697      1097=0.0
0698      1098=0.0
0699      1099=0.0
0700      1100=0.0
0701      1101=0.0
0702      1102=0.0
0703      1103=0.0
0704      1104=0.0
0705      1105=0.0
0706      1106=0.0
0707      1107=0.0
0708      1108=0.0
0709      1109=0.0
0710      1110=0.0
0711      1111=0.0
0712      1112=0.0
0713      1113=0.0
0714      1114=0.0
0715      1115=0.0
0716      1116=0.0
0717      1117=0.0
0718      1118=0.0
0719      1119=0.0
0720      1120=0.0
0721      1121=0.0
0722      1122=0.0
0723      1123=0.0
0724      1124=0.0
0725      1125=0.0
0726      1126=0.0
0727      1127=0.0
0728      1128=0.0
0729      1129=0.0
0730      1130=0.0
0731      1131=0.0
0732      1132=0.0
0733      1133=0.0
0734      1134=0.0
0735      1135=0.0
0736      1136=0.0
0737      1137=0.0
0738      1138=0.0
0739      1139=0.0
0740      1140=0.0
0741      1141=0.0
0742      1142=0.0
0743      1143=0.0
0744      1144=0.0
0745      1145=0.0
0746      1146=0.0
0747      1147=0.0
0748      1148=0.0
0749      1149=0.0
0750      1150=0.0
0751      1151=0.0
0752      1152=0.0
0753      1153=0.0
0754      1154=0.0
0755      1155=0.0
0756      1156=0.0
0757      1157=0.0
0758      1158=0.0
0759      1159=0.0
0760      1160=0.0
0761      1161=0.0
0762      1162=0.0
0763      1163=0.0
0764      1164=0.0
0765      1165=0.0
0766      1166=0.0
0767      1167=0.0
0768      1168=0.0
0769      1169=0.0
0770      1170=0.0
0771      1171=0.0
0772      1172=0.0
0773      1173=0.0
0774      1174=0.0
0775      1175=0.0
0776      1176=0.0
0777      1177=0.0
0778      1178=0.0
0779      1179=0.0
0780      1180=0.0
0781      1181=0.0
0782      1182=0.0
0783      1183=0.0
0784      1184=0.0
0785      1185=0.0
0786      1186=0.0
0787      1187=0.0
0788      1188=0.0
0789      1189=0.0
0790      1190=0.0
0791      1191=0.0
0792      1192=0.0
0793      1193=0.0
0794      1194=0.0
0795      1195=0.0
0796      1196=0.0
0797      1197=0.0
0798      1198=0.0
0799      1199=0.0
0800      1200=0.0
0801      1201=0.0
0802      1202=0.0
0803      1203=0.0
0804      1204=0.0
0805      1205=0.0
0806      1206=0.0
0807      1207=0.0
0808      1208=0.0
0809      1209=0.0
0810      1210=0.0
0811      1211=0.0
0812      1212=0.0
0813      1213=0.0
0814      1214=0.0
0815      1215=0.0
0816      1216=0.0
0817      1217=0.0
0818      1218=0.0
0819      1219=0.0
0820      1220=0.0
0821      1221=0.0
0822      1222=0.0
0823      1223=0.0
0824      1224=0.0
0825      1225=0.0
0826      1226=0.0
0827      1227=0.0
0828      1228=0.0
0829      1229=0.0
0830      1230=0.0
0831      1231=0.0
0832      1232=0.0
0833      1233=0.0
0834      1234=0.0
0835      1235=0.0
0836      1236=0.0
0837      1237=0.0
0838      1238=0.0
0839      1239=0.0
0840      1240=0.0
0841      1241=0.0
0842      1242=0.0
0843      1243=0.0
0844      1244=0.0
0845      1245=0.0
0846      1246=0.0
0847      1247=0.0
0848      1248=0.0
0849      1249=0.0
0850      1250=0.0
0851      1251=0.0
0852      1252=0.0
0853      1253=0.0
0854      1254=0.0
0855      1255=0.0
0856      1256=0.0
0857      1257=0.0
0858      1258=0.0
0859      1259=0.0
0860      1260=0.0
0861      1261=0.0
0862      1262=0.0
0863      1263=0.0
0864      1264=0.0
0865      1265=0.0
0866      1266=0.0
0867      1267=0.0
0868      1268=0.0
0869      1269=0.0
0870      1270=0.0
0871      1271=0.0
0872      1272=0.0
0873      1273=0.0
0874      1274=0.0
0875      1275=0.0
0876      1276=0.0
0877      1277=0.0
0878      1278=0.0
0879      1279=0.0
0880      1280=0.0
0881      1281=0.0
0882      1282=0.0
0883      1283=0.0
0884      1284=0.0
0885      1285=0.0
0886      1286=0.0
0
```



```

0035 S1=S1+DELTA
0036 S2=S2+A
0037 S3=S3+B
0038 S4=S4+TZ
0039 S5=S5+TV
0040 TS1=TSUS(I)-5.
0041 IF (TS1.LT.0.) TS1=1.
0042 TS2(I)=TS2(I)+TS1
0043 AFL=EXP(-A1*((TS2(I)-INF(25))/10.))**2)
0044 ARL=EXP(-A2*((TS2(I)-INF(33))/10.))**2)
0045 B1=INF(37)/INF(28)
0046 B1=-B1
0047 DHL=(-2.3026*B1*10.**(INF(37)+B1*TS2(I))*1000.+.20)/
6(1.+10.**(INF(37)+B1*TS2(I)))**2
0048 B1=INF(37)/INF(29)
0049 B1=-B1
0050 DHS=(-2.3026*B1*10.**(INF(37)+B1*TS2(I))*1000.+.30)/
6(1.+10.**(INF(37)+B1*TS2(I)))**2
0051 B1=INF(37)/INF(30)
0052 B1=-B1
0053 DMR=(-2.3026*B1*10.**(INF(37)+B1*TS2(I))*1000.+.15)/
6(1.+10.**(INF(37)+B1*TS2(I)))**2
0054 R1=TS2(I)-INF(32)
0055 IF (R1.LT.0.) GO TO 62
0056 B1=INF(37)/(INF(31)-INF(32))
0057 B1=-B1
0058 DMP=(-2.3026*B1*10.**(INF(37)+B1*R1))*1000.+.35)/
6(1.+10.**(INF(37)+B1*R1)))**2
0059 GO TO 63
0060 62 DMP=0.
0061 63 S6=S6+AFL
0062 S7=S7+ARL
0063 S8=S8+DHL
0064 S9=S9+DHS
0065 S10=S10+DMR
0066 S11=S11+DMP
0067 G1=G1+1
0068 G2=G2+1
0069 GO TO 81

```

```

0070 82 DELTA=S1/OV(J5)
0071 A=S2/OV(J5)
0072 B=S3/OV(J5)
0073 TZ=S4/OV(J5)
0074 TV=S5/OV(J5)
0075 TAUD=TZ-TV
0076 AFL=S6/OV(J5)
0077 ARL=S7/OV(J5)
0078 DHL=S8/OV(J5)
0079 DHS=S9/OV(J5)
0080 DMP=S10/OV(J5)
0081 DMR=S11/OV(J5)
0082 DM=DHL+DHS+DMR+DMP
0083 BL=DHL/DM
0084 BS=DHS/DM
0085 BR=DMR/DM
0086 BP=DMP/DM
0087 Q=12.66*SSUS(I)**1.31+315.*(A+B)**2.1
0088 J0=.5*Q/(TAUD*60.)
0089 IF (THUS(I).LT.0.) GO TO 98
0090 IF (G1.LE.NN1) GO TO 6
0091 IF (G1.LE.NN1+30) GO TO 7
0092 IF (G1.LE.NN1+61) GO TO 8
0093 TD=.073*THUS(I)-.686
0094 GO TO 9
0095 6 TD=.056*THUS(I)-1.008
0096 GO TO 9
0097 7 TD=.091*THUS(I)-1.081
0098 GO TO 9
0099 8 TD=.023*THUS(I)+.559
0100 W1=WUS(I)/INF(7)
0101 XSIFL=((TD+10.)/30.)*(0.39982944*(TD-20.)/10.)*
6((34.-TD)/14.)*(1.38058*(TD-20.)/10.)
0102 IF (INF(7).LE.05.) GO TO 60
0103 GAMF=2.899*EXP(-0.917*W1)-3.64*EXP(-2.73*W1)
0104 GO TO 61
0105 60 GAMF=4.2*EXP(-0.703*W1)-5.48*EXP(-1.648*W1)
0106 61 IF (GAMF.LT.0.) GAMF=0.
0107 JJ=J0/(1.+.5*ULL(I))
0108 FQL=15.*555.6*JJ/(15.+555.6*JJ)

```


Обозначения в программе

```

0109 FTL=AFL*FBL*KSIFL*GAMF
0110 FL=.68*FTL*ULL(I)*TAUD*.1
0111 DMH=FL-ARL*(.015*USH(I)+.28*FL)
0112 R5=2.*INF(31)-INF(32)
0113 B1=.3*USML(I)*TS1/(R5-2.*INF(28))
0114 IF (TS2(I).LT.2.*INF(28)) GO TO 64
0115 GO TO 65
0116 64 B1=0.
0117 65 USML(I)=USML(I)+(BL*DMH-B1)*DV(J5)
0118 B2=.3*USMS(I)*TS1/(R5-2.*INF(29))
0119 IF (TS2(I).LT.2.*INF(29)) GO TO 83
0120 GO TO 84
0121 83 B2=0.
0122 84 USMS(I)=USMS(I)+(BS*DMH-B2)*DV(J5)
0123 B3=.3*USMR(I)*TS1/(R5-2.*INF(30))
0124 IF (TS2(I).LT.2.*INF(30)) GO TO 85
0125 GO TO 86
0126 85 B3=0.
0127 86 USMR(I)=USMR(I)+(BR*DMH-B3)*DV(J5)
0128 USMP(I)=USMP(I)+(BP*DMH+B1+B2+B3)*DV(J5)
0129 R1=(BL*DMH-B1)*DV(J5)
0130 IF (R1.LT.0.) GO TO 66
0131 ULL(I)=ULL(I)+R1/INF(42)
0132 GO TO 97
0133 66 ULL(I)=ULL(I)+R1/(INF(42)+.3)
0134 97 USM(I)=USML(I)+USMS(I)+USMR(I)+USMP(I)
0135 GO TO 99
0136 98 USML(I)=555.5
0137 USMS(I)=555.5
0138 USMR(I)=555.5
0139 USMP(I)=555.5
0140 USM(I)=555.5
0141 ULL(I)=555.5
0142 99 CONTINUE
0143 RETURN
0144 END

```

№ п/п	Обозначения, принятые при описании динамической модели (разд. 2.2.2)	Символ печати (обозначения на ФОРТРАНЕ)	Пояснения
1	M^k	USM	Масса всего растения
2	m_l^k	USML	Масса листьев
3	m_s^k	USMS	Масса стеблей
4	m_r^k	USMR	Масса корней
5	m_p^k	USMP	Масса колосьев
6	δ^k	DELTA	Склонение Солнца
7	τ_z^k	TZ	Время захода Солнца
8	τ_n^k	TV	Время восхода Солнца
9	TS2	TS2	Сумма среднесуточных температур
10	$\alpha_{\Phi_l}^k$	AFL	Онтогенетическая кривая фотосинтеза листьев
11	$t_{opt_l}^1$	INF(25)	Оптимальная сумма температур для α_{Φ_l}
12	$\alpha_{R_l}^k$	ARL	Онтогенетическая кривая дыхания листьев
13	$t_{opt_l}^3$	INF(33)	Оптимальная сумма температур для α_{R_l}
14	β_l	BL	Ростовая функция листьев
15	β_s	BS	Ростовая функция стеблей
16	β_r	BR	Ростовая функция корней
17	β_p	BP	Ростовая функция колосьев
18	Δm_l	DML	Прирост листьев
19	Δm_s	DMS	Прирост стеблей
20	Δm_r	DMR	Прирост корней
21	Δm_p	DMP	Прирост колосьев
22	Q^k	Q	Суммарная радиация
23	I^k	I0	Интенсивность ФАР на верхней границе посева
24	T_d^k	TD	Дневная температура
25	T_{max}^k	TMAX	Максимальная температура
26	$\psi_{\Phi_l}^k$	KSIFL	Температурная кривая фотосинтеза
27	γ_{Φ}^k	GAMF	Влажностная кривая фотосинтеза
28	W_{HB}	INF(7)	Наименьшая влагоемкость

№ п/п	Обозначения, принятые при описании динамической модели (разд. 2.2.2)	Символ печати (обозначения на ФОРТРАНЕ)	Пояснения
29	$t_{opt_l}^2$	INF(28)	Оптимальные суммы температур для ростовых функций листьев, стеблей, корней, колосьев соответственно
30	$t_{opt_s}^2$	INF(29)	
31	$t_{opt_r}^2$	INF(30)	
32	$t_{opt_p}^2$	INF(31)	
33	I_n^k	II	Интенсивность ФАР внутри посева
34	L_l^n	LL	Площадь листовой поверхности
35	Φ_{ol}^k	FOL	Интенсивность фотосинтеза листьев при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности и реальной освещенности
36	$\Phi_{\tau_l}^k$	FTL	Интенсивность фотосинтеза листьев в реальных условиях среды
37	Φ_l^k	FL	Суммарный фотосинтез листьев за декаду
38	ΔM^k	DMM	Прирост массы всего растения
39	U_l	B1	Переток ассимилятов из листьев
40	U_s	B2	Переток ассимилятов из стеблей
41	U_r	B3	Переток ассимилятов из корней
42	t_p	INF(32)	Температура колошения
43	n^k	DV(15)	Число дней каждой декады
44	k	I5	Номер декады
45	j	G1	Номер суток

Возможности программы

1. Не более 400 узлов регулярной сетки.
2. Не более 600 значений аэрофотометрии.
3. Не более 130 наблюдений на станциях.

Возможности программы могут быть увеличены или уменьшены путем внесения изменений в операторы размерности COMMON как в управляющей программе, так и в подпрограммах.

8.2.2. Выходные данные результата счета по программе.

Описание выходных данных

Для каждой декады выдаются:

1. Строка констант для расчета T_{max} и T_{cp} в узлы регулярной сетки.

2. Строка констант для расчета влагозапасов.
3. Строка констант для расчета числа часов солнечного сияния.
4. Массив массы листьев по числу узлов регулярной сетки.
5. Массив массы стеблей.
6. Массив массы корней.
7. Массив массы колосьев.
8. Массив общей массы растений.
9. Массив площади листьев.

Для той декады, в которой было проведено аэрофотометрическое измерение массы, на печать выдается четвертая строка констант для расчета биомассы ($3'$).

8.3. Пример составления агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур

8.3.1. Подготовка исходных данных для составления прогноза (таблицы исходных данных)

Для выполнения всех расчетов необходимо иметь следующие данные:

- 1) широту и долготу пунктов наземных наблюдений с десятичными долями градусов;
- 2) широту и долготу пунктов аэрофотометрических наблюдений с десятичными долями градусов;
- 3) координаты узлов, в которые производится интерполяция исходных значений, с десятичными долями градусов;
- 4) значение наименьшей влагоемкости $W_{ив}$ для полуметрового слоя почвы;
- 5) дата появления всходов (дата перехода средней суточной температуры через 7°C весной). По дню появления всходов устанавливается первая расчетная декада;
- 6) дата наступления восковой спелости. По дню наступления восковой спелости устанавливается последняя расчетная декада;
- 7) агрометеорологическую информацию и аэрофотометрическую информацию за весь расчетный период;

n — количество дней в расчетных декадах;

T_{cp} — среднесуточная температура воздуха ($^\circ\text{C}$) в расчетных декадах;

T_{max} — средняя максимальная температура воздуха ($^\circ\text{C}$) в расчетных декадах;

SS — среднее число часов солнечного сияния в расчетных декадах;

W — запасы влаги (мм) в полуметровом слое почвы;

$M_{изм}$ — биомасса растительности, определенная с помощью аэрофотометрических измерений;

8) размеры отдельных органов «среднего ярового» растения на день всходов:

m_l^0 — масса листьев, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$,

Исходная агрометеорологическая информация
(среднее число часов солнечного сияния за декаду, биомасса)

№	Координаты станций		Среднее число часов солнечного сияния за декаду	№	Координаты станций		Измеренная биомасса, г·м ⁻²
	долгота	широта			долгота	широта	

1973 г.

1	38,80	56,40	6,0	1	36,10	52,20	330,0
2	42,20	55,30	8,1	2	36,11	53,76	780,0
25	53,80	56,50	7,3	383	39,40	57,47	340,0
26	36,50	54,10	6,4	384	39,45	57,40	415,0

1974 г.

1	50,80	59,30	7,5	1	40,32	55,75	300,0
2	49,90	57,60	8,3	2	40,45	55,86	780,0
13	54,10	57,10	8,9	47	43,49	56,87	650,0
14	34,20	53,60	3,9	48	43,53	56,85	225,0

Примечание. Все данные по метеорологии приведены за 1-ю декаду мая.

Таблица 8.5

Координаты узлов, по которым ведутся расчеты

№	Долгота	Широта	№	Долгота	Широта
1	36,5	54,5	12	38,0	53,0
2	36,5	55,0	13	38,0	53,5
3	37,0	53,5	14	38,0	54,0
4	37,0	54,0	15	38,0	54,5
5	37,0	54,5	16	38,0	57,5
6	37,0	55,0	17	38,0	58,0
7	37,5	53,5	18	38,0	58,5
8	37,5	54,0	19	38,5	53,0
9	37,5	54,5	20	38,5	53,5
10	37,5	58,0	21	38,5	54,0
11	37,5	58,5	22	38,5	54,5

 m_s^0 — масса стеблей, г·м⁻², m_r^0 — масса корней, г·м⁻², $M^0 = m_s^0 + m_r^0 + m_l^0$ — начальная масса всего растения, г·м⁻², L_l^0 — площадь листьев, м²·м⁻².

Пример составления исходной информации приведен в табл. 8.3—8.5.

Таблица 8.3

Исходная агрометеорологическая информация (температура воздуха, запасы влаги в почве)

№	Координаты станций		Температура воздуха		№	Координаты станций		Запасы влаги в слое 0—50 см
	долгота	широта	средне-максимальная	средне-декадная		долгота	широта	

1973 г.

1	47,90	58,80	13,4	7,4	1	63,77	56,72	70,0
2	43,10	55,20	17,0	11,7	2	57,78	56,69	90,0
117	38,20	54,00	17,1	12,5	59	45,50	55,53	47,0
118	34,40	54,10	19,2	13,2	60	50,62	55,35	102,0

1974 г.

1	48,30	59,90	14,5	7,9	1	62,33	59,43	104,0
2	52,70	59,70	15,0	9,1	2	60,78	58,87	101,0
55	38,00	53,60	17,1	11,8	59	44,0	56,18	35,0
56	36,90	53,50	16,3	11,8	60	45,80	57,85	96,0

Дата всходов в 1973 г. — 10 мая, период вегетации с 1-й декады мая по 3-ю декаду июля включительно. Фотометрирование посевов проводилось в 1-й декаде июля. Дата всходов в 1974 г. — 10 мая, период вегетации с 1-й декады мая по 3-ю декаду июля включительно. Фотометрирование посевов проводилось в 1-й декаде июля. Декадные данные за 1973 г. по максимальной и средней температуре воздуха приведены по одним и тем же 118 станциям за весь период, а по солнечному сиянию — по 26 станциям. За 1974 г. данные по $T_{\max}$ и $T_{\text{ср}}$ приведены по 56 станциям, по солнечному сиянию — по 14 станциям. Данные по влагозапасам, взятые для каждой декады по тем станциям, где проводились наблюдения, поэтому их количество различно.

Расчет урожайности яровых зерновых проводился для 22 узлов регулярной сетки нечерноземной зоны за 1973 и 1974 гг. на примере Тульской области (табл. 8.6).

Таблица 8.6

Оценка условий формирования урожая зерновых яровых культур

№	Вычисленные значения биомассы репродуктивных органов, г·м ⁻²		Оценка условий
	1973 г.	1974 г.	
1	372,29	265,21	0,71
2	418,08	278,29	0,67
3	273,26	161,04	0,59
4	255,01	257,79	1,01
5	316,73	262,13	0,83
6	353,90	240,86	0,68
7	177,29	240,26	1,36
8	200,70	250,15	1,25
9	333,45	229,22	0,69
10	251,99	188,08	0,75
11	251,22	211,48	0,84
12	368,61	240,53	0,65
13	345,37	243,09	0,70
14	176,80	209,06	1,18
15	334,25	218,48	0,65
16	286,55	189,32	0,66
17	247,18	212,72	0,86
18	308,75	214,34	0,69
19	411,53	244,65	0,59
20	457,83	218,09	0,48
21	475,75	207,16	0,44
22	289,43	203,29	0,70

8.3.2. Прогноз урожайности яровых зерновых культур

Рассчитаем урожайность за 1973 г. Подготовим входные данные в соответствии с разделом 8.3.2 по материалам 1973 г. с коррек-

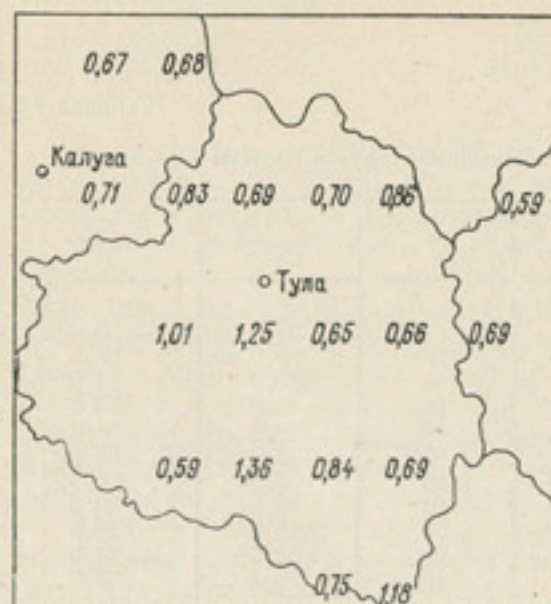


Рис. 8.3. Оценка условий формирования урожая зерновых яровых культур в узлах регулярной сетки.

тировкой последних фотометрической информацией (табл. 8.4, 8.5).

Осуществим расчеты за 1974 г. До даты составления прогноза используем материалы 1974 г., затем 1973 г. (табл. 8.4, 8.5). В соответствии с выражением (8.5) произведем оценку формирования урожайности в 1974 г. (табл. 8.6). Схематическая карта этих оценок, полученных в узлах регулярной сетки, показана на рис. 8.3. Так как у нас освещена данными не вся территория области, то среднюю по области оценку получаем путем простого осреднения оценок в узлах регулярной сетки. Для 1974 г. эта оценка равна 0,943. Урожай ранних яровых зерновых культур в Тульской области в 1973 г. составил 18,9 ц/га. В соответствии с принятой формулой прогноза (8.7) прогнозируемый на 1974 г. урожай составляет 17,8 ц/га.

Заключение

Развитие прикладного моделирования и прогнозирования продуктивности посевов связано с успехами в создании количественной теории фотосинтеза и изучении колеблемости урожаев сельскохозяйственных культур. Методология динамико-статистического прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур базируется на моделировании влияния агрометеорологических условий на фотосинтетическую продуктивность посевов и исследовании закономерностей временных рядов урожаев, синтезе статистического и динамического подходов в прогнозировании урожайности [132].

Теоретические исследования в рамках этого направления включают три основных этапа:

- моделирование влияния агрометеорологических условий на продукционный процесс растений (ППР);
- исследование влияния погодных условий на ППР;
- разработку теоретических основ прогнозирования агрометеорологических процессов.

В качестве ключевого звена — количественного описания влияния факторов внешней среды на процесс формирования урожая — рассматривается моделирование ППР, создание теоретических моделей ППР, описывающих как процесс накопления сухой биомассы урожая (динамические модели формирования количества урожая), так и процесс накопления сухой биомассы различного химического состава (динамические модели формирования качества урожая). Создаются теоретические предпосылки для построения комплексной модели ППР — модели формирования количества и качества урожая.

Структура моделей определяется их целевым назначением, достигнутым уровнем знаний о воздействии факторов внешней среды на основные физиологические и биохимические процессы в растении, интенсивностью и направленностью которых определяется количество и качество урожая, а также возможностью формализации этих процессов. Однако не менее важным при этом, по нашему мнению, является также возможность определения параметров моделей.

Задача оценки параметров, решаемая с помощью вегетационных и полевых экспериментов, — наиболее трудна. Это объясняется, во-первых, необходимостью оценки параметров на уровне экотипа культуры и ее сорта, а во-вторых необходимостью оценки изменчивости параметров в зависимости от условий местообитания по различным почвенно-климатическим зонам.

Решение задачи на первом уровне — экотипа культуры — хотя и достаточно сложно, но реализуемо с помощью экспериментов. Сведений же об изменчивости параметров при переходе от одного региона к другому чрезвычайно мало. Практически они отсутствуют. Отсюда — важность решения задачи второго уровня, которое можно осуществить как прямым путем — по-

становкой экспериментов в различных почвенно-климатических зонах, так и косвенным — с помощью разрабатываемых теоретических (или полуэмпирических) методов определения параметров моделей.

Разработка теоретических основ идентификации параметров моделей с привлечением доступной агрометеорологической информации, поступающей с широкой сети агро- и гидрометеорологических станций, представляется чрезвычайно перспективной. Это делает применимым модели ППР для развития различных видов агрометеорологических расчетов и прогнозов, позволяет охватить большой набор сельскохозяйственных культур, а также осуществлять переход от одной почвенно-климатической зоны к другой.

В численных экспериментах с моделью оценивается правильность основных теоретических предпосылок, заложенных в модель, чувствительность модели к изменению ее аналитической и топологической структуры, значениям параметров. Изучением поведения и особенностей самой модели и ее параметров завершается первый этап исследований.

Динамические модели ППР, адекватно описывающие влияние агрометеорологических условий на сложную совокупность физиологических и биохимических процессов, их взаимосвязей и в конечном итоге формирование количества и качества урожая, позволяют подойти к решению весьма важных проблем агрометеорологии.

На этом (втором) этапе модели ППР выступают в новом качестве — аппарата теоретического исследования. Модели ППР являются очень эффективным инструментом исследования. Приложение моделей ППР к анализу влияния агрометеорологических условий на ППР и его отдельные составляющие расширяет возможности методологии агрометеорологии.

Модели ППР служат основой для теоретического исследования влияния погодных условий на формирование полноты всходов, густоты стояния растений и продуктивного стеблестоя, развития репродуктивных органов, процесс налива зерна у зерновых культур, формирование количества и качества урожая. Особенно важным является изучение воздействия экстремальных погодных условий на процесс формирования урожая. Сюда следует отнести засуху, заморозки, воздействие переувлажнения.

Выполненные с помощью нового арсенала средств разработки позволяют перейти к третьему этапу теоретических исследований — развитию теоретических основ прогнозирования агрометеорологических процессов — созданию новых видов агрометеорологических прогнозов: времени появления и состояния всходов, формирования продуктивного стеблестоя и колоса, потерь урожая от полегания, влияния экстремальных факторов на формирование урожая, а также комплексных прогнозов количества и качества урожая.

В настоящее время нами реализованы только отдельные звенья описанных выше этапов теоретических исследований

в области агрометеорологических прогнозов. Исследованы временные ряды урожаев сельскохозяйственных культур (часть 1). Создана базовая динамическая модель формирования количества урожая основных сельскохозяйственных культур (глава 5). Процессы фотосинтеза, дыхания, роста отдельных органов и растения в целом описаны моделью продуктивности растений с суточным шагом по времени. В модель (для зерновых культур) введен блок накопления биомассы зерна. Предложен новый подход к описанию количества функционирующей биомассы и динамики ассимилирующей поверхности. В рамках этой модели разработаны субмодели влияния заморозков, засухи, повреждения болезнями на основные процессы жизнедеятельности растений. Базовая модель получила дальнейшее развитие (глава 5).

С целью развития новых динамико-статистических методов прогнозов разработана принципиально новая модель роста, развития и формирования продуктивности злаков (глава 4), описывающая обусловленное экзогенными и эндогенными факторами формирование вегетативной и репродуктивной сферы злаков.

Разработана динамическая модель формирования качества урожая (М. А. Строганова). Создана динамическая модель расхода запасов эндосперма семян зерновых культур в процессе прорастания и в период до появления всходов. Предложены методы определения ростовых функций — центрального звена моделей ППР — на основе стандартной агрометеорологической информации.

В различных аспектах ведутся теоретические исследования влияния агрометеорологических условий на ППР.

Таким образом, наиболее изученными в настоящее время являются вопросы, связанные с построением динамических моделей формирования количества урожая, созданием на базе этих моделей методов агрометеорологических прогнозов и внедрение их в практику.

Решение этих вопросов включает два основных этапа.

Первый этап — разработка — охватывает создание на основе детализированного суточного варианта динамической модели формирования урожая базового прикладного варианта. В последнем за счет ряда упрощающих предположений число параметров модели сводится к минимуму, расчет идет на основе декадной агрометеорологической информации, что в 12 раз сокращает объем необходимой информации. Кроме того, ведется разработка алгоритмов и программ моделей конкретных сельскохозяйственных культур, определяются параметры моделей, оценивается их географическая изменчивость. Такие модели созданы применительно к значительному набору сельскохозяйственных культур: озимая пшеница и озимая рожь, яровая пшеница, яровой ячмень, рис, овес, гречиха, просо, кукуруза, хлопчатник, подсолнечник, картофель, лен, пастбищные и сеяные травы (глава 6). Методы оценки агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных

культур, основанные на прикладных моделях, характеризуют, по существу, только одну сторону процесса — погодные условия формирования урожая, тогда как основным объектом агрометеорологического прогнозирования является уровень хозяйственного урожая. В связи с этим исследуются закономерности временных рядов урожаев сельскохозяйственных культур (главы 1, 2, 3).

На основе методов прогнозов урожайности ведется разработка методик прогнозов применительно к отдельным почвенно-климатическим зонам страны и в целом по СССР (главы 6, 7).

Второй этап — внедрение — предусматривает внедрение методов прогнозов урожайности через управления по гидрометеорологии и Гидрометеорологический центр СССР.

Необходимым и крайне важным моментом на пути внедрения динамико-статистических методов прогноза урожайности является стажировка и обучение специалистов. Такая работа уже проведена со специалистами 11 управлений: Северного, Северо-Западного, Эстонского, Латвийского, Литовского, Белорусского, Верхне-Волжского, Уральского, Центрально-Черноземных областей, Приволжского и Северо-Кавказского.

Внедрение методов прогнозов идет после производственных испытаний, рассмотрения Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим прогнозам Госкомгидромета СССР. Чрезвычайно важным представляется авторский надзор за дальнейшим применением новых методов, контроль внедрения. Наличие оперативной связи позволяет в процессе производственного применения методов выявить недостатки, которые следует учесть при совершенствовании методов, а также при создании новых методов агрометеорологических прогнозов. На аналогичных принципах строится внедрение динамико-статистических методов прогнозирования урожайности в Гидрометеорологическом центре СССР, хотя здесь имеется своя специфика, связанная как со значительным объемом поступающей информации, так и с необходимостью составления таких прогнозов по достаточно обширным территориям.

Кроме указанных возможностей, на которых мы остановились, отрабатываются и другие подходы к разработке и внедрению новых методов агрометеорологических прогнозов. Однако, несомненно, что описанные выше главные моменты этого процесса являются принципиальными, они сохраняют свою значимость независимо от принятой структуры. По этой уже апробированной схеме в настоящее время разрабатываются и внедряются в практику динамико-статистические методы прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур.

Дальнейшее развитие динамико-статистических методов прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур связано с углублением исследований в пяти основных теснейшим образом взаимосвязанных между собой направлениях:

— адаптация прогнозов погоды различной заблаговременности к агрометеорологическим прогнозам;

— детализация описания влияния агрометеорологических условий на ППР;

— учет новой информации о состоянии посевов сельскохозяйственных культур и почвы, полевых работах, проводимых на обширных территориях;

— создание технологии автоматизированного составления оценок и прогнозов;

— разработка моделей продуктивности с распределенными параметрами. Центральное из них — детализация — опирается на теоретические исследования в области агрометеорологических прогнозов, которые мы обсуждали выше. Дальнейшее расширение применения достаточно общих моделей ППР (на уровне целостного растения) для прогнозирования урожайности требуют решения ряда вполне конкретных задач.

В качестве первой можно назвать использование в прогнозах урожайности сезонных и месячных прогнозов погоды. В силу особенностей исходной для прогнозов урожайности агрометеорологической информации (ее состава, временного и пространственного осреднения) решение этой задачи достаточно сложно.

Вторая задача включает широкое привлечение и адаптацию в схемах прогнозов урожаев результатов выполненных ранее и ставших уже классическими методов агрометеорологических прогнозов и расчетов, а также результатов уже созданных статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Рациональное приложение этих разработок обеспечит преемственность методов, повысит эффективность вновь создаваемых схем (глава 6).

Круг вопросов, которые охватывают третью задачу, связан со следующим. В настоящее время не получила широкого применения в прогнозах урожайности, особенно по обширным регионам, информация ЦСУ СССР о сроках сева, внесении органических и минеральных удобрений, работах по уходу за культурами, ходе уборки культуры. Несомненно, что использование этой информации в схемах прогнозов существенно повысит их эффективность. Заблаговременность прогнозов урожайности, созданных на основе достаточно общих моделей ППР, не будет превышать 2—3 месяца.

Дальнейшее развитие получит применение в агрометеорологических прогнозах результатов аэрофотометрических измерений параметров растительного покрова и авиационной гамма-съемки влажности почвы и снежного покрова. Уже создана достаточно хорошая теоретическая основа для интерпретации самолетной фотометрической информации, на этой базе разработан метод прогноза средней областной урожайности яровых зерновых культур (В. Г. Прихотько, А. Н. Полевой). Намечались (А. Д. Клещенко) хорошие перспективы использования в прогностической схеме спутниковой информации о состоянии посевов сельскохозяйственных культур (первоначально на примере озимой пшеницы).

При моделировании влияния агрометеорологических условий на процесс формирования урожая большая детализация, т. е. приближение к реальному состоянию, влечет за собой значительное увеличение объема исходной информации. Этот объем возрастает не только за счет количества привлекаемой информации, но и ее состава. Увеличение объема неизбежно приведет к уменьшению заблаговременности прогнозов урожайности, учитывающих воздействие экстремальных факторов среды на процессы, вызывающие значительные потери урожая, такие, как «захват» и «запал» зерна, прорастание зерна в валках и «на корню», «стекание зерна» (глава 4).

Вместе с тем это выдвигает на первый план решение четвертой задачи — создания технологии автоматизированного составления прогнозов и оценок на уровне территориальных ВЦ и Гидрометеорологического центра СССР.

В качестве путей решения отмеченной нами пятой задачи необходимо указать следующее. Существующие модели продуктивности являются моделями с сосредоточенными параметрами. Необходим переход от описания процессов, происходящих в точке, к описанию процессов на поле (районе, области) с помощью теоретико-вероятностного осреднения.

Детализация описания влияния агрометеорологических условий на ППР, как это отмечалось ранее, должна сопровождаться развитием теоретических методов определения параметров моделей, в том числе тех из них, которые отражают влияние факторов внешней среды на интенсивность в первую очередь процессов фотосинтеза и дыхания. В конечном итоге успешность выполненного исследования для агрометеорологических расчетов и прогнозов будет определяться возможностью оценки численных значений параметров, определяющих воздействие света, тепла и влаги на важнейшие физиологические и биохимические процессы в растении (главы 5, 6).

Необходимо остановиться еще на одном обстоятельстве. Особенность выполняемых исследований заключается в том, что основным критерием их значимости является практическое приложение разработки вплоть до внедрения ее в практику в виде конкретного метода агрометеорологического прогноза, а не детализация количественного описания воздействия факторов среды. В связи с этим реализация каждого нового звена предложенной схемы влечет за собой необходимость выполнения полного цикла работ по реализации и внедрению метода. Такова логическая связь между двумя этими схемами, органическая связь между теоретическими исследованиями и прикладными разработками; пренебрежение ею может привести к получению несостоятельных прогностических схем.

Обсуждение проблем развития и моделирования динамико-статистических методов прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур позволяет сделать некоторые выводы. Во-первых, по-прежнему актуальными являются теоретические

исследования, направленные на создание моделей ППР, их детализацию, развитие методов определения параметров моделей. Во-вторых, необходимо последовательно решать задачу приспособления и использования прогнозов погоды и новой информации во вновь создаваемых прогностических схемах.

Решение этих вопросов, наряду с расширением внедрения уже созданных методов, должно стать важной задачей в агрометеорологическом прогнозировании в ближайшие годы.

Список литературы

1. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года.— М.: Политиздат, 1986.
2. Абашина Е. В., Просвиркина А. Г., Сиротенко О. Д. Упрощенная динамическая модель формирования урожая ярового ячменя.— Труды ИЭМ, 1977, вып. 8 (67), с. 54—68.
3. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей (с примерами из гидрометеорологии).— Л.: Гидрометеониздат, 1971.— 363 с.
4. Андреева Т. Ф. Физиология фотосинтеза.— В кн.: Физиология сельскохозяйственных растений, т. 1. Изд-во МГУ, 1967, с. 267—309.
5. Андреева Т. Ф. Фотосинтез и азотный обмен растений.— В кн.: Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982, с. 89—104.
6. Артемьева Н. П., Куприянов В. В. Анализ автокорреляционных функций многолетних рядов низкого стока рек Советского Союза.— Метеорология и гидрология, 1984, № 6, с. 76—86.
7. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов.— М.: Мир, 1971.— 408 с.
8. Берлянд Т. Г. Распределение солнечной радиации на континентах.— Л.: Гидрометеониздат, 1961.— 280 с.
9. Бихеле З. Н., Молдау Х. А., Росс Ю. К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 223 с.
10. Бихеле И. Г., Молдау Х. А., Росс Ю. К. Субмодель распределения ассимилятов и роста растения при водном дефиците.— Тарту, 1980.— 23 с.
11. Бондаренко С. Г., Кибенко Т. Я., Буянович Н. А. Программирование урожая винограда.— Кишинев: Штиинца, 1977.— 102 с.
12. Борисоглебский Г. И., Никифоров М. В., Шилин Г. В. О возможности использования результатов самолетных снегосъемок в агрометеорологических целях.— Труды ИЭМ, 1974, вып. 1 (35), с. 54—60.
13. Будаговский А. И., Ничипорович А. А., Росс Ю. К. Количественная теория фотосинтеза и ее использование для решения научных и прикладных задач физической географии.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1964, № 6, с. 13—27.
14. Будыкина Н. П., Дроздов С. Н. Устойчивость растения к заморозкам.— В кн.: Эколого-физиологические аспекты устойчивости растений к заморозкам. Л.: Наука, 1977, с. 36—56.
15. Будыкина Н. П., Дроздов С. Н. Влияние заморозков на продуктивность полевых культур.— В кн.: Эколого-физиологические аспекты устойчивости растений к заморозкам. Л.: Наука, 1977, с. 57—85.
16. Будыко М. И. К теории влияния климатических факторов на фотосинтез. ДАН СССР, 1964, т. 158, № 2, с. 331—334.
17. Будыко М. И. Климат и жизнь.— Л.: Гидрометеониздат, 1971.— 472 с.
18. Вериго С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве.— Л.: Гидрометеониздат, 1963.— 289 с.
19. Вольвач В. В. Биоматематическая модель — основа многолетнего и долгосрочного прогнозирования.— Защита растений, 1979, № 1, с. 22—24.
20. Галямин Е. П. Оптимизация оперативного распределения подных ресурсов в орошении.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 272 с.
21. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей.— Л.: Гидрометеониздат, 1963.— 287 с.
22. Гильманов Т. Г. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах.— Изд-во МГУ, 1978.— 167 с.
23. Глумова О. А. Изучение чувствительности динамической модели формирования урожая картофеля к факторам среды в условиях Северного Казахстана.— Труды КазНИИ, 1986, вып. 98, с. 89—95.
24. Гойса Н. И., Олейник Р. Н., Рогаченко А. Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы.— Л.: Гидрометеониздат, 1983.— 230 с.

25. Горбачев В. А. Математическое моделирование водно-теплового режима корнеобитаемого слоя почвы.— Обзорная информация ВНИИГМИ, серия «Гидрология суши», 1982, вып. 1.— 47 с.
26. Горбачев В. А. Математическое моделирование углекислотного режима сельскохозяйственных посевов.— Обзорная информация ВНИИГМИ—МЦД, серия «Метеорология», 1983, вып. 10.— 44 с.
27. Гребинский С. О. Рост растений.— Изд-во Львовского университета, 1961.— 296 с.
28. Грингоф И. Г. Состояние и перспективы развития агрометеорологических исследований для обеспечения Продовольственной программы страны в XI пятилетке и до 1990 г.— Труды ВНИИСХМ, 1983, вып. 11, с. 3—10.
29. Гуляев Б. И. Динамика площади листьев и вопросы моделирования продукционного процесса.— В кн.: Физиология и биохимия культурных растений, 1980, т. 12, № 3, с. 238—251.
30. Дагвадорж Д., Сангидансранжав С. Применение динамико-статистической модели для прогнозирования урожайности яровой пшеницы и пастбищной растительности в МНР.— В кн.: Докл. Междунар. науч. симп. «Агрометеорологическое обеспечение Продовольственной программы». Улан-Батор, Препринт, 1986.
31. Дементьев Н. Ф. Опыт использования результатов самолетных снего-съемок в оперативной работе по составлению гидрометеорологических прогнозов.— Труды ИЗМ, 1980, вып. 14 (92), с. 55—60.
32. Джафарова Ф. С., Рзаев Г. А. Влияние условий влажности почвы на динамику интенсивности фотосинтеза у озимой пшеницы.— Уч. зап. Азербайджанского гос. ун-та, серия «Биология», 1971.
33. Джеймс В. Дыхание растений.— М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1956.— 439 с.
34. Добрачев Ю. П., Бурдюгов В. Г. и др. Построение и испытание модели продукционного процесса зерновых культур, включающей описание элементов органогенеза.— Сельскохозяйственная биология, 1985, № 8, с. 102—106.
35. Дроздов С. Н. Эколого-физиологическое исследование устойчивости полевых культур к заморозкам.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра биол. наук. Л., 1971.
36. Дунин М. С., Темирбекова С. К. Устойчивость пшеницы к ферментативно-микозному истощению зерна.— Вестн. с.-х. науки, 1978, № 4, с. 28—39.
37. Желиговский В. А. Применение принципа академика В. П. Горячина к изучению природных явлений.— Докл. ТСХА, 1946, вып. 4, с. 27—30.
38. Жуков В. А. Исследование статистической структуры полей влагозапасов в почве.— Труды ИЗМ, 1970, вып. 18, с. 27—34.
39. Забелин В. Н. Определение динамики урожайности зерновых культур при агрометеорологическом прогнозировании.— Метеорология и гидрология, 1982, № 10, с. 103—109.
40. Иванов В. Б. Деление и рост клетки.— В кн.: Физиология сельскохозяйственных растений. Изд-во МГУ, 1967, т. 1, с. 57—123.
41. Иванов В. Б. Клеточные основы роста растений.— М.: Наука, 1974.— 223 с.
42. Иванов В. Б. Специфика пространственной и временной организации роста клеток корня в связи с его функциями.— В кн.: Физиология растений, 1979, т. 26, вып. 5, с. 888—898.
43. Иванченко В. М., Легенченко Б. И., Гончарик М. Н. Водный дефицит ассимиляционной ткани и интенсивность фотосинтеза в связи с условиями водообеспеченности растений.— В кн.: Фотосинтез и устойчивость растений. Минск, Наука и техника, 1973, с. 3—11.
44. Каган Р. Л. К оценке репрезентативности осадкомерных данных.— Труды ГГО, 1966, вып. 191, с. 22—34.
45. Казакевич Д. И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 267 с.
46. Кайсц Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных.— Л.: Гидрометеоиздат, 1972.— 138 с.
47. Калинин Ф. А., Андриевская Г. В. Биохимические основы борьбы с предуборочными биологическими потерями урожая зерна озимой пшеницы.— В кн.: Физиология и биохимия культурных растений, 1981, т. 13, № 5, с. 486—489.
48. Кан Н. А., Кан Е. Е. Имитационная модель роста фитомера как элемента морфологической структуры злакового растения.— В кн.: Высокоинтенсивное использование орошаемых земель. Новочеркасск, 1981, с. 135—138.
49. Кан Н. А., Козлечков Г. А. Математическая модель вегетативной морфологической структуры популяции культурных злаковых растений.— В кн.: Динамическое моделирование в агрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1982, с. 70—83.
50. Карманова И. В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений.— М.: Наука, 1976.— 222 с.
51. Карвелишвили Н. А. Стохастическая гидрология.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 163 с.
52. Кислякова Т. Е., Голубкова Б. М., Богачева И. И. Взаимосвязь структуры и функции фотосинтетического аппарата в онтогенезе картофеля.— Физиология растений, 1967, т. 14, вып. 1, с. 5—14.
53. Клещенко А. Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1986.— 190 с.
54. Клещенко А. Д., Вирченко О. В. и др. Методическое пособие по определению параметров растительного покрова аэрофотометрическим методом с помощью автоматизированной системы регистрации.— М.: Гидрометеоиздат, 1975.— 20 с.
55. Клещенко А. Д., Полевой А. Н. Динамическая модель формирования урожая пшеницы сорта *Sietle Cerros* весенне-летнего периода вегетации.— Докл. для КСХМ ВМО. Обнинск. Препринт, 1979.— 20 с.
56. Клячко Н. Л., Кулаева О. Н. Факторы старения и омоложения листьев.— В кн.: Биология развития растений. М.: Наука, 1975, с. 214—229.
57. Комаров В. Д. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья равнинных рек.— Л.: Гидрометеоиздат, 1955.— 302 с.
58. Константинов А. Р. Схема учета влияния погодных факторов на прирост растительной массы и урожай.— Труды УкрНИГМИ, 1966, вып. 58, с. 3—31.
59. Константинов А. Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы.— Л.: Гидрометеоиздат, 1978.— 263 с.
60. Коровин А. И. Растения и экстремальные температуры.— Л.: Гидрометеоиздат, 1984.— 271 с.
61. Коровин А. И., Дроздов С. Н. и др. Влияние заморозков на урожай и некоторые физиологические процессы у яровой пшеницы.— ДАН СССР, 1961, т. 136, № 4, с. 979—982.
62. Костюк В. И., Быков О. Д. Фотосинтез и термоустойчивость картофеля при выращивании в условиях Заполярья.— Бюлл. ВИР, 1978, № 82, с. 21—26.
63. Кошкин В. А., Быков О. Д. Температурные кривые потенциальной интенсивности фотосинтеза яровой пшеницы различного происхождения.— Докл. ВАСХНИЛ, 1970, № 2, с. 10—11.
64. Кулаева О. Н., Федина А. Б. и др. Особенности возрастных изменений метаболизма РНК в срезах частях и в листьях на растении.— Физиология растений, 1967, т. 14, вып. 6, с. 972—981.
65. Кулешов Н. Н. Формирование, налив и созревание яровой пшеницы в зависимости от условий произрастания.— Зап. Харьковского с.-х. ин-та, 1951, т. 7, с. 51—139.
66. Кулик М. С. Методические указания по составлению долгосрочных агрометеорологических прогнозов средней областью урожайности озимых зерновых культур в Нечерноземной зоне.— М.: Гидрометеоиздат, 1976.— 16 с.
67. Кулик М. С., Полевой А. Н., Вольвач И. Е. Моделирование процесса формирования урожая озимой пшеницы.— Метеорология и гидрология, 1979, № 9, с. 98—106.
68. Кулик М. С., Уланова Е. С. Развитие методов агрометеорологических прогнозов.— Метеорология и гидрология, 1972, № 12, с. 45—51.
69. Кумаков В. А. Физиология яровой пшеницы.— М.: Колос, 1980.— 207 с.

70. Куперман И. А., Хитрово Е. В. Динамика некоторых составляющих массообмена пшеницы при прогрессирующей почвенной засухе.— В кн.: Физиология приспособления растений к почвенным условиям. Новосибирск, Наука, СО, 1973, с. 38—48.
71. Куперман И. А., Хитрово Е. В. Дыхательный газообмен как элемент продукционного процесса растений.— Новосибирск, Наука, СО, 1977.— 181 с.
72. Куперман Ф. М. Физиология развития, роста и органогенеза пшеницы.— В кн.: Физиология с.-х. растений.— МГУ, 1969, т. 4, с. 7—204.
73. Куперман Ф. М., Ржанова Е. И. Биология развития растений.— М.: Высшая школа, 1963.— 423 с.
74. Купревич В. Ф. Физиология больного растения в связи с общими вопросами паразитизма.— Научные труды, 1973, т. 3. Минск: Наука и техника.— 456 с.
75. Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растении.— М.: Наука, 1976.— 646 с.
76. Лархер В. Экология растений.— М.: Мир, 1978.— 185 с.
77. Лебедев П. В. Морфогенез луговых злаков и условия внешней среды.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра биол. наук. Пермь, 1966.— 35 с.
78. Лепольд А. Рост и развитие растений.— М.: Мир, 1968.— 494 с.
79. Ле Тхи Ким Зунг. Агрометеорологические условия произрастания гороха и его продуктивность в Причерноморье.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук.— Одесса, 1985.— 26 с.
80. Лубнин М. Г. Влияние агрометеорологических условий на работу сельскохозяйственных машин и орудий.— Л.: Гидрометеониздат, 1983.— 117 с.
81. Максимов Н. А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Т. 1.— М.: Изд-во АН СССР, 1952.— 575 с.
82. Манелля А. И., Нагибедова Н. Н. и др. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР.— М.: Статистика, 1972.— 192 с.
83. Материалы по природно-экономической характеристике сельскохозяйственных микрорайонов в СССР. Ч. I—II.— М.: Экономиздат, 1962.— 1700 с.
84. Мельник Ю. С. Климат и произрастание подсолнечника.— Л.: Гидрометеониздат, 1972.— 143 с.
85. Миусский П. Е., Наумов М. М., Русакова Т. И. О математическом моделировании продукционного процесса подсолнечника.— В кн.: Метеорология, гидрология и климатология, 1987, с. 57—63.
86. Мищенко З. А. Биоклимат дня и ночи.— Л.: Гидрометеониздат, 1984.— 280 с.
87. Моделирование продуктивности агроэкосистем//Н. Ф. Бондаренко, Е. Е. Жуковский, И. Г. Мушкин, С. В. Нерпин, Р. А. Полуэктов, И. Б. Усков.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 264 с.
88. Монсейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 295 с.
89. Мокриевский В. М., Полевой А. Н. Применение динамической модели формирования продуктивности трав для расчета их урожайности.— Труды ВНИИСХМ, 1980, вып. 3, с. 27—37.
90. Мокроносов А. Т. Фотосинтез картофеля.— В кн.: Физиология с.-х. растений. Изд-во МГУ, 1971, т. 12, с. 99—129.
91. Мокроносов А. Т. Передвижение и использование продуктов фотосинтеза во вторичных синтетических процессах.— Физиология с.-х. растений. Изд-во МГУ, 1971, т. 12, с. 129—156.
92. Мокроносов А. Т. Донорно-акцепторные отношения в онтогенезе растений.— В кн.: Физиология фотосинтеза.— М.: Наука, 1982, с. 235—250.
93. Мокроносов А. Т., Некрасова Г. Ф. Онтогенетический аспект фотосинтеза (на примере листа картофеля).— Физиология растений, 1977, т. 24, вып. 3, с. 458—466.
94. Молдау Х. А. Влияние дефицита воды на прирост растения (математическая модель).— Изд. АН Эст. ССР, серия Биология, 1974, т. 23, № 4, с. 348—357.
95. Молдау Х. А. Авторегуляция продукционного процесса растений при водном дефиците.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра биол. наук. М., 1984.— 44 с.
96. Мурей И. А. Затраты на дыхание в период вегетативной фазы роста томатов.— В кн.: Физиология растений, 1976, т. 23, № 5, с. 964—971.
97. Муш Н. Н. О взаимодействии гетеротрофного и автотрофного питания в онтогенезе зеленого растения.— Труды Харьковского СХИ, 1959, т. 19, с. 77—98.
98. Най П. Х., Тинкер П. Б. Движение растворов в системе почва—растение.— М.: Колос, 1980.— 366 с.
99. Наумова А. В. Моделирование продукционного процесса кукурузы.— Одесса, 1986.— 18 с.
100. Научно-методические основы прогноза урожайности сельскохозяйственных культур по административным районам.— Отчет о научно-исследовательской работе. № гос. регистрации 01840010821. Обнинск, 1985.— 67 с.
101. Нгуен Ван Вьет. Агрометеорологические условия формирования продуктивности риса.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук.— Одесса, 1986.— 19 с.
102. Немченко О. А., Мусатенко Л. И. Моделирование роста и метаболизма растений на ранних этапах онтогенеза.— Физиология и биохимия культурных растений, 1982, т. 14, № 5, с. 439—445.
103. Никифоров М. В. Современное состояние авиационных гамма-съемок снежного покрова и влажности почвы.— Труды ИЭМ, 1980, вып. 14 (92), с. 6—27.
104. Нилова Н. Т., Смирнов М. О. Изучение компонентов темного дыхания растений в зависимости от факторов среды.— В кн.: Физиология растений, 1984, т. 31, вып. 1, с. 188—198.
105. Ничипорович А. А. Хлорофилл и фотосинтетическая продуктивность растений.— В кн.: Хлорофилл. Минск, Наука и техника, 1974, с. 49—62.
106. Ничипорович А. А. Энергетическая эффективность фотосинтеза и продуктивность растений.— Пушкино: Науч. центр биол. исслед. АН СССР, 1979.— 37 с.
107. Ничипорович А. А., Строганова Л. Е., Чморо С. Н. и др. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 133 с.
108. Носатовский А. И. Пшеница.— М.: Сельхозгиз, 1950.— 407 с.
109. Носов А. К., Лемаева А. М. О взаимодействии в онтогенезе картофеля материнского клубня и развивающегося из него растения.— Изв. АН Туркменской ССР, 1955, вып. 1, с. 47—55.
110. Обручева Н. В. Физиология растущих клеток корня.— М.: Наука, 1965.— 111 с.
111. Обручева Н. В., Ковадло Л. С. Два этапа усиления дыхания прорастающих семян гороха по мере увеличения их обводненности.— Физиология растений, 1985, т. 32, вып. 4, с. 753—761.
112. Обручева Н. В., Ковалев А. Г. Клеточный анализ сигмоидной кривой роста корня.— ДАН СССР, 1975, т. 225, № 5, с. 1213—1216.
113. Обручева Н. В., Ковалев А. Г. О физиологической интерпретации сигмоидных кривых роста органов растений.— Физиология растений, 1979, т. 26, вып. 5, с. 1029—1043.
114. Овчаров К. Е. Физиология формирования и прорастания семян.— М.: Колос, 1976.— 255 с.
115. Осипова О. П., Нюппиева К. А. Кратковременное действие отрицательных температур на фотосинтетический аппарат листьев различных по устойчивости видов картофеля.— В кн.: Хлорофилл. Минск, Наука и техника, 1974, с. 331—339.
116. Павлов А. А. Практическое пособие по математической картографии.— Изд-во ЛГУ, 1974.— 171 с.
117. Павлова В. Н. Моделирование ростовых процессов в период прорастания зерна в рамках моделей «погода—урожай».— Труды ВНИИСХМ, 1983, вып. 8, с. 28—36.
118. Палеев А. М. Роль углеводов клеточной стенки соломы и листьев *S. cereale* в образовании зерна.— Биохимия, 1938, № 3, с. 258—269.
119. Паницкий В. В., Коровин А. И. Влияние весенних заморозков на содержание пигментов в листьях и конечный урожай растений.— В кн.:

- Устойчивость растений к низким положительным температурам и заморозкам и пути ее повышения. М.: Наука, 1969, с. 115—120.
120. Пасечник А. Д. Методические указания по составлению прогноза интенсивности полегания посевов ячменя (в нечерноземной зоне Европейской территории РСФСР).— М.: Гидрометеоздат, 1980.— 12 с.
 121. Пасов В. М. Прогнозирование урожая ячменя.— Земледелие, 1971, № 11, с. 68—69.
 122. Пасов В. М. Изменчивость урожая и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур.— Л.: Гидрометеоздат, 1986.— 152 с.
 123. Пасов В. М., Полевой А. Н. и др. Современное состояние прогнозирования урожайности.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 13 (91), с. 64—79.
 124. Ван дер Планк Я. Устойчивость растений к болезням.— М.: Колос, 1972.— 254 с.
 125. Платонова Т. Ф. Прогнозирование динамики урожайности сельскохозяйственных культур.— Кишинев: Штиница, 1983.— 87 с.
 126. Плохинский Н. А. Биометрия.— Изд-во МГУ, 1970.— 367 с.
 127. Полевой А. Н. Об оценке состояния посевов и определении фаз развития растений на больших площадях.— Труды ИЭМ, 1973, вып. 1 (50), с. 112—119.
 128. Полевой А. Н. Динамическая модель формирования урожая картофеля.— Метеорология и гидрология, 1978, № 7, с. 79—85.
 129. Полевой А. Н. Агрометеорологические условия и продуктивность картофеля в Нечерноземье.— Л.: Гидрометеоздат, 1978.— 118 с.
 130. Полевой А. Н. Об определении некоторых параметров динамической модели формирования урожая.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 13 (91), с. 120—130.
 131. Полевой А. Н. Динамико-статистические методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.— Метеорология и гидрология, 1981, № 2, с. 92—102.
 132. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур.— Л.: Гидрометеоздат, 1983.— 175 с.
 133. Полевой А. Н., Вирченко Е. П. О применении результатов авиационной гамма-съемки снежного покрова для прогноза запасов влаги в почве на весну.— Труды ВНИИСХМ, 1986, вып. 17, с. 48—56.
 134. Полевой А. Н., Вольвач И. Е. Динамическая модель формирования урожая озимой пшеницы.— Экспресс-информация ВНИИГМИ—МЦД. Обнинск, 1978, вып. 1 (51), с. 28—35.
 135. Полевой А. Н., Вольвач И. Е. Метод агрометеорологического прогноза урожайности льноволокна в СССР.— Труды ВНИИСХМ, 1986, вып. 18, с. 14—24.
 136. Полевой А. Н., Гончарова Т. А. О прогнозировании урожайности зерновых и зернобобовых культур.— Метеорология и гидрология, 1984, № 5, с. 114—117.
 137. Полевой А. Н., Гончарова Т. А. и др. Методическое пособие по оценке агрометеорологических условий формирования урожайности озимой пшеницы и озимой ржи в нечерноземной зоне РСФСР (на основе декадной агрометеорологической информации).— М.: Гидрометеоздат, 1980.— 41 с.
 138. Полевой А. Н., Гончарова Т. А. и др. Методическое пособие по составлению агрометеорологического прогноза среднеобластной урожайности картофеля на ЕТ СССР.— М.: Гидрометеоздат, 1980.— 65 с.
 139. Полевой А. Н., Пасов В. М. Агрометеорологические прогнозы урожайности: проблемы и перспективы.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 13 (91), с. 3—15.
 140. Полевой А. Н., Пасов В. М. Современные методы агрометеорологических прогнозов сельскохозяйственных культур.— Обзорная информация ВНИИГМИ—МЦД, серия «Метеорология», 1984, вып. 3.— 53 с.
 141. Полевой А. Н., Строганова М. А. Математическое моделирование вегетативного и репродуктивного развития сельскохозяйственных культур.— Труды ВНИИСХМ, 1985, вып. 9, с. 83—91.
 142. Полевой А. Н., Строганова М. А. Оценка параметров функций влияния внешних условий на фотосинтез и дыхание в моделях продуктивности.— Труды ВНИИСХМ, 1986, вып. 18, с. 87—93.
 143. Полевой А. Н., Строганова М. А., Коровин А. И. Моделирование влияния заморозков на формирование урожая сельскохозяйственных культур.— Сельскохозяйственная биология, 1983, № 11, с. 3—8.
 144. Полуэктов Р. А., Пых Ю. А., Швытов И. А. Динамические модели экологических систем.— Л.: Гидрометеоздат, 1980.— 288 с.
 145. Попов С. Р. Особенности в азотном обмене растений при заморозках.— В кн.: Устойчивость растений к низким положительным температурам и заморозкам и пути ее повышения.— М.: Наука, 1969, с. 184—192.
 146. Потапов Н. Г. Основные закономерности поглощения минеральных веществ корневой системой.— В кн.: Физиология с.-х. растений. Изд-во МГУ, 1967, т. 2, с. 5—89.
 147. Прихотько В. Г. Агрометеорологические условия формирования урожая озимой пшеницы на осушенных торфяно-болотных почвах.— Л.: Гидрометеоздат, 1982.— 84 с.
 148. Прихотько В. Г., Полевой А. Н. О возможности пространственного согласования аэрофотометрической и наземной информации.— Труды ИЭМ, 1979, вып. 13 (91), с. 95—100.
 149. Прихотько В. Г., Полевой А. Н., Сторожилова В. П. Методическое пособие по составлению агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации.— М.: Гидрометеоздат, 1981.— 29 с.
 150. Проект методических указаний по составлению прогнозов урожайности и валового сбора всех зерновых и зернобобовых культур, а также основных сельскохозяйственных культур в Прибалтике, Белоруссии и Европейской части РСФСР/А. Н. Полевой, Т. А. Гончарова, Т. И. Русакова, Л. Н. Сухов, Р. П. Коченова, И. Е. Вольвач. М.: Гидрометеоздат, 1985.— 100 с.
 151. Проект методических указаний по составлению прогнозов урожайности и валового сбора овса, гороха и гречихи в Прибалтике, Белоруссии и Европейской части РСФСР/А. Н. Полевой, О. М. Шуляк, Т. И. Русакова, Т. В. Долгий-Трач, Р. П. Коченова.— М.: Гидрометеоздат, 1986.— 23 с.
 152. Прокофьев А. А., Обручева Н. В. и др. Критический уровень оводненности семян для начала их прорастания.— Физиология растений, 1983, т. 30, вып. 1, с. 178—183.
 153. Просвиркина А. Г. Методы количественной оценки агрометеорологических условий формирования продуктивности и прогноза урожайности проса.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. М., 1985.— 17 с.
 154. Просвиркина А. Г. Методы оценки и прогнозирования продуктивности проса.— Обзорная информация ВНИИГМИ—МЦД, серия «Метеорология», 1985, вып. 4.— 28 с.
 155. Просвиркина А. Г. Агрометеорологические условия и продуктивность проса.— Л.: Гидрометеоздат, 1987.— 159 с.
 156. Процев А. В. Агрометеорологические прогнозы (история возникновения, развитие, состояние и задачи).— Труды Гидрометцентра СССР, 1967, вып. 9, с. 3—10.
 157. Прусакова Л. Д. Влияние водного режима на синтез триптофана и рост листьев у пшеницы.— Физиология растений, 1960, т. 7, № 2, с. 171—180.
 158. Рабинович Е. Фотосинтез.— М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959.— 936 с.
 159. Раунер Ю. Л. Климат и урожайность зерновых культур.— М.: Наука, 1981.— 163 с.
 160. Рачулик В. И., Ситникова М. В. Методические указания по определению параметров растительного покрова методом отношения коэффициентов яркости в двух участках спектра (по наземным, самолетным и вертолетным измерениям).— Ташкент, 1972.— 39 с.
 161. Реуцкая Л. Н. Влияние инфекции на активность фотосинтеза питающегося растения.— Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. Минск, 1969.— 28 с.

162. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии.—Л.: Гидрометеиздат, 1974.—424 с.
163. Росс Ю. К. Система уравнений для описания количественного роста растений.—В кн.: Фитоактинометрические исследования растительного покрова. Таллин: Валгус, 1967, с. 64—89.
164. Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова.—Л.: Гидрометеиздат, 1975.—341 с.
165. Рубин Б. А., Арциховская Е. В., Аксенова В. А. Биохимия и физиология иммунитета растений.—М.: Высшая школа, 1975.—416 с.
166. Рубин Б. А., Арциховская Е. В., Озерецковская О. Л. Дыхание растений.—В кн.: Физиология с.-х. растений.—Изд-во МГУ, 1967, т. 1, с. 354—493.
167. Руководство по агрометеорологическим прогнозам.—Л.: Гидрометеиздат, 1984, т. 1.—309 с.
168. Руководство по агрометеорологическим прогнозам.—Л.: Гидрометеиздат, 1984, т. 2.—264 с.
169. Русакова Т. И. Методическое пособие по составлению агрометеорологического прогноза урожайности озимой пшеницы и озимой ржи на осушаемых землях нечерноземной зоны ЕТ РСФСР, Прибалтики и Белоруссии.—М.: Гидрометеиздат, 1982.—31 с.
170. Русакова Т. И. Метод агрометеорологического прогноза урожайности озимой ржи в нечерноземной зоне РСФСР, Прибалтики и Белоруссии.—Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук.—М., 1986.—24 с.
171. Сабинин Д. А. Физиология развития растений.—М.: Изд-во АН СССР, 1963.—195 с.
172. Сабинин Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений.—М.: Наука, 1971.—512 с.
173. Сакуи В. А. О рациональном уравнении процесса роста растений.—Вестн. с.-х. науки, 1973, № 7, с. 81—86.
174. Самыгин Г. А. Причины вымерзания растений.—М.: Наука, 1974.—191 с.
175. Свисюк И. В. Причины «стекания» зерна и меры его предупреждения.—Метеорология и гидрология, 1978, № 11, с. 101—106.
176. Свисюк И. В. Погода и урожайность озимой пшеницы на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье.—Л.: Гидрометеиздат, 1980.—207 с.
177. Семенов В. Е. Механизмы эндогенной регуляции фотосинтеза и адаптивные свойства хлоропласта.—В кн.: Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982, с. 164—187.
178. Семихатова О. А. Энергетические аспекты интеграции физиологических процессов в растении.—В кн.: Физиология растений, 1980, т. 27, вып. 5, с. 1005—1017.
179. Серебрякова Т. И. Морфогенез побегов и эволюция жизненных форм злаков.—М.: Наука, 1971.—358 с.
180. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации.—Л.: Гидрометеиздат, 1968.—232 с.
181. Синиот Э. Морфогенез растений.—М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963.—603 с.
182. Сиротенко О. Д. Некоторые результаты исследования пространственной изменчивости агрометеорологических показателей.—Труды ИЭМ, 1970, вып. 18, с. 20—29.
183. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем.—Л.: Гидрометеиздат, 1981.—167 с.
184. Сиротенко О. Д., Абашина Е. В. Математическая модель роста и развития растений на уровне фитомеров.—В кн.: Физиология и биохимия культурных растений, 1985, т. 17, № 2, с. 166—174.
185. Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Добрачев Ю. П. Двухфазная феноменологическая модель морфогенеза и продуктивности яровой пшеницы.—Труды ВНИИСХМ, 1985, вып. 10, с. 26—42.
186. Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Павлова В. Н. Динамическая модель погода—урожай для яровых зерновых культур и ее использование при оценке агрометеорологических условий формирования урожая в аридной зоне.—Труды ВНИИСХМ, 1985, вып. 10, с. 42—61.
187. Слейчер Р. Водный режим растений.—М.: Мир, 1970.—365 с.
188. Строганова Л. Е. Основные элементы фотосинтетической продуктивности картофеля.—В кн.: Проблемы фотосинтеза. М.: Изд-во АН СССР, 1959, с. 434—447.
189. Строганова М. А. Основные принципы математического моделирования процесса формирования качества урожая сельскохозяйственных культур.—Труды ВНИИСХМ, 1985, вып. 9, с. 28—51.
190. Строганова М. А. Численная модель накопления белка и крахмала в зерне в период налива.—Труды ВНИИСХМ, 1985, вып. 9, с. 65—73.
191. Строганова М. А. Математическое моделирование формирования качества урожая.—Л.: Гидрометеиздат, 1986.—151 с.
192. Строганова М. А., Коровин А. И., Полевой А. Н. Динамическая модель расходования запасов эндосперма семян зерновых культур в процессе прорастания и в период до появления всходов.—Сельскохозяйственная биология, 1983, № 1, с. 126—135.
193. Строганова М. А., Полевой А. Н. Моделирование формирования качества урожая зерновых культур.—Бюлл. ВИР, 1982, вып. 116, с. 58—62.
194. Строганова М. А., Полевой А. Н. Динамическая модель формирования качества урожая зерновых культур.—Труды ВНИИСХМ, 1985, вып. 9, с. 51—59.
195. Срур Аль Хазим. Агрометеорологические условия формирования продуктивности хлопчатника в Сирии.—Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук.—Одесса, 1987.—20 с.
196. Сытник К. М., Мусатенко Л. И., Богданова Т. А. Физиология листа.—Киев: Наукова думка, 1978.—389 с.
197. Сычева З. Ф. О некоторых свойствах белкового комплекса вегетативных органов растений в связи с их устойчивостью к отрицательным температурам.—Уч. зап. Петрозаводского ун-та, 1971, т. 17, № 6, с. 92—101.
198. Сычева З. Ф. Влияние повреждающих заморозков на некоторые физиолого-биохимические процессы у растений.—В кн.: Эколого-физиологические аспекты устойчивости растений к заморозкам. Л.: Наука, 1977, с. 86—114.
199. Таблицы координат Гаусса-Крюгера и Таблицы рамок и площадей трапезий топографических съемок.—Изд-во ЛГУ, 1963.—311 с.
200. Тарчевский И. А. Фотосинтез пшеницы.—В кн.: Физиология с.-х. растений. Изд-во МГУ, 1969, т. 4, с. 298—362.
201. Тарчевский И. А. Основы фотосинтеза.—М.: Высшая школа, 1977.—256 с.
202. Тебурев Х. Х., Полевой А. Н. Динамическая модель формирования урожая подсолнечника и идентификация ее параметров для территории Кабардино-Балкарской АССР.—Труды ВГИ, 1986, вып. 71, с. 58—64.
203. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая.—Л.: Гидрометеиздат, 1977.—200 с.
204. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов.—Л.: Гидрометеиздат, 1984.—264 с.
205. Туркова Н. С. Дыхание растений.—Изд-во МГУ, 1963.—292 с.
206. Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы.—Л.: Гидрометеиздат, 1975.—302 с.
207. Уланова Е. С. Агрометеорологическое обслуживание сельского хозяйства.—Метеорология и гидрология, 1978, № 1, с. 86—94.
208. Физиология и биохимия покоя и прорастания семян.—М.: Колос, 1982.—495 с.
209. Форрестер Д. Ж. Мировая динамика.—М.: Наука, 1978.—167 с.
210. Фрейкель А. А. Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда.—М.: Экономика, 1972.—190 с.
211. Хавкин Э. Е. Формирование метаболических систем в растущих клетках растений.—Новосибирск: Наука, СО, 1977.—221 с.
212. Ханни М. А., Дорфман Н. Л. и др. Экстремальные принципы в биологии и физиологии.—М.: Наука, 1978.—256 с.

213. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 371 с.
214. Хит О. Фотосинтез.— М.: Мир, 1972.— 316 с.
215. Четвериков А. Н. Сравнительный анализ трех моделей дыхания растений.— В кн.: Физиология растений, 1985, т. 32, вып. 3, с. 431—439.
216. Четвериков Н. С. Статистические и стохастические исследования.— М.: Госстатиздат, 1963.— 299 с.
217. Чирков Ю. И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы.— Л.: Гидрометеониздат, 1969.— 251 с.
218. Чирков Ю. И. Развитие методов агрометеорологических прогнозов урожая сельскохозяйственных культур.— В кн.: Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия. Л.: Гидрометеониздат, 1970, с. 67—75.
219. Шатилов И. С., Чудновский А. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 318 с.
220. Шевелуха В. С. Периодичность роста сельскохозяйственных растений и пути ее регулирования.— Минск: Ураджай, 1977.— 423 с.
221. Шелутко В. А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний стока.— Л.: Гидрометеониздат, 1984.— 159 с.
222. Шилин Г. В. Определение высоты снега на полях с посевами озимых культур по результатам самолетных гамма-съемок снежного покрова и влажности почвы.— Труды ИЭМ, 1980, вып. 14 (92), с. 77—93.
223. Штоккер О. Физиологические и морфологические изменения в растениях, обусловленные недостатком воды.— В кн.: Растение и вода. Л.: Гидрометеониздат, 1967, с. 128—203.
224. Abbe E. C., Phinney B. O. The growth of the shoot apex in maize: external features.— Amer. J. Bot., 1951, v. 38, N 9, p. 744—751.
225. Agrawal P. K. Studies on physiological maturity of Triticale seed.— Cereal Res. Commun., 1977, v. 5, N 4, p. 431—438.
226. Alden T., Hermann R. K. Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants.— The bot. Rev., 1971, v. 37, N 1, p. 37—142.
227. Arkin G. F., Jackson B. S. User's guide to SORG-AP: a grain sorghum growth simulation model.— Texas Agric. Exper. station, 1983, MP—1541,— 54 p.
228. Baier W. Crop-weather models and their in yield assessments.— Int. Rep. Agromet., Canada, 1975, N 29, p. 64.
229. Baker C. H., Horrocks R. D., Goering C. E. Use of the Gompertz function for predicting corn leaf area.— Trans. ASAE, 1975, v. 18, N 2, p. 323—327.
230. Baker D. N. Simulation for research and crop management.— In: World soybean res. conf., 1979, v. 11, p. 533—546.
231. Baker D. N., Musgrave R. B. The effects of low level moisture stresses on the rate of apparent photosynthesis in corn.— Crop. Sci., 1972, v. 12, N 4, p. 431—433.
232. Becker H. A. On the absorption of liquid water by the wheat kernel.— Cereal Chemistry, 1960, v. 37, N 3, p. 309—323.
233. Blaney H. P., Criddle W. D. Determining water requirement in irrigated areas from climatological and irrigation data.— Techn. Bull. USDA, Agric. Soil Conser. Service, 1950, N 96, p. 48.
234. Brouwer R. Morphological and physiological adaptations to external conditions.— Acta Bot. Neederl., 1968, v. 17, N 1, p. 78—84.
235. Brouwer R., Wit de C. T. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences.— In: Root growth. London, Butterworth, 1969.— 450 p.
236. Caloin M., Yu O. An extension of the logistic model of plant growth.— Ann. Bot., 1982, v. 49, N 5, p. 599—607.
237. Catsky J., Novakova J., Sestak Z. Daily carbon dioxide balance and its changes with age in a fodder cabbage plant grown in controlled conditions.— Photosynthetica, 1967, N 1, p. 215—218.
238. Charles-Edwards D. A. A model for leaf growth.— Ann. Bot., 1979, v. 44, N 5, p. 523—535.
239. Charles-Edwards D. A. The mathematics of photosynthesis and productivity.— London etc.: Acad. Press, 1981.— 127 p.
240. Charles-Edwards D. A. An hypothesis about control of flowering.— Ann. Bot., 1983, v. 52, N 1, p. 105—107.
241. Charles-Edwards D. A., Cockshull K. E. e. a. A model of flowering in Chrysanthemum.— Ann. Bot., 1979, v. 44, N 5, p. 557—566.
242. Collis-George N., Melville M. D. Water absorption by swelling seeds. I. Constant surface boundary condition.— Austral. J. Soil. Res., 1975, v. 13, N 2, p. 141—158.
243. Cooper A. J., Thornley J. H. M. Responce of dry matter partitioning, growth and carbon and nitrogen levels in the tomato plant to changes in root temperature: experiment and theory.— Ann. Bot., 1976, v. 40, N 170, p. 1139—1152.
244. Curry R. B. Dynamic simulation of plant growth. I. Development of a model.— Trans. ASAE, 1971, v. 14, N 5, p. 946—959.
245. Curry R. B., Chen L. N. Dynamic simylation of plant growth. II. Incorporation of actual daily weather and partitioning of net photosynthate.— Trans. ASAE, 1971, v. 14, N 6, p. 1170—1174.
246. Dayan W., Keulen van H., Dovret A. Tiller dynamics and growth of Rhodes grass after defoliation: a model named TILDYN.— Agroecosystems, 1981, v. 7, N 2, p. 101—112.
247. Dennett M. D., Auld B. A., Elston J. A description of leaf growth in *Vicia faba* L.— Ann. Bot., 1978, v. 42, N 177, p. 223—232.
248. Dennett M. D., Elston J., Milford J. R. The effect of temperature on the growth of individual leaves of *Vicia faba* L. in the field.— Ann. Bot., 1979, v. 43, N 2, p. 197—208.
249. France J., Thornley J. H. M. Mathematical models in agriculture.— Butterworths, London—Boston, 1984.— 335 p.
250. Friend D. J. C., Helon V. A., Fisher J. E. Changes in leaf area ratio during growth of Marquis wheat as affected by temperature and light intensity.— Can. J. Bot., 1965, v. 43, N 1, p. 15—28.
251. Goudriaan J. Crop micrometeorology: a simulation study.— Wageningen, Centre agric. publ. and docum. Pudoc, 1970.— 249 p.
252. Green C. F., Gregson K. An empirical description of photosynthetic area in wheat crops.— J. Sci. Food Agric., 1984, v. 35, N 7, p. 721—724.
253. Greenwood D. J., Wood J. T., Cleaver T. J. A dynamic model for the effects of soil and weather conditions on nitrogen response.— J. Agric. Sci., 1984, v. 82, N 3, p. 455—467.
254. Hellwig Z. Schemat budowy prognozy statystycznej metody wag harmonicznych.— Przegląd Statystyczny, 1967, v. 14, N 2, p. 133—153.
255. Horie T. Simulation of sunflower growth. I. Formulation and parametrization of dry matter production, leaf photosynthesis, respiration and partitioning of photosynthates.— Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Jap., Ser. A24, 1977, p. 45—70.
256. Hudhes A. P. A comparison of the effects of light intensity and duration on *Chrysanthemum morifolium* cv. Bright 11. Ontogenetic changes in respiration.— Ann. Bot., 1973, v. 37, N 150, p. 275—285.
257. Jones J. W., Brown L. G., Hesketh J. D. COTCROP: A computer model for cotton growth and yield.— In: Predicting phot. for ecosystem models, v. 11 CRC Press, Boca Raton, Floride, 1980, p. 209—241.
258. Jones J. W., Hesketh J. D. e. a. Development of a nitrogen balance for cotton growth models: a first approximation.— Crop Sci., 1974, v. 14, N 4, p. 541—546.
259. Jones J. W., Smerage G. W. Representation of plant/crop physiology.— ASAE Techn. Paper, 1978, N 78-4024.
260. Kaitala V., Hari P. e. a. A dynamic model for photosynthesis.— Ann. Bot., 1982, v. 50, N 3, p. 385—396.
261. Keulen van H. Simulation of water use and herbage growth in arid regions.— Wageningen: Pudoc, 1975.— 176 p.

262. Keulen van H. Modelling the interaction of water and nitrogen.—*Plant Soil*, 1981, v. 58, N 1-2, p. 205-229.
263. Keulen van H. Modelling dynamic aspects of nitrogen in soils and plants.—In: *Gen. Eng. Symb. Nitrogen Fixation and Conv. Fix. Nitrogen*. New York—London, Plenum Press, 1981, p. 605-622.
264. Keulen van H. A deterministic approach to modelling of organogenesis in wheat.—In: *Simulation of plant growth and crop production*. Wageningen: Pudoc, 1982, p. 151-155.
265. Keulen van H., Seligman N. G., Benjamin R. W. Simulation of water use and herbage growth in arid regions—reevaluation and further development of the model „Arid crop“.—*Agric. Systems*, 1980-81, v. 6, N 3, p. 150-193.
266. Kühne L., Kausch W. Über das Quellungs-maximum der Kotyledonen und Keimachsen von *Pisum sativum* L.—*Planta*, 1965, B 65, N 1, s. 27-41.
267. Landsberg J. J. Effects of weather on plant development.—In: *Environ. effects on crop phdysiol.* London etc., Acad. Press, 1975, p. 289-307.
268. Laubig V., Lummitsch M., Hoberg W. Ein Modell der Stoffproduktion bei Weizen in der Kornfüllungsperiode.—In: *Biophys. Analyse Pflanz. Systeme*, 1977, S. 193-200.
269. Loomis R. S., Rabbinge R., Ng E. Explanatory models in crop physiology.—*Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1979, v. 30, p. 339-367.
270. Lundegårdh H. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben.—Jena, 1949.—484 S.
271. Maksymowycz R., Erickson R. O. Analysis of leaf development.—Cambridge Univ. Press, 1973.—109 p.
272. Mazur P. Freezing injuri plants.—*Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1969, v. 20, p. 419-448.
273. McCree K. J. An equation for the rate of respiration of white clover plants growth under controlled condition.—In: *Prediction and measurement of photosynthetic productivity*. Wageningen: Pudoc, 1970, p. 221-229.
274. McCree K. J. Equations for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as functions of dry weight, photosynthetic rate and temperature.—*Crop Sci.*, 1974, v. 14, N 4, p. 509-514.
275. McKinion J. M., Jones J. W., Hesketh J. D. A system of growth equations for the continuous simulation of plant growth.—*Trans. ASAE*, 1975, v. 5, N 18, p. 975-979.
276. Miles G. E., Bula R. J. Simulation of alfalfa growth.—*ASAE Paper*, 1973, N 73-4547.
277. Monsi M., Saeki T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion.—*Jap. J. Bot.*, 1953, N 14, S. 22-52.
278. Murata Y. Dependence of potential productivity and efficiency for solar energy utilization on leaf photosynthetic capacity in crop species.—*Japan. J. Crop Sci.*, 1981, v. 50, N 2, p. 223-232.
279. Ondok J. P. Calculation of mean leaf area ratio in growth analysis.—*Photosynthetica* (Prague), 1971, N 5, p. 358-363.
280. Osman A. M. Root respiration of wheat plants influenced by age, temperature and irradiation of shoots.—*Photosynthetica*, 1971, N 5, p. 107-112.
281. Pearce R. B., Blaser R. E. Net photosynthesis of barley seedlings as influenced by leaf area index.—*Crop. Sci.*, 1967, v. 7, N 4, p. 321-324.
282. Phillips R. E. Water diffusivity of germination soybean, corn, and cotton seed.—*Agron. J.*, 1968, v. 60, N 5, p. 568-571.
283. Poston T., Stewart J. Catastrophe Theory and its Application.—London: Pitmen, 1978.
284. Reynolds J. F., Thornley J. H. M. A shoot: root partitioning model.—*Ann. Bot.*, 1982, v. 49, N 5, p. 585-597.
285. Richards R. J. The quantitative analysis of growth.—*Plant Physiol.*, 1969, v. 44, N 1, p. 3-76.
286. Robertson G. W. Guidelines on crop — weather models.—Geneva, 1983.—120 p. (World Climate Programme, WMO-N 50).
287. Robson M. J. The growth and development of simulated swards of perennial ryegrass. II. Carbon assimilation and respiration in a seedling sward.—*Ann. Bot.*, 1973, v. 37, p. 501-518.
288. Sharman B. C. The biology and developmental morphology of the shoot apex in the Gramineae.—*New Phytologist*, 1947, v. 46, N 1, p. 20-34.
289. Scheibe A., Meyer H. D. Vergleichende Untersuchungen zur Atmungsintensität der Wurzeln unterschiedlicher Genotypen bei Getreidearten.—*Z. Acker- und Pflanzenbau*, 1959, B 108, N 1/2, S. 233-252.
290. Simulation of plant growth and crop production. Ed. by F. W. T. Penning de Vries and H. H. van Laar.—Wageningen: Pudoc, 1982.—308 p.
291. Spiertz J. H. J. Ear development, assimilate supply and grain growth of wheat.—In: *Simulation of plant growth and crop production*. Wageningen: Pudoc, 1982, p. 136-144.
292. Struik G. J., Bray J. R. Root-shoot relations of native forest herbs and zea may at different soil moisture levels.—*Ecology*, 1970, v. 51, N 5, p. 892-893.
293. Sunderland N., Brown R. J. Distribution of growth in the apical region of the shoot of *Lupinus albus*.—*Exptl. Bot.*, 1956, v. 7, N 19, p. 127-145.
294. Thomas M. D., Hill C. R. The continuous measurement of photosynthesis, respiration and transpiration of alfalfa and wheat growing under field conditions.—*Plant Physiol.*, 1937, v. 12, N 2, p. 285-307.
295. Thornley J. H. M. Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology.—London—New York: Acad. Press, 1976.—318 p.
296. Thornley J. H. M. Wheat grain growth: anthesis to maturity.—*Austr. J. Plant Physiol.*, 1979, v. 6, N 2, p. 187-194.
297. Thornley J. H. M. Organogenesis.—In: *Mathematics and Plant Physiology*. London etc.: Acad. Press, 1981, p. 44-65.
298. Thornley J. H. M., Cockshull K. E. A catastrophe model for the switch vegetative to reproductive to growth in the shoot apex.—*Ann. Bot.*, 1980, v. 46, N 3, p. 333-341.
299. Toomim H. Mathematical description of net photosynthesis, growth and adaptation processes in the photosynthetic apparatus of plant communities.—In: *Prediction and measurement of photosynthetic productivity*. Wageningen: Pudoc, 1970, p. 103-114.
300. Ungar E., Keulen van H. FORTRAN version of the simulation model ARID CROP.—Wageningen: Pudoc, 1982.
301. Varga-Haszonits Z. Agroclimatology and agrometeorological forecasting.—Budapest, 1983.—426 p.
302. Venus J. C., Causton D. R. Plant growth analysis: the use of the Richards function as an alternative to polynomial exponentials.—*Ann. Bot.*, 1979, v. 43, N 5, p. 623-632.
303. Vos J. Effects of temperature and nitrogen supply on postfloral growth of wheat, measurements and simulations.—Wageningen: Pudoc, 1981.—164 p.
304. Vos J., Drees E., Penning de Vries F. W. T. Modelling of post-floral growth of wheat.—In: *Simulation of plant growth and crop production*. Wageningen: Pudoc, 1982, p. 144-151.
305. Wanjura D. F., Buxton D. K., Starleon H. N. A model for describing cotton growth during emergence.—*Trans. ASAE*, v. 16, N 2, p. 227-231.
306. Winzeler H., Hunt Z. A., Maken L. D. Ontogenetic changes in respiration and photosynthesis in a unicum barley.—*Crop Sci.*, 1976, v. 16, N 6, p. 786-790.
307. Wit de C. T. e. a. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops.—Wageningen: Pudoc, 1978.—141 p.
308. Wit de C. T., Brouwer R. Über ein dynamisches Modell des vegetativen Wachstums von Pflanzenbeständen.—*Angew. Bot.*, 1968, V 42, N 1/2, S. 1-12.

309. Wit de C. T., Brouwer R., Penning de Vries F. W. T. The simulation of photosynthetic system.—In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity. Wageningen: Pudoc, 1970, p. 47—70.
310. Wit de C. T., Goudriaan J. Simulation of ecological processes.—Wageningen: Pudoc, 1978.—175 p.
311. Zelawski W., Lech A. Logistic growth functions and their applicability for characterizing dry matter accumulation in plants.—Acta Physiol. Plant., 1980, v. 2, N 2, p. 187—194.

Предметный указатель

- Агрометеорологическая информация 142
 - входная 153, 187, 272
 - декадная 217, 227
- Агрометеорологические прогнозы 125, 207, 267
 - методы оценки 4, 137
 - расчеты 4, 137
- Адаптация 81, 91, 101
- Азот 45, 58, 78
- Ассимиляты, их распределение 39, 113
 - транспорт 39, 56
 - фонд 39
- Баланс
 - азота 73
 - сухой массы 73
 - углеводов 73
- Белок 42
 - гидролиз 42, 77
 - обновление 80
 - синтез 79
- Биомасса 97, 269
 - зерна 97
 - клубней 132
 - колоса 97, 132, 199
 - корней 138, 199
 - листьев 199
 - надземная 83, 271
 - общая 138, 199
 - органов 138
 - стеблей 138, 199
 - функционирующая 97
- Болезни 105
 - и дыхание 106
 - и площадь ассимилирующей поверхности 107
 - и температура воздуха 106
 - и фотосинтез 105
 - и функционирующая биомасса 107
- Влага 42
 - водный потенциал 43
 - диффузия 42
 - критический уровень 43
 - молярная доля 44
 - молярный объем 44
 - осмос 43
 - поток 43
- Влагоемкость наименьшая 242, 273, 285, 287
- Влажность почвы 188
- Гармонические веса 9
 - коэффициенты 12
- Географическая широта 142, 149, 209, 210
 - изменчивость параметров 91
- Гидролиз
 - белков 41, 42, 44
 - крахмала 41
 - углеводов 42, 44, 77

Горох 43
Гречиха 11, 15, 20, 25, 33, 126
Густота стояния растений 98, 143, 209, 241

Диагностика 131
Донорно-акцепторные отношения 39, 90, 113
Дыхание 4, 39, 41, 44, 90
 коэффициенты 80
 поддержания 41, 94, 104, 106
 проростка 41, 42
 роста 41, 94, 104, 106
 семена 41, 44

Жизненный цикл 90

Заморозки 4, 102
 и дыхание 103, 104
 и площадь ассимилирующей поверхности 103, 104
 и ростовые функции 104
 и световая кривая фотосинтеза 103
Запасы продуктивной влаги 137, 211

Засуха 4, 100
 и прирост биомассы посевов 101
 и распределение ассимилятов 101

Зерно
 запал 37, 88
 зародыш 86
 налив 85
 поступление влаги 89
 прорастание 88
 прорастание на корню 37
 созревание 86
 стекание 37, 88
 эндосперм 41, 86

Зернобобовые 13, 26, 33, 133
Зерновые 11, 13, 16, 20, 25, 33, 91, 126
 озимые 11, 17, 26, 33, 109, 126
 поздние теплолюбивые 11, 33, 126
 ранние яровые 18, 33, 126

Зоны
 аттрагирующие 39
 дифференцированные 117
 роста делением 39, 58, 60, 117
 роста растяжением 39, 58, 60, 117

Интенсификация 118
Интенсивность фотосинтеза посева 131
 в реальных условиях среды 93, 211
 при оптимальных условиях 92, 139
 при световом насыщении 73, 92, 210

Информация 154
 декадная 153
 исходная 154, 167, 228

Картофель 11, 15, 21, 26, 33, 98, 126

Кинетическая энергия 111
 момент сопротивления 110

Клубни 245
Колеоптиде 45, 47, 57, 58
Колос 46, 97, 98, 271
Конус нарастания 39, 46, 57

Корни 45, 113
 зародышевые 45, 57, 60
 узловые 57, 60
Коэффициент
 дыхания 199, 248
 хозяйственной эффективности 121
Крахмал 43
 гидролиз 44
 синтез 44
Кукуруза 19, 25, 33, 43, 54, 126

Лен 45, 126
Лист 92, 113, 271
 влагалище 57
 пластинка 57

Материнский клубень 98, 212
Междоузлие 49, 57
Меристема 45, 49, 55, 57, 114
Метелка 108
Методы прогноза урожайности 267
Микрорайон 216, 264
 сельскохозяйственный 264
Минеральное питание 113
Модель 42
 авторегрессионная 27, 128
Модель продукционного процесса 4, 47, 135
 длиннопериодная динамическая 3, 37, 89
Морфогенез 47

Наименьшая влагоемкость 137, 209, 211, 241, 273, 285

Овес 11, 18, 26, 33, 44, 126
Овощные культуры 126
Озимая рожь 11, 17, 26, 33, 109, 126
Онтогенетическая кривая дыхания 95, 138, 213
 фотосинтеза 93, 137, 211
Органогенез 42, 46, 85, 103
Оценка агрометеорологических условий 4, 208, 271
 географической изменчивости параметров 91
 параметров 91

Пластохрон 48, 49, 54
Плодовые культуры 126
Площади посевные 143
Площадь ассимилирующей поверхности 97, 241, 271
Подсолнечник 126
Полегание растений 110, 111
Потребность
 в азоте 59
 в углеводах 59

Почка 48
Примордий 48
Прирост биомассы 249
Продуктивность посева 3
Просо 11, 15, 19, 25, 33, 44, 107
Пшеница яровая 11, 17, 25, 126
 озимая 11, 16, 25, 126

Раднация солнечная 210
 суммарная 210
 фотосинтетически активная 92

Распределение ассимилятов 61, 73, 113

Рис 44, 54, 111, 126

Рост

делением 41, 55, 58

растяжением 41, 55, 58

Сеяные травы 126

Синтез 44, 45

белков 44, 51, 86, 89, 106

вещества клеточных стенок 79

крахмала 86, 89

углеводов 44, 51, 79

Скорость роста

делением 41, 55, 58

растяжением 41, 55, 58

Случайные процессы 34

спектральная плотность 35

Солнечное сияние 107

число часов 143, 209

Соцветие 53

оплодотворение 83

опыление 84

ось 53

сегмент 53

цветковые бугорки 54

Статистические характеристики урожайности 24, 127

Стебли 92, 113, 271

Субтропические культуры 126

Сумма температур активных 54

эффективных 54, 108, 109, 137, 215

Сфера

вегетативная 46, 48, 90

репродуктивная 46, 48, 90

Темновая фиксация CO_2 100

и онтогенез 100

и температура 100

коэффициенты 100

Температура воздуха 93

максимальная 123, 247, 269

минимальная 121, 123

оптимальная 93, 120, 123, 137

пороговая 93

средняя декадная 112, 137, 269

средняя дневная 246, 247

Технические культуры 126

Ткани 38

делящиеся 38

растягивающиеся 38

стареющие 38

функционирующие 38

Транспирация 86

Удельная поверхностная плотность 139, 215

Уравнение баланса биомассы 81

зерна 88, 96, 97

корней 96

Маккри 94

Михазиса—Ментен 76, 97

Монси и Сазки 73, 91, 135

надземной биомассы 101

площади ассимилирующей поверхности 82, 97

перетока веществ из материнского клубня 98

Росса 95

роста 95

функционирующей биомассы 96

темновой фиксации CO_2 100

Урожайность

валовой сбор 126

временной ряд 9, 27, 127

потенциальная 132, 140

среднеобластная 131, 217, 260, 272

тенденция 127, 128, 131

хозяйственная 268

эталонная 132

Факторы

экзогенные 38, 39, 113

эндогенные 38, 39, 46, 113

Фитомер 38, 48, 57

верхушечный 39

детерминация 38

закладка 38

зародышевый 38, 45

развитие 38

рост 38, 57

членики 38, 57

Фонд азота 39

углеводов 39

Фотосинтез 4, 90

и влажность почвы 137

и заморозки 103

и минеральное питание 74

онтогенетическая кривая 93, 137

и площадь листьев 94

и поражение инфекцией 106

и радиация 73, 91

и световая кривая 74

и температура 106, 137

Функции влияния влажности почвы на фотосинтез 93, 211

избытка свободных ассимилятов 74

температуры воздуха

на дыхание 94

на темновую фиксацию CO_2 100

на фотосинтез 93, 211

Функции автокорреляционные 12, 27, 28, 32

отмирания 97

пожелтения 97

ростовые 96, 119, 199

периода вегетативного роста 96, 139

репродуктивного роста 96, 139

Хлопчатник 44, 112, 126

Цикл развития

большой 39

отдельных фитомеров 38

Число колосков в колосе 98

зерен в колосе 98

растений 98

Энергия активации диффузии 43

Этапы органогенеза 42, 46, 85, 103

Ячмень яровой 18, 33, 126

Оглавление

Предисловие	3
Часть I	
Стохастическое моделирование временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур	6
Глава 1. Оценка приведения временного ряда урожайности к стационарной случайной последовательности	8
1.1. Оценка правильности выбора вида тренда	9
1.2. Проверка стационарности случайной компоненты	11
Глава 2. Анализ динамики тенденции урожайности сельскохозяйственных культур	14
2.1. Динамика тенденции урожайности	17
2.2. Типы динамики тенденции урожайности	22
Глава 3. Анализ случайной компоненты временных рядов урожайности	24
3.1. Оценка статистических характеристик случайной компоненты	—
3.2. Анализ внутрирядных связей	27
Часть II	
Моделирование продуктивности посевов	37
Глава 4. Модель роста, развития и формирования продуктивности злаков	38
4.1. Моделирование процесса прорастания семян	41
4.2. Моделирование закладки, роста и развития фитомеров	46
4.3. Моделирование распределения ассимилятов и элементов минерального питания	55
4.4. Моделирование углеводного и азотного баланса растения	73
4.5. Моделирование процесса зернообразования	83
Глава 5. Базовая динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур	90
5.1. Моделирование основных составляющих продукционного процесса растений	91
5.2. Моделирование влияния стрессовых условий на формирование урожая	100
5.3. Развитие структуры базовой модели применительно к отдельным культурам	107
5.4. Развитие методов определения параметров базовой модели формирования урожая	118
Часть III	
Динамико-статистические методы прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур	125
Глава 6. Методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур	—
6.1. О развитии методов агрометеорологических прогнозов продуктивности сельскохозяйственных культур	—
6.2. О расчете валового сбора сельскохозяйственных культур и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур	126
6.3. Основы динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур	127
6.4. О методе прогноза урожая и суммарного валового сбора зерновых и зернобобовых культур	152
6.5. О методе прогноза урожая сельскохозяйственных культур (озимая и яровая пшеница, яровая ячмень, кукуруза, лен, картофель)	187

Глава 7. Метод агрометеорологического прогноза урожайности картофеля (сочетание применения ЭВМ и малой вычислительной техники)	207
7.1. Основные принципы	—
7.2. Основы метода агрометеорологического прогноза среднеобластной урожайности картофеля с использованием декадной агрометеорологической информации	208
7.3. О методике прогноза среднеобластной урожайности картофеля с использованием декадной агрометеорологической информации	217
7.4. Описание метода агрометеорологического прогноза среднеобластной урожайности картофеля, реализуемого с помощью малой вычислительной техники	227
Глава 8. О прогнозировании урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации	267
8.1. Основы метода агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации	—
8.2. Метод агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур с использованием аэрофотометрической информации	272
8.3. Пример составления агрометеорологического прогноза урожайности ранних яровых зерновых культур	286
Заключение	292
Список литературы	299
Предметный указатель	313

С
П
Ч
С
Х
Г.
Н
Г.
К
Г.
Ч
М
Г
Г
Ч
Д
С
Г
К

Монография

Анатолий Николаевич Полевой

Прикладное моделирование и прогнозирование
продуктивности посевов

Редактор А. Б. Котиковская. Художник И. Г. Архипов. Художественный редактор
В. В. Быков. Технический редактор Л. М. Шишкова. Корректор Н. Б. Михайлова

ИБ № 1762

Сдано в набор 25.01.88. Подписано в печать 28.06.88. М-38193. Формат 60×90¹/₁₆, бумага
тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 20,0. Кр.-отт. 20,0. Уч.-изд.
л. 22,67. Тираж 1760 экз. Индекс ПРЛ-193. Заказ № 580. Цена 3 р. 80 к. Гидрометеонадат.
199226. Ленинград, ул. Беринга, 38.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского
объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград. Прачечный пер., 6

Вычисление сухой биомассы корней картофеля m_r ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Рас- четная декада	m_r^j на начало декады	TS2	β_r	ΔM	$\beta_r \Delta M$	ω_r	$\omega_r m_r$	$\beta_r \Delta M -$ $-\omega_r m_r$	n	$\Delta M_r = (\beta_r \Delta M -$ $-\omega_r m_r) n$	$m_r^j + 1 = \omega_r^j +$ $+\Delta M_r$ на конец декады
1	2	3	4	5	6	7=5×6	8	9=8×3	10=7-9	11	12=10×11	13=3+12
Июнь	2	2,58	46	0,055	2,25	0,120	0	0	0,120	3	0,36	2,94
	3	2,94	210	0,045	2,12	0,090	0	0	0,090	10	0,90	3,84
Июль	1	3,84	384	0,070	5,11	0,357	0	0	0,357	10	3,57	7,41
	2	7,41	562	0,060	13,23	0,794	0,0054	0,040	0,754	10	7,54	14,95
	3	14,95	756	0,001	12,60	0,013	0,0052	0,077	-0,064	11	-0,70	14,25
Август	1	14,25	927	0	9,07	0	0,0051	0,073	-0,073	10	-0,73	13,52
	2	13,52	1086	0	4,78	0	0,0048	0,064	-0,064	10	-0,64	12,88
	3	12,88	1245	0	2,24	0	0,0043	0,055	-0,055	11	-0,60	12,28
Сентябрь	1	12,28	1370	0	0,83	0	0,0037	0,045	-0,045	10	-0,45	11,83
	2	11,83	1402	0	0,53	0	0,0033	0,039	-0,039	3	-0,12	11,71

VI. Описание вычисления сухой биомассы клубней картофеля m_p ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.6

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и граф, где записываются результаты счета
m_p — масса клубней на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Если в расчетную декаду сумма среднесуточных температур $TS2 \leq 400^\circ\text{C}$, то $m_p = 0$; расчет m_p начинается с той декады, когда $TS2 > 400^\circ\text{C}$, т. е. когда коэффициент ростовой функции клубней β_p уже не равен нулю	Расчетная табл. 7.6, графа 3; расчетная табл. 7.7, графа 6
TS2 — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, $^\circ\text{C}$	TS2 переносится из расчетной табл. 7.1, графы 18	Расчетная табл. 7.6, графа 4
$\Delta M_p = (\beta_p \Delta M + \omega_p m_i + \omega_p m_r) n$, где ΔM_p — декадный прирост клубней, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; n — количество дней в расчетной декаде	ΔM_p вычисляется по формуле (7.21) с точностью до 0,01; n устанавливается по таблице исходной информации	Расчетная табл. 7.6, графа 13
β_p — коэффициент ростовой функции клубней картофеля в расчетной декаде, усл. ед.	β_p устанавливается по эталонному графику «Ростовая функция клубней картофеля», построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур, накопленных за расчетную декаду. β_p определяется с точностью до 0,001	Расчетная табл. 7.6, графа 5
ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	ΔM для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.2, графы 15	Расчетная табл. 7.6, графа 6
$\omega_p m_i$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов листьев на массу листьев	$\omega_p m_i$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.3, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 8
$\omega_p m_r$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов стеблей на массу стеблей	$\omega_p m_r$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.4, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 9
$\omega_p m_p$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов корней на массу корней	$\omega_p m_p$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.5, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 10

Вычисление сухой биомассы корней картофеля m_r ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах

Месяц	Рас- четная декада	m_r^j на начало декады	TS2	β_r	ΔM	$\beta_r \Delta M$	ω_r	$\omega_r m_r$	$\beta_r \Delta M -$ $-\omega_r m_r$	n	$\Delta M_r = (\beta_r \Delta M -$ $-\omega_r m_r) n$	$m_r^j + 1 = \omega_r^j +$ $+\Delta M_r$ на конец декады
1	2	3	4	5	6	7=5×6	8	9=8×3	10=7-9	11	12=10×11	13=3+12
Июнь	2	2,58	46	0,055	2,25	0,120	0	0	0,120	3	0,36	2,94
	3	2,94	210	0,045	2,12	0,090	0	0	0,090	10	0,90	3,84
Июль	1	3,84	384	0,070	5,11	0,357	0	0	0,357	10	3,57	7,41
	2	7,41	562	0,060	13,23	0,794	0,0054	0,040	0,754	10	7,54	14,95
	3	14,95	756	0,001	12,60	0,013	0,0052	0,077	-0,064	11	-0,70	14,25
Август	1	14,25	927	0	9,07	0	0,0051	0,073	-0,073	10	-0,73	13,52
	2	13,52	1086	0	4,78	0	0,0048	0,064	-0,064	10	-0,64	12,88
	3	12,88	1245	0	2,24	0	0,0043	0,055	-0,055	11	-0,60	12,28
Сентябрь	1	12,28	1370	0	0,83	0	0,0037	0,045	-0,045	10	-0,45	11,83
	2	11,83	1402	0	0,53	0	0,0033	0,039	-0,039	3	-0,12	11,71

VI. Описание вычисления сухой биомассы клубней картофеля m_p ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) в расчетных декадах по расчетной табл. 7.6

Расчетная формула и обозначения	Описание вычисления по таблицам и графикам без вычисления по формулам	Номера расчетных таблиц и граф, где записываются результаты счета
m_p — масса клубней на начало расчетной декады, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	Если в расчетную декаду сумма среднесуточных температур $TS2 \leq 400^\circ\text{C}$, то $m_p = 0$; расчет m_p начинается с той декады, когда $TS2 > 400^\circ\text{C}$, т. е. когда коэффициент ростовой функции клубней β_p уже не равен нулю	Расчетная табл. 7.6, графа 3; расчетная табл. 7.7, графа 6
TS2 — сумма среднесуточных температур в расчетной декаде, $^\circ\text{C}$	TS2 переносится из расчетной табл. 7.1, графы 18	Расчетная табл. 7.6, графа 4
$\Delta M_p = (\beta_p \Delta M + \omega_p m_i + \omega_p m_r) n$, где ΔM_p — декадный прирост клубней, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; n — количество дней в расчетной декаде	ΔM_p вычисляется по формуле (7.21) с точностью до 0,01; n устанавливается по таблице исходной информации	Расчетная табл. 7.6, графа 13
β_p — коэффициент ростовой функции клубней картофеля в расчетной декаде, усл. ед.	β_p устанавливается по эталонному графику «Ростовая функция клубней картофеля», построенному по вспомогательной табл. 7.7 согласно среднему значению суммы среднесуточных температур, накопленных за расчетную декаду. β_p определяется с точностью до 0,001	Расчетная табл. 7.6, графа 5
ΔM — суточный прирост сухой биомассы картофеля в расчетной декаде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	ΔM для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.2, графы 15	Расчетная табл. 7.6, графа 6
$\omega_p m_i$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов листьев на массу листьев	$\omega_p m_i$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.3, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 8
$\omega_p m_r$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов стеблей на массу стеблей	$\omega_p m_r$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.4, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 9
$\omega_p m_p$ — произведение коэффициента перетока «старых» ассимилятов корней на массу корней	$\omega_p m_p$ для расчетной декады переносится из расчетной табл. 7.5, графы 9	Расчетная табл. 7.6, графа 10