

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

AGRICULTURAL METEOROLOGY

CAGM REPORT No. 45 (PART A)

(In Russian)

PART A: NEW SPECIALIZED AGROMETEOROLOGICAL SERVICES IN COUNTRIES WITH HIGHLY DEVELOPED INDUSTRIES

by Prof. M.A. Stroganova

(CAGM-IX Rapporteur on New Specialized Agrometeorological
Services in Countries with Highly Developed Industries)

WMO/TD-No. 502

(Russian Version of Part A only)

1992

"This report has been produced without editorial revision by the WMO Secretariat. It is not an official WMO publication and its distribution in this form does not imply endorsement by the Organization of the ideas expressed."

CONTENTS

	Page
PART A	
Chapter 1 Introduction	1
Chapter 3 Formulation of questionnaire	2
Chapter 4 Analysis of questionnaire data	6
Chapter 5 Methodology of creation of some new specialized agrometeorological services	28
Chapter 6 Suggestions on the type of agrometeorological services for areas under heavy industrial stress	38

NOTE: In the English version of CAGM Report No. 45, the above chapters were edited and published as Part A and the report of Mr. H. Dommermuth was published as Part B. The latter report has not yet been translated into the Russian language.

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Сельскохозяйственная метеорология

Доклад КСХМ

Новые виды специализированного агрометеорологического обеспечения в странах с высокоразвитой промышленностью

(Главы I, 3, 4, 5, 6, подготовленные М.А. Строгановой, докладчиком КСХМ - IX по новым видам специализированного агрометеорологического обеспечения в странах с высокоразвитой промышленностью)

Содержание

	Стр.
Глава I - Введение	3
Глава 3 - Составление вопросника	4
Глава 4 - Анализ данных вопросника	10
Глава 5 - Методология создания некоторых новых видов специализированного агрометеорологического обеспечения	36
Глава 6 - Предложения по новым типам агрометеорологического обеспечения для территорий, подвергающихся воздействию сильного индустриального стресса..	50
Литература	52

Глава I - Введение

В странах с высокоразвитой промышленностью сельскохозяйственное производство имеет ряд особенностей:

- 1) приобретает все более плановый и управляемый характер с учетом высокого жизненного уровня населения;
- 2) ведется в значительной мере на промышленной основе;
- 3) подвергается воздействию факторов, загрязняющих среду (отходы промышленного производства, радионуклиды, пестициды и т.д.).

Наличие этих особенностей сельскохозяйственного производства обуславливает необходимость разработки новых видов агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства и внесения новых элементов в традиционное агрометеорологическое обслуживание.

В индустриальных странах большое внимание уделяется качеству продукции. Возникает проблема повышения качества урожая. Это проблема белка (пшеница, рожь, кукуруза, рис, соя), проблема крахмала (картофель), проблема сахара (сахарная свекла), проблема растительных жиров (соя, подсолнечник). Следует иметь в виду, что речь идет не только о количестве белка (крахмала, сахара, жира), но и о качественном составе белка (крахмала, сахара, жира). Появляется новый вид агрометеорологического обеспечения - прогнозирование и программирование качества урожая сельскохозяйственных культур.

Дальнейшее развитие получает разработка агрометеорологических рекомендаций по защите растений: по рациональному применению удобрений и пестицидов в зависимости от агрометеорологических условий, по защите растений от заморозков и снижению гибели растений при перезимовке, что особенно существенно для

Канады и СССР.

В работах по агрометеорологическому обоснованию получения программируемых (по количеству и качеству) урожаев возникает необходимость учета загрязнения среды.

Приобретает самостоятельное значение разработка агрометеорологических рекомендаций по выращиванию растений в защищенном грунте.

В новых условиях ведения хозяйства большое значение получает агрометеорологическое обеспечение животноводческого комплекса (прогнозирование количества и качества кормов; прогнозирование продуктивности животных; разработка рекомендаций по кормлению и содержанию животных).

Глава 3 - Составление вопросника

3.1. Обоснование вопросника

Существует три метода исследования влияния агрометеорологических факторов на качество продукции.

Первый метод является описательным методом. Описываются результаты многолетних оценок качества. Данные по качеству публикуются в специальных бюллетенях или сообщениях ежегодно. Этот метод используется в сельском хозяйстве.

Второй метод является экспериментальным методом. Проводятся полевые или вегетационные опыты. Результаты представляются в виде таблиц или графиков. Этот метод используется в биологии и сельском хозяйстве.

Третий метод - это метод математического моделирования. Математическое моделирование агрометеорологических процессов в системе "Почва - Растение - Атмосфера" - это новейший инструмент обобщения и анализа наших знаний по влиянию агрометеорологи-

ческих факторов на качество урожая. Модели можно описать как механистические или эмпирические и квалифицировать далее, как динамические или статистические, детерминистские или стохастические. Значение моделирования (некоторые общие аспекты):

1) математическое описание гипотез дает возможность развития количественного понимания растения и его реакции на внешние условия;

2) моделирование может генерировать новые идеи и экспериментальные подходы;

3) информация по различным аспектам роста и развития растения и формирования качества урожая может быть рассмотрена в комплексе, а иногда это является полезным стимулом для сотрудничества;

4) часто модель обеспечивает удобное обобщение данных;

5) модели могут обеспечивать метод интерпретации, экстраполяции и прогноза.

Роль математических моделей состоит в том, чтобы установить влияние внешних условий на отдельные процессы в рамках целого растения.

Связи между агрометеорологическими факторами и качеством, полученные на основе описательных и экспериментальных данных, обобщаются в виде регрессионных моделей. Динамические модели качества — это математическое описание физиологических и биохимических процессов формирования качества культуры в различных климатических и погодных условиях. Описательные и экспериментальные данные также используются.

Математическое моделирование используется в биологии, сельском хозяйстве и агрометеорологии. Агрометеорологические методы разрабатываются на основе выхода моделей.

Разработке модели предшествует определение основных особенностей влияния внешних факторов на имитируемые процессы. В рамках данного доклада необходимо было оценить уровень исследований по влиянию агрометеорологических факторов на качество и использование результатов исследований для создания новых видов специализированного агрометеорологического обслуживания. Были выбраны основные группы культур: белковые культуры (яровая пшеница, озимая пшеница, озимая рожь, яровой ячмень, рис, кукуруза, соя), сахароносные культуры (сахарная свекла), крахмалоносные культуры (картофель), масличные культуры (культуры, изучаемые в конкретно взятой стране).

В настоящее время установлены общие закономерности влияния агрометеорологических факторов на образование белков, крахмала, масла, сахара в запасующих органах (Арабаджиев, 1981; Болдырев, 1959; Chamiro , Kaneco , Saito , 1979; Дегтярева, 1974; Дороганевская, 1971; Goldstein , 1981; Kolderup , 1975; Павлов, 1967; Петров, 1938; Покровская, 1974; Шаратов, Смирнов, 1966; Spiertz, 1971; Суднов, 1978; Tairo , 1972; Тотылева, 1969; Vos , 1981; Заиров, 1967).

Показано, что повышенная температура воздуха, низкая влажность воздуха и почвы способствуют накоплению белков у злаковых и сои. Напротив, умеренная температура воздуха и полная влагообеспеченность благоприятны для накопления крахмала у злаковых и картофеля, сахара у сахарной свеклы, масла у масличных и т.д. Были предприняты отдельные исследования по влиянию освещенности на качество культур. Наиболее полные исследования по влиянию солнечной радиации на качество урожая яровой пшеницы проведено Пигаревой в СССР (Пигарева, 1981). Установлено, что в период от колошения до восковой спелости увеличение продолжительности

солнечного сияния вызывает увеличение содержания белка в зерне яровой пшеницы.

Вегетационные опыты по влиянию перезимовки на качество урожая озимой пшеницы проведены в СССР под руководством проф. А.И.Коровина (Строганова, 1976).

Имеется очень большое количество исследований по влиянию удобрений на качество урожая в различных странах. По этой проблеме опубликовано очень много статей. Мы приводим одну исчерпывающую монографию, в которой обобщается и анализируется много данных по действию удобрений в зависимости от многих факторов: плодородия почвы, влажности почвы, типа почвы, температуры воздуха и почвы и т.д. (Минеев, Павлов, 1981).

Влияние пестицидов на качество культур также зависит от многих факторов (Словцов, Груздев, 1975; Калитина, Зинченко, Груздев и др., 1977; Державин, Седова, 1984). Этот аспект проблемы качества является очень важным из-за высокого уровня химизации сельского хозяйства в развитых странах.

Обобщение имеющихся данных на уровне математических моделей ограничивается небольшим количеством работ. Имеются регрессионные модели (Страшный, 1977; Деревянко, 1989) и динамические модели (Vos, Dress, Penning de Vries, 1982; Строганова, Полевой, 1982; Строганова, 1985, 1986). Одна из динамических моделей разработана в Нидерландах (

1982). Оценивается содержание белка и крахмала в зерне яровой пшеницы. В модели учтены фотосинтез, дыхание, перераспределение и дополнительное поглощение азота, старение листьев. В модели описываются процессы, происходящие в растении только в период после цветения. На основе выхода модели не разработано рекомендаций.

Комплекс динамических моделей был разработан в СССР (Строганова, 1986). Эти модели, описывающие влияние агрометеорологических факторов на формирование качества урожая различных культур. Модели интегрируют знания о формировании качества культур и позволяют исследовать влияние различных факторов на формирование качества урожая. Модели включают описание всех периодов роста и развития растения: от посева до уборки.

Создание агрометеорологических методов, касающихся качества продукции – это одна сторона создания новых видов агрометеорологического обеспечения в странах с высокоразвитой промышленностью. Другая сторона – разработка агрометеорологических методов для снижения использования возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов в сельскохозяйственном производстве и для снижения отрицательных индустриальных воздействий на сельское хозяйство. Потребности в агрометеорологическом обслуживании такого типа подробно изложены во второй главе настоящего доклада.

Очевидно, что новые виды агрометеорологического обслуживания, касающиеся индустриального влияния на сельскохозяйственную продукцию, должны разрабатываться на основе моделей.

3.2. Задачи вопросника

В соответствии с вышеизложенным задачи вопросника по качеству сельскохозяйственной продукции и новым видам специализированного агрометеорологического обеспечения в странах с высокоразвитой промышленностью состояли в следующем:

1) обобщить проводимые в выбранных странах исследования по влиянию агрометеорологических факторов на качество продукции. Выбраны факторы: температура воздуха, температура почвы, осадки (или водный баланс), солнечная радиация (или радиацион-

ный баланс), весенние заморозки, осенние заморозки, перезимовка, удобрения, пестициды/инсектициды. Культуры: яровая пшеница, озимая пшеница, озимая рожь, яровой ячмень, кукуруза, рис, соя, сахарная свекла, картофель, масличные культуры.

2) Оценить уровень исследований по влиянию агрометеорологических факторов на качество урожая различных культур (эксперимент, моделирование).

3) Описать разработанные к настоящему времени модели согласно следующим характеристикам: тип модели (регрессионная или динамическая); концепция модели; структура модели; входные данные; выходные данные; ограничения; валидация (если проводилась).

4) Описать рекомендации, разработанные на основе выхода моделей.

5) Описать анализ экономической эффективности, сделанной для разработанных рекомендаций.

6) Охарактеризовать возможность использования моделей для обеспечения помощи в защите продукции; увеличении количества урожая; снижении стоимости продукции (путем использования времени, механизмов, энергии, удобрений, пестицидов/инсектицидов и т.п.).

7) Обобщить агрометеорологические рекомендации, разработанные для снижения использования возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов (воды, энергии и др.) в сельскохозяйственном производстве; указать подробности, если приводятся, включая количественные оценки.

8) Обобщить агрометеорологические рекомендации, разработанные для снижения отрицательных индустриальных воздействий на сельское хозяйство, включая леса, животных и почвы. Привести подробное описание, если оно дается, включая количественные

оценки.

9) Описать, если таковые имеются, модели, которые разработаны для оценки влияния промышленности, транспорта, сооружений и т.д. на сельскохозяйственное производство.

10) Проанализировать, если таковые имеются, предложения по типам агрометеорологического обеспечения в регионах, подвергающихся сильному индустриальному стрессу.

Глава 4 - Анализ данных вопросника

4.1. Организация

Вопросник был разослан в 35 стран: Аргентина, Австралия, Бенин, Канада, Чехословакия, Китай, Франции, Германская демократическая Республика, Федеративная Республика Германия, Венгрия, Иран, Ирландия, Израиль, Япония, Кения, Лесото, Малави, Новая Зеландия, Нигер, Пакистан, Португалия, Республика Корея, Сао Томе и Принсипе, Сингапур, Шри Ланка, Швейцария, Тринидад, Объединенные Арабские Эмираты, Объединенное Королевство, Уругвай, США, СССР, Югославия, Замбия, Зимбабве.

Не ответили 9 стран: Аргентина, Иран, Лесото, Малави, Нигер, Португалия, Сао Томе и Принсипе, Уругвай, Замбия. В итоге анализировались ответы из двадцати шести стран.

4.2. Исследования по влиянию агрометеорологических факторов на качество продукции

Получено 24 положительных ответа на вопрос об исследованиях по влиянию агрометеорологических факторов на качество продукции.

К сожалению, корреспонденты из Бенина, ФРГ и Кении не сообщили, какие культуры исследовались. Корреспондент из Чехословакии не ответил на вопрос. Приложен список статей, касаю-

шихся этого предмета. Некоторых статей не оказалось в распоряжении докладчика. Поэтому ответы из Бенина, ФРГ, Кении и Чехословакии не анализировались.

Не было получено ответа от корреспондента из Китая. Однако в анализ включены культуры, для которых были разработаны модели.

Двадцать ответов обобщены в табл. I.

Из табл. I можно видеть, что большинство исследований по влиянию агрометеорологических факторов на качество культур было предпринято в СССР (четырнадцать культур), Канаде (восемь культур, семь факторов), Австралия (семь культур), ГДР (семь культур), Шри Ланка (пять культур, семь факторов), Объединенное Королевство (пять культур), Зимбабве (шесть культур, пять факторов). Влияние гербицидов и других пестицидов интенсивно исследуется в Австралии, Канаде, ГДР, Шри Ланке, СССР, Зимбабве. В Швейцарии изучаются только пестициды. Метеорологические факторы не исследуются в этой стране. В Китае исследуются три культуры; влияние удобрений и гербицидов не исследуется.

Влияние пестицидов не исследуется во Франции, Венгрии, Израиле, Японии, Новой Зеландии, Пакистане, Республике Корея, Объединенных Арабских Эмиратах, Объединенном Королевстве.

Влияние температуры воздуха изучается в Австралии, Китае, Венгрии, Ирландии, Израиле, Японии, Республике Корея, Шри Ланке, Объединенном Королевстве, СССР, Зимбабве. Влияние осадков и солнечной радиации не исследуется в Канаде, Сингапуре, Швейцарии, Тринидаде, Объединенных Арабских Эмиратах, Объединенном Королевстве (за исключением трав). Влияние влажности почвы не исследуется в Китае, ГДР, Венгрии, Ирландии, Японии, Пакистане, Республике Корея, Швейцарии, Объединенных Арабских Эмиратах, Объединенном Королевстве (за исключением картофеля).

Таблица I: Обобщение ответов на вопрос об исследованиях по влиянию агрометеорологических факторов на качество продукции

Страна	Культуры	Агрометеорологические факторы*										
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к
Австралия	пшеница	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	яровой ячмень	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	кукуруза	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	рис	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	соя	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	картофель	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
Канада	масличные (в целом)	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	яровая пшеница	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-
	озимая пшеница	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
	озимая рожь	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
	кукуруза	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-
	соя	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Китай	сахарная свекла	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-
	картофель	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
	салат	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
	гибридный рис	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	* +
	соя	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	* +
	сахарная свекла	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	* +

* - относительная влажность

Таблица I: (продолжение)

Страна	Культуры	Агрометеорологические факторы ^х												
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к		
Франция	Сахарная свекла	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	
Германская	озимая пшеница	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
Демокра-	сахарная свекла	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	жж	
тическая	картофель	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	жж	
Респуб-	пшеница для выпечки	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
лика	пивоваренный ячмень	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	жж	
	фуражные травы	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	жж	
* - качество посевного материала и технология предобработки при уборке														
жж - время нахождения на поле в валках														
Венгрия	перец	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	ж	
ж - влажность воздуха														
Ирландия	сахарная свекла	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	
Израиль	яровая пшеница	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
Япония	рис	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
Новая	Зеландия	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	
Зеландия														
Пакистан	яровая пшеница	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	
Республика	соя	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
Корея	озимая пшеница	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	

Таблица I (продолжение)

Страна	Культуры	Агрометеорологические факторы ^х										
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к
Сингапур	соя	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Шри Ланка	кукуруза	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	рис	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	соя	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	картофель	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	масличные (в целом)	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
Швейцария	картофель	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	яровая пшеница	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	озимая пшеница	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	озимая рожь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	яровой ячмень	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Тринидад	кукуруза	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Объединенные Арабские Эмираты	картофель	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	ж ⁺
	ж - способ орошения почвы											
Объединенное Королевство	озимая пшеница	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ж ⁺
	яровая пшеница	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ж ⁺
	яровой ячмень	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	картофель	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	травы	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
ж - влажность воздуха												

Таблица I: (продолжение)

Страна	культура	Агрометеорологические факторы ^х										
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к
СССР	яровая пшеница	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-
	озимая пшеница	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
	озимая рожь	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	яровой ячмень	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	кукуруза	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	рис	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	кк ⁺
	соя (на белок)	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+
	сахарная свекла	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
	картофель	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	масличные											
	соя	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
	подсолнечник	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	лен	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	кунжут	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	горчица	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
ж - число побегов; кк - влажность воздуха												
Зимбабве	озимая пшеница	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	кукуруза	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	рис	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	соя	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	картофель	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	масличные (в целом)	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-

Таблица I: (продолжение)

t_a - температура воздуха; t_b - температура почвы; s - влажность почвы; d - осадки или водный баланс; e - солнечная радиация/радиационный баланс; ϕ - весенние заморозки; Γ - осенние заморозки; Π - переэимовка; $и$ - удобрения; $ж$ - пестициды/инсектициды; $к$ - другие факторы.

Корреспондент из Пакистана подробно описал изучение влияния на качество конечной продукции яровой пшеницы обильных дождей в период уборки и обмолота. Эти исследования проведены в Технологической Исследовательской Лаборатории Кормов Национального Сельскохозяйственного Исследовательского Центра в Исламабаде. В 1987 году проведены следующие работы: изучение влияния выращивания в поле на качество урожая сортов пшеницы; влияние дождей в период уборки на качество пшеницы в Исламабадском регионе; влияние удобрений на качество пшеницы; влияние микроэлементов на качество пшеницы. В 1988 году планируется: изучение влияния основных агротехнических приемов (гербициды, удобрения и сорта), используемых при возделывании пшеницы, на качество продукции кукурузы; изучение влияния длительности вегетационного периода и размещения культуры на технологическую ценность некоторых пакистанских сортов пшеницы; изучение влияния на качественные показатели пшеницы способов внесения удобрений, содержащих азот и фосфор; изучение влияния даты посева на качество различных сортов пшеницы.

Корреспондент сообщает, что Пакистан подготовил программу исследований по влиянию условий выращивания на технологические показатели качества зерна злаковых культур. Программа была предложена на предмет ее финансирования различным международным организациям и правительству Пакистана. Однако до сих пор авторы программы не получили определенных обещаний ни от одной из этих организаций и они приветствовали бы, если бы любая международная организация проявила заинтересованность в проведении такого рода работ, которые не проведены в Пакистане.

Представляют интерес для проблемы качества, проводимые в Чехословакии исследования по влиянию на качество продукции заг-

загрязнения воздуха промышленными отходами. Как основной показатель загрязнения воздуха может рассматриваться содержание и его среднегодовая концентрация. Согласно степени повреждения можно выделить пять зон концентраций SO_2 (зоны эмиссии). В этих зонах отмечается наряду со снижением урожая также снижение его качества и ценности сельскохозяйственной продукции. Урожай характеризуется пониженным содержанием азотистых соединений, повышенным содержанием пыли (dust), наличием тяжелых металлов. Сахарная свекла отличается пониженной сахаристостью.

Изучение влияния агрометеорологических факторов на качество урожая отдельных культур подытожено в табл.2. Весьма интенсивно исследуется картофель. Эта культура изучается в девяти странах. Особенно большое внимание уделяется картофелю в Австралии (семь факторов), Шри Ланке (семь факторов), СССР (пять факторов), Зимбабве (пять факторов). Влияние удобрений на качество картофеля исследуется в восьми странах, пестицидов и влажности почвы - в шести странах, осадков - в четырех странах, температуры воздуха и температуры почвы в трех странах, солнечной радиации - в двух странах, осенних заморозков - в одной стране (Канада). Влияние качества посевного материала и технологии уборки исследуется в ГДР, способов орошения почвы - в Объединенных Арабских Эмиратах.

Яровая пшеница исследуется в шести странах, озимая пшеница в семи странах. Пшеница исследуется также в Австралии. Изучается, главным образом, влияние удобрений.

Соя изучается в восьми странах. Наиболее интенсивные исследования проводятся в Австралии, Шри Ланке и СССР, Влияние удобрений и гербицидов изучается во всех странах за исключением Китая.

Таблица 2: Внимание, уделяемое исследованиям по качеству урожая в различных странах

Культура	Страна	Агрометеорологические факторы										
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к
Яровая пшеница	Канада	-	+	+		-	-	+	-	+	-	-
	Израиль	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	Пакистан	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
	Швейцария	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	Объединенное Королевство	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Озимая пшеница	СССР	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
	Канада	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
	ГДР	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	Республика Корея	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
	Швейцария	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Пшеница	Объединенное Королевство	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	СССР	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
	Зимбабве	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Канада	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Озимая рожь	Швейцария	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	СССР	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-

Таблица 2: (продолжение)

культура	Страна	Агрометеорологические факторы										
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к
Яровой ячмень	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Швейцария	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Объединенное Королевство	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	СССР	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-
<hr/>												
Пивоваренный ячмень	ГДР	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
Кукуруза	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Канада	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-
	Шри Ланка	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Тринидад	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
	Зимбабве	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	СССР	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
<hr/>												
Рис	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Китай	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
	Япония	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	Шри Ланка	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Зимбабве	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
	СССР	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+

Таблица 2: (продолжение)

Культура	Страна	Агрометеорологические факторы													
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	з	к		
Соя	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-		
	Канада	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-		
	Китай	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+		
	Республика Корея	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-		
	Сингапур	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-		
	Шри Ланка	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
	СССР	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
	Зимбабве	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-		
Сахарная свекла	Канада	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-		
	Китай	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+		
	Франция	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-		
	Ирландия	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
	СССР	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
Картофель	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-		
	Канада	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-		
	ГДР	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+		
	Новая Зеландия	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-		
	Шри Ланка	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
	Объединенные Арабские Эмираты	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+		
	Объединенное Королевство	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	СССР	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+		
	Зимбабве	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+		

21

Таблица 2: (продолжение)

Культура	Страна	Агрометеорологические факторы										
		а	б	с	д	е	ф	г	ш	и	ж	к
Масличные	Австралия	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	Шри Ланка	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	СССР	+	-	+	*	-	-	-	-	+	-	-
	Зимбабве	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-
* - только для сои												
Салат	Канада	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
Фуражные травы	ГДР	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
Перец	Венгрия	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
Травы	Объединенное Королевство	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-

Кукуруза изучается в шести странах. Во всех этих странах изучаются удобрения и гербициды.

В случае риса, который исследуется в шести странах, наибольшее внимание уделяется осадкам и солнечной радиации.

Наиболее интенсивные исследования сахарной свеклы проводятся во Франции (все факторы, кроме удобрений и гербицидов).

Масличные культуры изучаются в Австралии, Шри Ланке, СССР и Зимбабве.

Классификация культур по странам приведена в табл.3. Представлены страны, в которых изучается наибольшее количество факторов.

Таблица 3

Классификация культур по странам

Культура	!	Страны
Яровая пшеница		СССР
Озимая пшеница		СССР
Пшеница		Австралия
Озимая рожь		СССР
Яровой ячмень		Австралия, СССР
Кукуруза, рис, соя, масличные		Австралия, Шри Ланка, СССР, Зимбабве
Сахарная свекла		Франция, СССР
Картофель		Австралия, Канада, СССР, Зимбабве

Как можно видеть из табл.3, кукуруза, рис, соя, картофель, масличные интенсивно исследуются.

4.3. Агрометеорологическое моделирование качества урожая

Положительные ответы на вопрос, касающийся моделей (как

теоретических, так и практических) влияния метеорологических факторов на качество продукции получены из пяти стран (Китай, Франция, Венгрия, Объединенное Королевство, СССР).

В Канаде не разработаны модели по влиянию метеорологических факторов на качество. В настоящее время д-ром Д. Стюартом (Канадский сельскохозяйственный Центр по исследованию природных ресурсов, Оттава) разрабатывается модель для оценки содержания белка в зерне яровой пшеницы. Подробности не представлены.

В Федеративной Республике Германии к настоящему времени не разработаны модели качества продукции. Однако разработана физико-математическая модель для определения влажности зерна яровой и озимой пшеницы при уборке. Автор – К. Хегер (Германская служба погоды, Оффенбах). Оценивается влияние температуры воздуха и влажности воздуха на содержание воды в зерне в процентах. Модель возможно использовать для риса, ячменя и кукурузы. Модель можно использовать в умеренных зонах. Валидация проведена Германской службой погоды. В комплексе с прогнозом погоды результаты модели выдаются фермерам: таким образом прогнозируется тренд содержания воды.

Модель для оценки влажности зерна – это не модель качества. Но мы уделяем ей внимание, поскольку синтез химических компонентов зерна зависит от содержания воды в зерне. По этой причине модели влажности зерна могут быть использованы в динамических моделях качества урожая.

Список моделей, которые разработаны к настоящему времени в различных странах, представлены в табл. 4.

Общая концепция регрессионных моделей состоит в том, что различные климатические, погодные и агротехнические факторы оказывают влияние на качество продукции; имеется корреляция между

Таблица 4. Модели качества урожая, разработанные в различных странах

Страна	Автор	Адрес	Тип модели	Культуры
Китай	Ю Шубэн	Метеорологический ин-т Гуанси	регрессионная	гибридный рис,
	Цу Шихенг	Метеорологический ин-т провинции Хейлунганг		соя, сахарная свекла
Франция	Ванг Бингкун	Сельскохозяйственный ин-т, Шэньян		
	Жербе Н., Шуазнель Е	Национальный Метеорологический Центр, Париж	регрессионная	сахарная свекла
Венгрия	Эрдош Л., Ламберт К.	Департамент Метеорологии, Ун-т Этвала Лоранца, Будапешт Центральный метеорологический ин-т, Будапешт	регрессионная	перец
Объединенное Королевство	Рамней Р.П.	Агрометеорологический Центр, Бристоль	регрессионная	травы
	Цервянко А.Н.	Гидрометеорологический Центр, Москва	регрессионная	озимая пшеница
СССР	Страшный В.Н.	Государственный Комитет по Гидрометеорологии и контролю природной среды	регрессионная	озимая пшеница
	Строганова М.А.	Всесоюзный Научно-Исследовательский Институт сельскохозяйственного метеорологии, Обнинск	теоретическая динамическая	зерновые, картофель, соя
			прикладная динамическая	яровая пшеница

химическими компонентами урожая и факторами внешней среды. Структура моделей – одно регрессионное уравнение или система уравнений регрессии. Различия между моделями по выходным и входным данным представлены в табл.5.

Наиболее полная регрессионная модель разработана Страшным В.Н. (СССР). Наряду с содержанием химических компонентов в зерне модель позволяет оценить технологические показатели зерна.

Применимость регрессионных моделей ограничивается регионами, для которых разработана модель.

Общая концепция, используемая при разработке динамических моделей, состоит в том, что качество урожая формируется не только в период синтеза запасов в запасающих органах, но и в течение всего периода роста и развития растения (от посева до уборки) и определяется условиями внешней среды (в пределах данного генотипа).

Теоретические и прикладные модели яровых зерновых культур, картофеля и сои состоит из трех основных субмоделей: всходы, рост растений от всходов до цветения; синтез запасов в запасающих органах. Теоретические модели озимых зерновых культур включают пять субмоделей: всходы, рост растений от всходов до прекращения осенней вегетации; перезимовка; рост растений от возобновления вегетации до цветения; синтез запасов в запасающих органах. Все теоретические модели включают субмодели динамики азотистых соединений в почве. Каждая субмодель представлена системой дифференциальных уравнений.

Входные данные: параметры уравнений модели, начальные данные для расчетов по модели и агрометеорологическая информация. Выходные данные: основные показатели качества урожая: белок, клейковина, крахмал у зерновых культур; крахмал у карто-

Таблица 5. Некоторые характеристики регрессионных моделей качества урожая

Страна	Входные данные	Выходные данные
Китай	среднесуточная температура, продолжительность солнечного сияния, осадки, относительная влажность (суточная информация)	содержание белка и жира у сои, белка и крахмала у гибридного риса, сахара у сахарной свеклы
Франция	температура, продолжительность инсоляции, суммарная радиация, осадки, испарение, водный баланс, влажность воздуха	относительное содержание сахарозы у сахарной свеклы
Венгрия	среднедневная температура воздуха в период с мая по сентябрь; продолжительность и момент окончания различных фаз	сырая масса пигментов у перца первого сбора
Объединенное Королевство	температура, солнечное сияние	содержание водорастворимых углеводов у трав
СССР, Страшный В.Н.	1) уравнение I^* : средняя температура воздуха в период от колошения до восковой спелости; средняя амплитуда температуры воздуха в период от возобновления вегетации до начала активной вегетации растений; запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале активной вегетации; средний дефицит влажности воздуха в период от начала активной вегетации до колошения; число продуктивных стеблей.	1) процентное содержание белка и клейковины у озимой пшеницы.

Таблица 5 (продолжение)

Страна	Входные данные	Выходные данные
СССР, Деревянко А.Н.	2) уравнение 2 ^{**} : все входные данные уравнения 1 и содержание белка, прогнозируемое по уравнению 1	2) сила муки и объемный выход хлеба
	3) уравнение 3: удобрения, внесенные при основной обработке почвы и в подкормку; осенне-зимние осадки	3) процентное содержание белка и клейковины у озимой пшеницы
	* уравнение 1 разработано для трех типов предшественников: чистый пар, занятый пар, непаровые предшественники;	процентное содержание белка и клейковины у озимой пшеницы
	** уравнение 2 разработано для непаровых предшественников	
	температура воздуха в осенне-зимний период; осадки осенне-зимнего периода; для весенне-летнего периода: температура воздуха; осадки; дефицит влажности воздуха; запасы продуктивной влаги в почве; число продуктивных стеблей	

фея; белок и жир у сои. Для теоретической модели необходим большой набор параметров, начальных данных и агрометеорологической информации.

Агрометеорологическая информация, используемая в прикладной модели яровой пшеницы: широта, процентное содержание азота в почве, солнечное сияние, среднесуточная температура воздуха, максимальная за сутки температура воздуха, минимальная за сутки температура воздуха, запасы продуктивной влаги в почве, даты посева и всходов, начальная густота стояния растений, общее число стеблей, число продуктивных стеблей, число колосков в колосе на дату колошения, сумма эффективных температур за период от всходов до кущения, от всходов до колошения, от всходов до цветения, от всходов до восковой спелости. Используется декадная и суточная метеорологическая информация.

Граничные условия в системе дифференциальных уравнений определяются конкретно для каждого моделируемого процесса. В целом динамическая модель в противоположность статистической модели является универсальной при использовании. Валидация прикладной модели яровой пшеницы проведена для ряда регионов СССР.

Модели качества продукции, разработанные во Франции и СССР, могут быть использованы не только для оценки показателей качества урожая, но и для решения других задач. Например, модель Франции используется для оценки качества сахарной свеклы, поступающей на сахарные заводы и для прогноза конечного выхода сахара. Советские динамические модели используются не только для оценки качества урожая, но также для оценки количества урожая. Они могут быть использованы для оценки всходов, состояния озимых зерновых к началу перезимовки и к возобновлению вегетации после перезимовки, принятия решений о посеве озимых зерновых культур.

Практическое использование моделей качества урожая обобщено в табл.6. Из табл.6 можно видеть, что созданные на основе выхода моделей качества урожая методы – это методы прогнозирования показателей качества. Методы разработаны только во Франции и СССР. К сожалению, корреспондент из Объединенного Королевства не сообщил подробностей разработанных там методов.

4.4. Индустриальное влияние на сельскохозяйственную продукцию.

Согласно положительным ответам агрометеорологические рекомендации по снижению использования возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов (вода, энергия и другие) в сельскохозяйственном производстве и для снижения отрицательных индустриальных воздействий на сельское хозяйство, включая леса, животных и почвы, разработаны в семи странах.

Австралия. Хотя рекомендации как таковые не разрабатывались, стоит задача их создания, например, в плане использования орошаемой воды.

Канада. Рекомендации по орошению разработаны для обеспечения эффективного использования воды и снижения энергетических затрат. Рекомендовано снижение количества применяемых пестицидов и их концентраций; это приведет к снижению общего накопления пестицидов в окружающей среде. Прилагается список учреждений и лиц, с которыми может быть установлен контакт по вопросам индустриальных воздействий на продукцию сельского хозяйства.

Чехословакия. Корреспондент не дал краткого ответа на вопрос. Послано приложение, состоящее из двух частей. В первой части подробно описывается, какой вред сельскому хозяйству наносит загрязнение среды промышленными отходами. Во второй части приведены примеры специального метеорологического обслуживания сель-

Таблица 6. Практическое использование моделей качества урожая

Культура, страна	Методы, рекомендации	Анализ экономичес- кой эффективности
Соя, гибридный рис, сахарная свекла (Китай)	нет	не проводился
Сахарная свекла (Франция)	Прогноз процентного со- держания сахара у свеклы	не проводился
Перец (Венгрия)	нет	не проводился
Озимая пшеница (СССР, Страшный В.Н. 1977)	1. Метод агрометеорологичес- кого прогноза содержания белка и клейковины в зерне, силы муки и объемного выхо- да хлеба для конкретных по- лей с учетом предшественников. 2. Метод агрометеорологическо- го прогноза содержания белка и клейковины в зерне в сред- нем по области. 3. Карты внесения азотных удоб- рений, позволяющие получать зерно пшеницы стандарта сильной по белку и клейковине, размещая пшеницу по пару и непаровым предшественникам.	не проводился не проводился
Озимая пшеница (СССР, Деревянко А.Н., 1988)	Метод агрометеорологическо- го прогноза содержания бел- ка и клейковины.	не проводился
	в зерне озимой пшеницы в среднем по области	не проводился
Яровая пшеница (СССР, Строганова М.А., Полевой А.Н., 1986)	Метод агрометеорологичес- кого прогноза качества уро- жая, позволяющий оценить со- держание белка, клейковины и крахмала на колосение в среднем по области.	не проводилс

ского хозяйства. Метеорологическое обслуживание выдает информацию о среднем и/или фактическом уровне загрязнения в различных районах и составляет карты такого рода загрязнения для своих внутренних целей. Эти данные являются основой при возмещении убытков от повреждений и для решения других задач. Информация, предназначенная для долговременного планирования сельского и лесного хозяйства передается в прикладные и исследовательские институты сельскохозяйственного и лесного секторов и экспертам министерств. Информация, используемая страховыми компаниями, выдается по требованию самих пострадавших хозяйств.

Когда такая информация получена, разрабатываются рекомендации для сельского хозяйства загрязненных районов, содержащие следующие основные положения:

а) снижение влияния загрязнения на почву благодаря сохранению и увеличению количества и качества органического вещества и биологической активности почвы, регулированию кислотности почвы, удобрению почвы при обработке;

б) снижение отрицательного влияния загрязнений на продукцию растений путем проведения соответствующих агротехнических мероприятий и содержания определенного состава и структуры посевов в районах загрязнения.

Ряд рекомендаций разработан по возделыванию отдельных культур: зерновых, сахарной свеклы, картофеля, овощей, хмеля.

При сильной и средней степени загрязнения представляются рекомендации по структуре посевов. В зависимости от степени загрязнения снижаются посевные площади под теми культурами, которые повреждаются в наибольшей степени. Если доля зерновых не превышает 50 %, рекомендуется севооборот с включением культур, улучшающих почву.

При очень высоком уровне загрязнения доля зерновых может превысить 60 %, это можно принять как крайнюю меру при крайне экстремальных условиях. В этих районах прекращается возделывание бобовых и картофеля, существенно сокращается площадь посевов под сахарной свеклой, 20 % пахотной земли отводится под фуражные многолетние культуры, а промежуточные культуры занимают около 10 % возделываемой площади. Выращивание овощей допускается только на окраинах загрязненной зоны.

В районах со средним уровнем загрязнения снижается площадь посевов под сахарной свеклой, за счет чего расширяются площади под зерновыми, многолетними фуражными культурами на пахотной земле и кормовыми корнеплодами (фуражный картофель, фуражная сахарная свекла), продукция которых компенсирует потери, вызванные сокращением посевов сахарной свеклы и улучшает тем самым кормовой баланс сельскохозяйственных животных.

с) Ограничение отрицательного влияния загрязнения на животноводство.

Франция. Предлагается использовать фенологические прогнозы в комплексе с прогнозом вероятности ливней для эффективного внесения удобрений. Для снижения отрицательных индустриальных воздействий на сельское хозяйство предлагается использовать прогноз метеорологической ситуации.

Германская Демократическая Республика. Разработано новое поколение рекомендаций по внесению удобрений, позволяющих рассчитывать дозы удобрений с помощью компьютерных программ (Ansoerge Reiche, 1987). Это система обработки на ЭВМ данных по удобрениям, DS 87. На основе выходов модели разработаны рекомендации по удобрениям.

На основе выходов имитационной модели эпидемиологические фитофторы картофеля разработаны рекомендации по обработке для контроля вредителей.

Федеративная Республика Германии. Для снижения использования возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов (вода) в сельскохозяйственном производстве разработаны рекомендации по орошению, основанные на модели влажности почвы. Автор модели К.Хегер (Германская служба погоды, Оффенбах). Модель разработана для следующих культур: травы, озимая пшеница, кукуруза, сахарная свекла. По модели рассчитывается влажность почвы и эвапотранспирация. Модель разработана для климатических условий Центральной Европы; однако возможно разработать модель для других умеренных зон.

Для снижения отрицательных индустриальных воздействий на сельское хозяйство проводятся исследования по использованию излишнего тепла в сельскохозяйственном производстве ("АГРОТЕРМ", только в Германии).

Кения. Корреспондент сообщил, что разработаны агрометеорологические рекомендации по снижению использования возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов в сельском хозяйстве. Однако подробности не сообщаются. Очевидно, речь идет о модели, разработанной в Кении и представленной в ответе корреспондента. Автор модели Дж.И.Стюарт (Кенийский сельскохозяйственный исследовательский институт, Найроби). Модель позволяет рассчитывать водный баланс почвы, имитируя "эффективные осадки". С помощью модели рассчитывают урожай культуры, основываясь на ожидаемых эффективных осадках, удобрениях и нормах посева.

Швейцария. Разработана модель ("ФИТОПРОГ"), которая позволяет оценить вероятность эпидемии фитофторы картофеля. Автор

модели Г.Попов (Кантональная сельскохозяйственная школа, Линцан). На основе выхода модели разработаны рекомендации для фермеров, использующих пестициды; в рекомендациях указывается, нужно ли применять пестициды.

Модель, позволяющая прогнозировать болезни яровой и озимой пшеницы и ячменя разработана д-ром Х.Р.Форрером (Исследовательский (болезни растений) Институт Растениеводства, Цюрих-Рекенхольц). Название модели - "Eripe". На основе выхода модели разработаны указания для фермеров, использующих инсектициды/пестициды. Указывается, применять или нет пестициды и против каких болезней. Корреспондент сообщает, что затраты более или менее те же самые, но количество применяемых пестицидов снижается. Обеспечивается защита окружающей среды.

Объединенное Королевство. Имеются агрометеорологические рекомендации для снижения отрицательного индустриального влияния на сельское хозяйство. Однако подробности корреспондент не указал.

СССР. Проведены исследования агрометеорологического обоснования применения удобрений (д-р А.П.Федосеев), а также химических средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей (д-р В.В.Вольвач). Исследования проведены во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (г.Обнинск). Основные результаты опубликованы в монографиях (Федосеев, 1985; Вольвач, 1987). Разработаны рекомендации. Проведенные исследования косвенно могут быть использованы для оценки влияния загрязнения.

Разработана модель продуктивности растений (Галямин, 1981), на основе которой разработаны рекомендации, которые могут быть использованы для снижения использования возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов (вода).

Что касается моделей, разработанных для оценки влияния промышленных объектов, транспорта, сооружений и т.д. на сельскохозяйственное производство, то получен только один положительный ответ, из ФРГ. Предлагается с помощью модели оценивать влияние затенения на виноград. Тень создает строения. Можно рассчитать влияние солнечной радиации. С помощью простой модели можно оценить влияние охлаждения на влажность листа и на ассимиляцию. Подробности не сообщаются.

Корреспондент из Австралии сообщил, что промышленные объекты и сельскохозяйственное производство пространственно хорошо разделены.

Глава 5. - Методология создания некоторых новых видов специализированного агрометеорологического обслуживания.

Рассмотрим методологию прогнозирования качества урожая сельскохозяйственных культур как пример методологии новых видов агрометеорологического обслуживания. Методология прогнозирования качества основывается на математическом моделировании влияния агрометеорологических факторов на формирование качества урожая. Мы рассматриваем модели формирования качества как механистические динамические детерминистские модели продуктивности растений, позволяющие оценивать не только количество биомассы, но и динамику накопления основных химических компонентов биомассы.

Многие методологические вопросы моделирования продуктивности растений и разработки агрометеорологических рекомендаций, основанных на моделях, подробно рассматриваются в литературе (Ansonge , Reiche , 1987; Вихеле, Молдау, Росс, 1980; France , Thornley, 1984; Галямин, 1981; Гильманов, 1978; Хан, 1989; Penning de Vries, Laar van , 1982; Полевой, 1983, 1988; Полуэктов, Пых, Швытов, 1980; Thornley , 1976; Тооминг, 1984; Ungar ,

Keulen van , 1982; Вольвач, 1987; Vos , Drees , Penning de Vries , 1982; Wit de , Penning de Vries (1985).

Методология разработки агрометеорологических рекомендаций по качеству урожая на основании динамических моделей состоит из четырех этапов (Строганова 1986; Строганова, Полевой, 1986; Строганова, 1989):

- 1) разработка сложной теоретической модели;
- 2) разработка простой теоретической модели;
- 3) разработка прикладной модели;
- 4) разработка метода.

Рассмотрим каждый из этапов.

1. Разработка сложной теоретической модели.

Под сложной теоретической моделью мы понимаем модель, которая дает исчерпывающее описание механизма исследуемого процесса. Имеется в виду исчерпывающее описание на соответствующем иерархическом уровне. Например, это уровень ткани, органа и растения в длиннопериодных моделях формирования качества урожая. Сложная теоретическая модель интегрирует фундаментальные знания в моделируемой системе.

Процесс разработки модели включает несколько этапов.

1.1. Концептуализация.

Концепция любой модели определяется задачами модели. Задача теоретической модели формирования качества урожая состоит в математическом описании механизма формирования качества. Общая концепция, разработанная на основании экспериментальных данных и гипотез, заключается в том, что качество урожая культур формируется не только в период синтеза запасов в запасающих органах, но в течение всего периода роста культуры. Следовательно, модель формирования качества должна описывать механизм роста и развития при ус-

ловию, что рост рассматривается как биохимический процесс накопления сухой биомассы различного химического состава. Химический состав отдельных тканей, органов и целого растения зависит от генотипа, фазы онтогенеза и агрометеорологических факторов.

В соответствии с таким подходом моделируются три основных процесса, составляющих процесс формирования качества урожая: образование пула субстратов для роста растений и синтеза запасов в запасающих органах; распределение субстратов между отдельными тканями, органами и химическими соединениями; синтез структур.

1.2. Предпосылки.

Когда концепция определена, устанавливаются предпосылки для отдельных культур. Например, общая предпосылка, касающаяся зерновых культур состоит в том, что содержание белка и клейковины в зерне зависит от относительного содержания азота в верхних листьях в цветение и от агрометеорологических условий в период роста и налива зерна.

1.3. Идентификация.

На этом этапе идентифицируются рассматриваемые процессы, связи между ними, влияние внешних факторов на скорость процессов. Классифицируются переменные моделируемой системы: переменные состояния, переменные скорости, вспомогательные переменные, внешние переменные.

На этапах концептуализации, предпосылок и идентификации широко используются экспериментальные и описательные данные, имеющиеся в литературе и (или) полученные автором модели, теоретические обобщения, касающиеся механизма моделируемых процессов и регрессионные модели, описывающие влияние агрометеорологических факторов на качество.

I.4. Математическое описание модели

Как правило, теоретические модели состоят из нескольких субмоделей. Каждая из субмоделей это уравнение или система уравнений, которые описывают поведение системы. Обычно модель (субмодель) представлена дифференциальными уравнениями первого порядка, которые описывают, как переменные состояния меняются во времени; необходимо столько же дифференциальных уравнений сколько имеется переменных состояния. Параметры и константы – это те величины, имеющиеся в уравнениях модели, которые не меняются со временем. Константы – это величины, имеющие реальные и точно определенные значения, которые не меняются, когда меняются экспериментальные условия, или, например, когда модель используется для различных генотипов или для различных частей организма. Термин "параметр" обычно применяется для величин, значения которых остаются постоянными для данного "пробега" модели. Полезно представить модель с помощью диаграммы Форрестера.

I.5. Использование теоретической модели

После оценки параметров и верификации отдельные субмодели сложной теоретической модели могут быть использованы для исследования. Однако это не всегда возможно из-за трудности оценки некоторых параметров и верификации субмоделей. Модель, в основном, используется для разработки различных простых теоретических моделей.

I.6. Примеры сложных теоретических моделей

Теоретические модели качества урожая разрабатываются иногда для целых групп культур. Например, теоретическая модель качества урожая зерновых злаков разработана для двух групп культур: яровых зерновых культур и озимых зерновых культур.

Сложная теоретическая модель озимых зерновых культур представлена на рис. I. Модель состоит из шести субмоделей: роста и развития в период осенней вегетации; закаливания; перезимовки; репарации метаболизма в период от выхода растений из-под снега до возобновления вегетации; роста и развития в период от возобновления вегетации до цветения; роста и налива зерна.

Процесс образования пула субстратов для роста моделируется следующим образом: фотосинтез, дыхание, поглощение азота, фосфора и воды, гидролиз запасов эндосперма на ранних этапах развития. Транспирация моделируется в связи с поглощением минеральных элементов. Распределение субстратов моделируется на динамической основе. Когда углеводы, азот, фосфор и вода не лимитированы, принимается, что распределение между тканями и органами определяется потребностями растущих тканей и органов; если пул субстратов недостаточен для удовлетворения всех потребностей роста, при распределении учитываются приоритеты. Синтез структур растущих тканей моделируется в зависимости от концентрации субстратов, температуры, содержания воды в ткани.

Абиотический блок модели не представлен на схеме. Он включает описание трансформации азота и фосфора в почве, вертикальное передвижение нитратов и воды в почвенном профиле.

Рост моделируется как процесс синтеза и распада структурных метаболитов и синтеза, распада и взаимопревращений фондовых метаболитов. Рассматривается метаболизм делящихся, растягивающихся, дифференцирующихся, функционирующих и стареющих тканей отдельных органов. При моделировании развития (переход от деления к растяжению, от растяжения к дифференцировке, а также кушение) и прекращение роста используется концепция субстратной

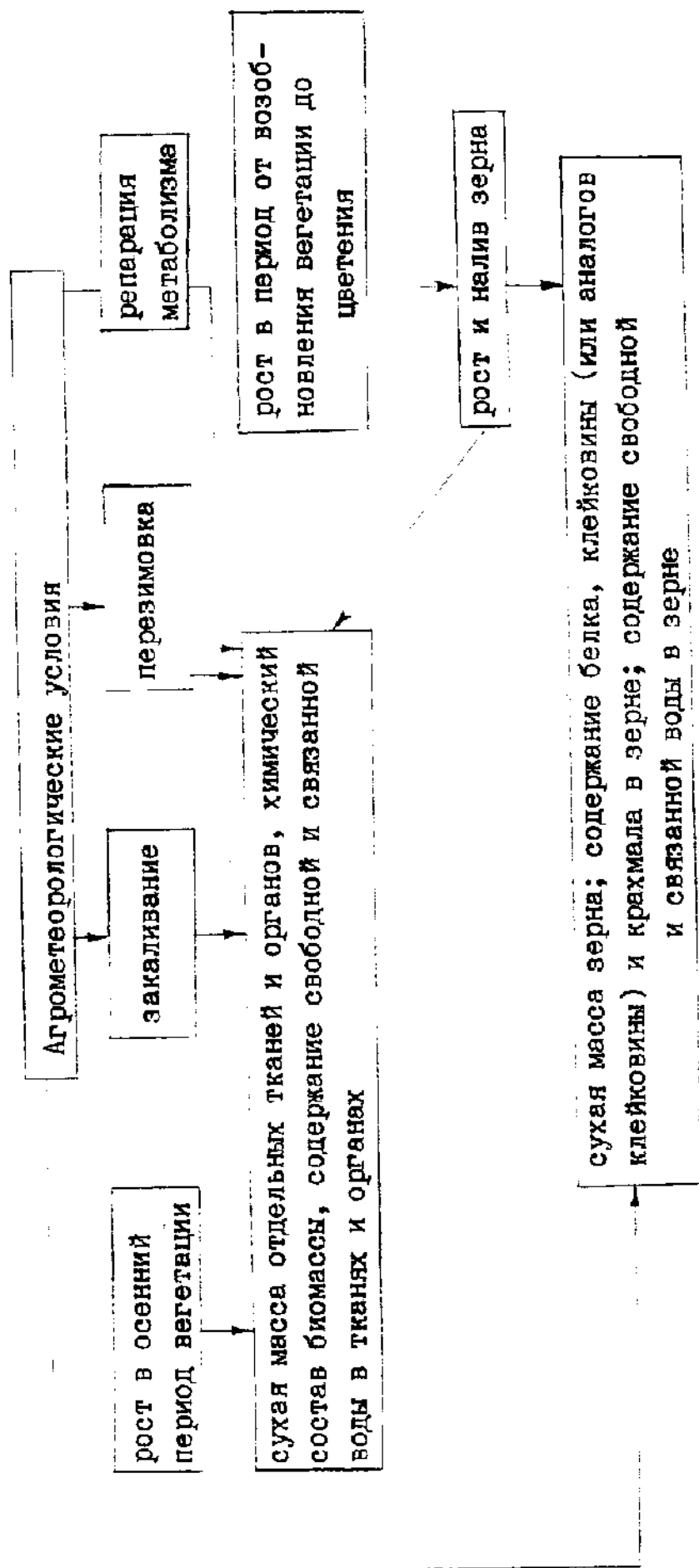


Рис. I. Схема биологического блока динамической модели формирования качества урожая озимых зерновых культур.

регуляции метаболизма. Поглощение и распределение воды рассматривается как компонент роста. Оценивается содержание свободной, коллоидно-связанной и осмотически связанной воды. Оцениваемые химические компоненты ткани – это структурные и растворимые белки, структурные и свободные углеводы, нитраты. В период синтеза запасов в зерне моделируется накопление запасного белка, клейковины, запасного крахмала и влажность зерна.

Моделируется две фазы закаливания. В период перезимовки выделено несколько типов метаболизма в зависимости от условий перезимовки.

В период репарации метаболизма моделируется накопление резервных углеводов и восстановление фотосинтеза и водного обмена.

Сложная теоретическая модель яровых зерновых культур разработана на той же основе. Схема модели представлена на рис.2.

Разработанная сложная теоретическая модель представляет собой синтез обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Такая модель использована для разработки простой теоретической модели.

2. Разработка простой теоретической модели.

Под простой теоретической моделью мы понимаем модель, которая может быть использована для прикладных исследований, но еще сложна для решения практических задач.

2.1. Упрощение предпосылок.

Основная предпосылка остается той же самой. Однако прощаются предпосылки, используемые при моделировании отдельных процессов.

2.2. Математическое описание модели.

С упрощением предпосылок число переменных состояния снижается. Поэтому необходимо записать новую систему дифференциальных

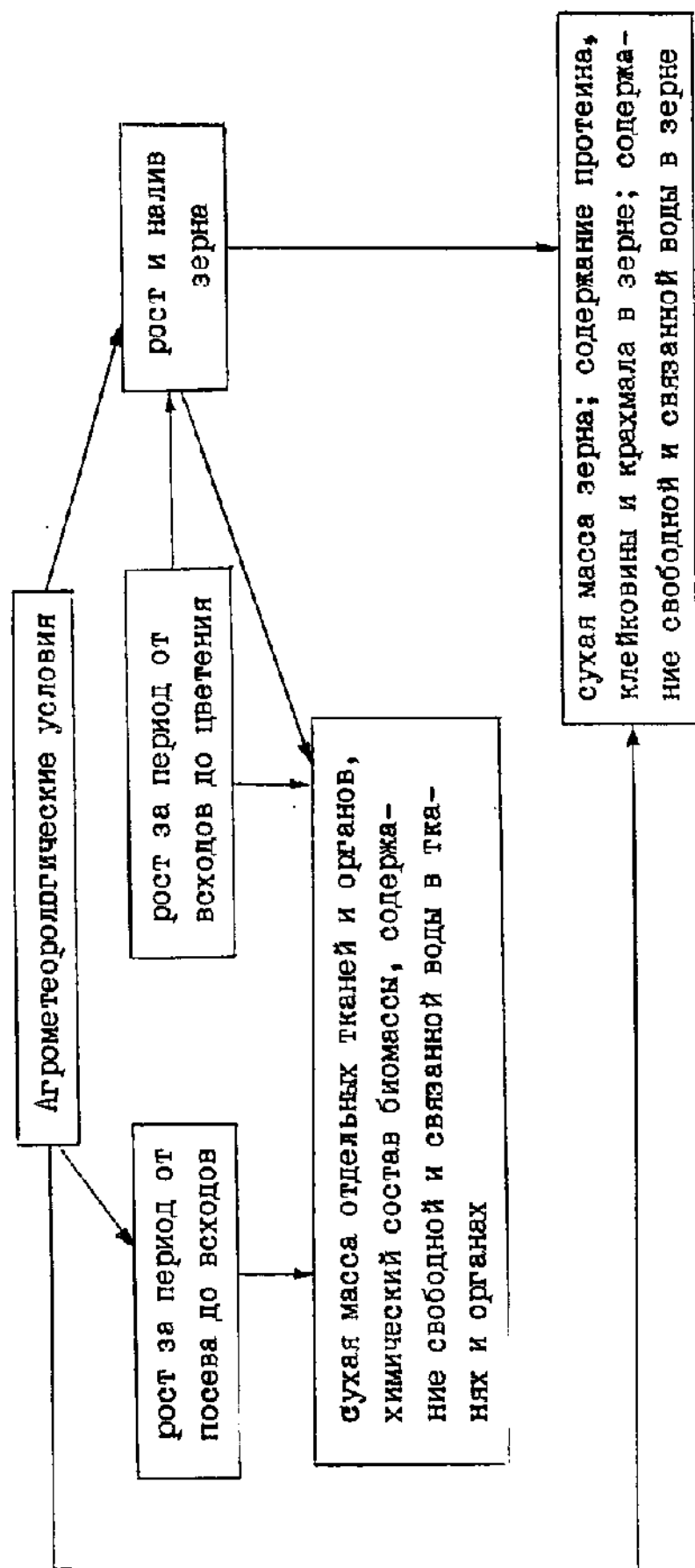


Рис. 2. Схема динамической модели формирования качества урожая яровых зерновых культур.

уравнений. Это делается как описано выше.

2.3. Качественная верификация модели.

На этом этапе проверяется работа компьютерной программы и испытывается качественное поведение модели. Из независимых исследований выбираются параметры в пределах возможных значений. После того как заданы значения параметров, внешние и начальные условия, модель решается интегрированием системы уравнений, чтобы получить предсказанные значения переменных состояния. Для решения наших моделей с суточным шагом используется численный метод Эйлера. Если качественное поведение модели удовлетворительно и если имеются соответствующие данные, проводится количественная подгонка.

2.4. Методика подгонки. Подгонка модели обычно означает подгонку значений параметров и начальных условий до таких значений, при которых поведение модели более или менее адекватно реальной действительности, но структура и уравнения модели в процессе подгонки не меняются. Этот процесс иногда обозначается как "калибровка" модели. Подгонка это фактически и идентификация параметров. Методика описана в литературе. Мы используем подходы, описанные Галиминым (1981) и Франс и Торнли (1984).

2.5. Анализ чувствительности и оценка пределов изменений параметров.

Для сравнения влияния различных подогнанных параметров на работу модели обычно используется безразмерная величина, независимая от абсолютного значения параметра. Такой величиной является коэффициент вариации параметров. Коэффициент вариации может быть использован для оценки пределов изменений параметров. Анализ чувствительности с использованием параметров, изменяющихся в оцененных пределах, можно использовать для определения

путей упрощения модели. Однако следует иметь в виду, что, даже если параметр мало влияет на результат расчетов по модели, имеет смысл (в биологическом или каком-либо другом плане) оставлять параметр в модели.

2.6. Валидация модели

Под валидацией модели мы понимаем проверку модели на независимом экспериментальном материале. Имеются различные критерии адекватности модели. Удобно использовать коэффициент несовпадения Тейла, рекомендованный Галяминым (1981).

2.7. Использование модели для прикладных исследований

После проверки модель может быть использована для исследований влияния агрометеорологических факторов на формирование качества урожая.

3. Разработка прикладной модели формирования качества урожая яровой пшеницы

Разработка прикладной модели состоит в дальнейшем упрощении простой теоретической модели. Прикладная модель разрабатывается для более высоких иерархических уравнений, чем простая теоретическая модель. Она разрабатывается на уровне отдельных органов, организма (растение) и сообщества организмов (посев).

Упрощения простой теоретической модели включают:

1) упрощения, связанные с переходом на более высокий иерархический уровень;

2) упрощения, определяемые при анализе чувствительности простой теоретической модели;

3) упрощения, связанные с заменой динамических оценок некоторых переменных состояния эмпирическими оценками;

4) упрощения, связанные с оценкой уровня продуктивности (Penning de Vries, Laar van, 1982).

Прикладная модель яровой пшеницы представляет собой систему из шести дифференцированных уравнений первого порядка, описывающих, как шесть переменных состояния меняются во времени. Переменные состояния: содержание структурного азота в отдельных органах, структурный углерод отдельных органов, резервный азот отдельных органов, резервный углерод отдельных органов, запасной белок зерна, запасной крахмал зерна. Переменные скорости: фотосинтез, который моделируется как функция фотосинтетически активной радиации на верхней границе посева, температуры воздуха, влажности почвы, онтогенеза, площади листьев; дыхание поддержания, которое моделируется как функция температуры, онтогенеза и сухой биомассы; дыхание роста, которое моделируется как функция скорости роста.

Скорость включения азота в сухую биомассу отдельных растущих органов описывается в зависимости от потребности органов в азоте, снабжения азотом, температуры воздуха, онтогенеза.

Скорость включения углерода в сухую биомассу отдельных растущих органов описывается в зависимости от потребности органов в углероде, снабжения углеродом и азотом, температуры воздуха, онтогенеза.

Для расчета скоростей включения азота и углерода оценивается два параметра: удельная (в сутки) скорость включения азота при оптимальных внешних условиях и скорость (в сутки) включения углерода в расчете на единицу включенного за сутки азота.

Скорость синтеза запасного белка в зерне моделируется в зависимости от скорости при оптимальных условиях, снабжения азотом и углеродом, температуры воздуха, влажности воздуха.

Модель решается интегрированием системы уравнений с использованием численного метода Эйлера с шагом сутки.

С помощью модели исследуется влияние интенсивности фотосинтетически активной радиации, температуры воздуха, влажности почвы на динамику накопления и содержание сухой биомассы отдельных органов, структурного и резервного азота вегетативных органов, структурного и резервного углерода вегетативных органов, запасного белка и запасного крахмала в зерне.

Модель является основной для разработки новых методов агрометеорологического обслуживания.

4. Разработка метода.

Рассмотрим динамико-статистический метод прогноза качества урожая, как пример нового вида агрометеорологического обслуживания. Прогноз является суммой двух прогнозов, прогноза тенденции качества урожая и прогноза оценки отклонения от тенденции.

На больших территориях многолетние изменения качества урожая определяются уровнем культуры земледелия, почвенно-климатическими условиями и погодными условиями. Поэтому мы вправе рассматривать временные ряды качества урожая как сумму двух слагаемых: тенденции качества урожая (тренд), которая определяется повышением уровня культуры земледелия при среднем уровне почвенно-климатических условий и случайной компоненты временного ряда, которая определяется агрометеорологическими условиями конкретного года.

Агрометеорологический прогноз качества урожая осуществляется относительно двух составляющих временного ряда: тенденции и отклонения от неё. Сумма прогнозов, полученных таким путём, дает прогноз качества урожая.

Следующее выражение используется для получения агрометеорологического прогноза белка в зерне:

$$PN_t = YN_{t-1} EN \quad (1)$$

где PN_t – процентное содержание белка в зерне, прогнозируемое на год t ; YN_{t-1} – тенденция процентного содержания белка в зерне на год t ; EN – оценка агрометеорологических условий формирования качества урожая (по белку) в течение имитируемого периода, величина безмерная.

Аналогичное выражение используется для получения агрометеорологического прогноза клейковины в зерне:

$$PG_t = YG_{t-1} EG \quad (2)$$

где PG – процентное содержание клейковины в зерне, прогнозируемое на год t ; YG_{t-1} – тенденция процентного содержания клейковины в зерне на год t ; EG – оценка агрометеорологических условий формирования качества урожая (по клейковине) в течение имитируемого периода, величина безмерная.

Прогноз тенденции процентного содержания белка в зерне и клейковины в зерне осуществляется методом гармонических весов.

Оценка агрометеорологических условий формирования качества урожая (по белку) рассчитывается по выражению:

$$EN = \hat{N} / \bar{N} \quad (3)$$

где \hat{N} – процентное содержание белка, рассчитанное по модели с использованием агрометеорологической информации конкретного года в период от всходов до колошения, и среднелетней агрометеорологической информации в период от колошения до восковой спелости.

Оценка агрометеорологических условий формирования качества урожая (по клейковине) рассчитывается по аналогичному выражению:

$$EG = \hat{G} / \bar{G} \quad (4)$$

где \hat{G} - процентное содержание клейковины в зерне, рассчитанное по модели с использованием агрометеорологической информации для конкретного года (до колошения);

\bar{G} - процентное содержание клейковины в зерне, рассчитанное по модели с использованием среднеемноголетней информации.

Значения содержания белка и клейковины в зерне рассчитываются для отдельных сельскохозяйственных микрорайонов области. Зная процент посевных площадей под яровой пшеницей в отдельном микрорайоне, находят средневзвешенное по области содержание белка (клейковины) в зерне.

Схема метода представлена на рис. 3.

Относительная ошибка прогноза по динамико-статистическому методу не превышает 10 %.

Недостатком этого метода является то, что его нельзя использовать для тех областей, для которых нет полных временных рядов. Поэтому невозможно рассчитать тенденцию. В настоящее время разрабатывается метод, основанный только на расчетах по модели. В период от всходов до колошения модель решается с использованием агрометеорологической информации конкретного года: после колошения вводится среднеемноголетняя агрометеорологическая информация или прогноз погоды.

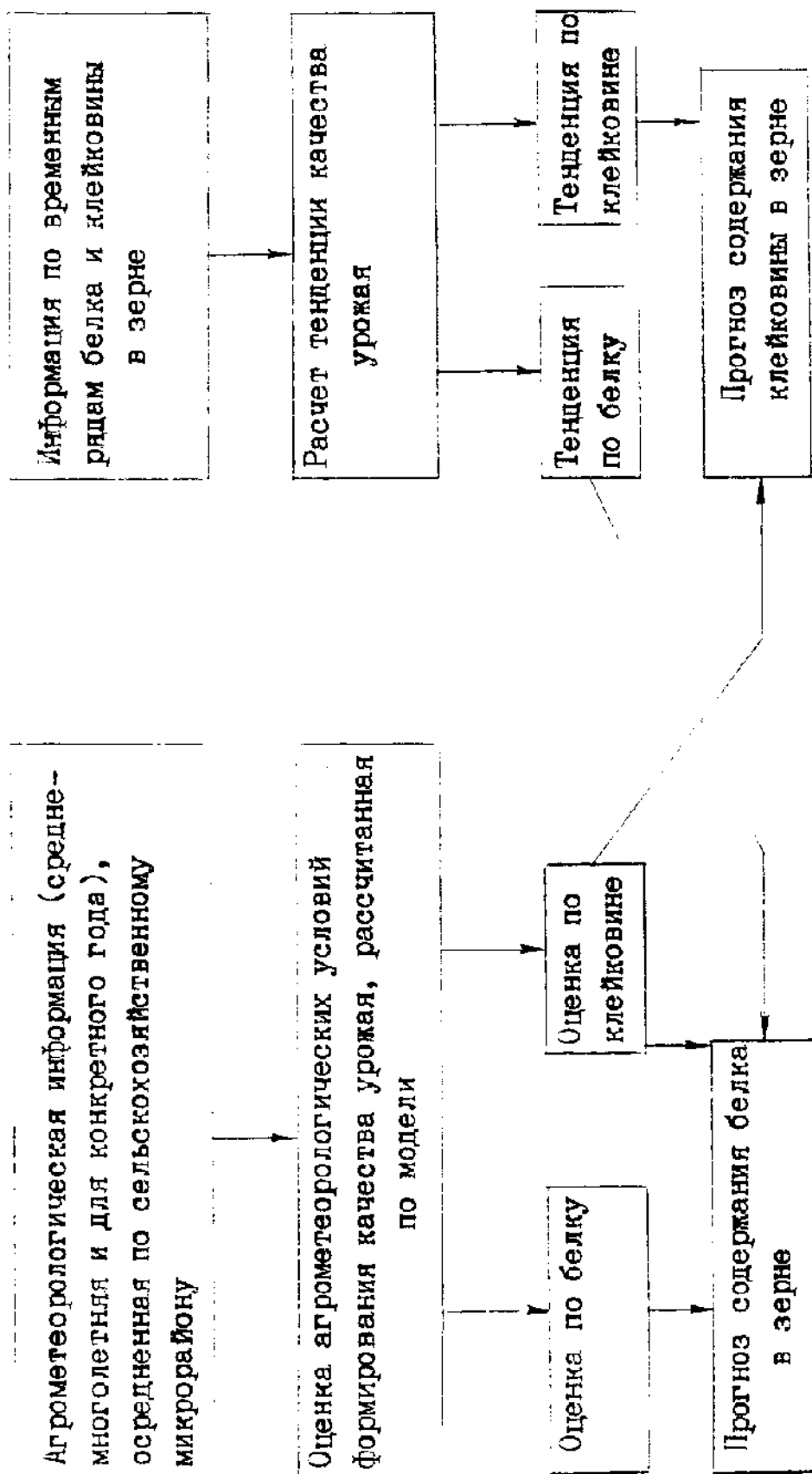


Рис. 3. Схема динамико-статистического метода прогноза качества урожая.

Глава 6 – Предложения по новым типам агрометеорологического обслуживания для регионов, подвергающихся сильному индустриальному стрессу

Предложения были получены от Канады, Чехословакии, Кении, Сингапура и СССР.

Канада. Предлагается прогнозирование уровней озона и проведение агрометеорологических исследований, связанных с поступлением сточных вод в возделываемую почву (потенциальное загрязнение почвы и рек является функцией климатических условий).

Чехословакия. Корреспондент из Чехословакии не сформулировал предложений в краткой форме; однако даются примеры специализированного агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства, которые описываются в главе 4 настоящего доклада и могут рассматриваться как предложения.

Кения. Необходим контроль по влиянию индустриального стресса на агроклимат. Он может осуществляться в лабораториях, на полевых станциях квалифицированными специалистами.

Сингапур. Большой интерес для этой страны представили бы рекомендации по учету влияния агрометеорологических факторов на продуктивность культур, особенно относительно культур в защищенном грунте.

СССР. Агрометеорологические прогнозы являются главной задачей агрометеорологии и агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства. Агрометеорологические прогнозы можно квалифицировать следующим образом: прогнозы количества и качества урожая; прогнозы агротехнических мероприятий (дозы удобрений, пестицидов и т.д.) в соответствии с текущими и ожидаемыми агрометеорологическими условиями; прогнозы состояния озимых культур и сеяных многолетних трав после перезимовки; прогнозы кормовых

запасов пастбищ, условий стравливания и т.д.

Такие индустриальные эффекты как загрязнение тяжелыми металлами, радионуклидами, увеличение концентрации CO_2 и т.д. оказывает влияние на рост растений, развитие растений, сопротивляемость вредителям, болезням, сорнякам, перезимовку, формирование урожая, формирование качества урожая, продуктивность животных. Поэтому эти эффекты необходимо учитывать при прогнозировании. Предлагается вводить индустриальные эффекты в прогностические схемы.

Список литературы

- Ansorge H., Reiche I., 1987. DS-87—a new generation of computing fertiliser-advisories for effective fertilizer dose. *Feldwirtschaft*, E10, p. 435–436, 436–438.
- Арабаджиев Д. и др., 1981. Соя Москва, Колос
- Бихеле И.Г., Молдау Х.А., Росс Ю.К., 1980. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Ленинград, Гидрометеиздат, 223с.
- Болдырев Н.К., 1959. Зависимость качества урожая и возможность его прогноза от содержания азота в листьях яровой пшеницы. *Физ.раст.*, т.6, в.1, с. 73–81.
- Chamura S., Kaneco H., Saito F., 1979. Effect of temperature at ripening period on the quality of rice. Effect of temperature maintained in constant levels during the entire ripening period. *Japan. Crop Sci.*, v.48, N4, p. 475–482.
- Дегтярева Г.В., 1974. Влияние агрометеорологических условий на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы и долгосрочный прогноз её урожайности на Юго-Востоке ЕТС. Автореферат дисс. на соиск. уч.степени канд.геогр.наук., Москва, 29 с.
- Дервянко А.Н., 1988. Методические указания по составлению прогноза качества зерна озимой пшеницы в Черноземной зоне СССР. Москва, Гидрометеиздат, 12с.
- Дервянко А.Н., 1989. Погода и качество зерна озимых культур. Ленинград, Гидрометеиздат, 127с.
- Державин М.М., Седова Е.В., 1984. Влияние удобрений и пестицидов на качество сахарной свеклы и картофеля. Обзор. Москва.
- Дороганевская Е.А., 1971. Зависимость белковости зерна пшеницы от некоторых климатических факторов. Москва.

- plant growth and crop production, ED. F.W.T. Penning de Vries. Wageningen, PUDOC, p. 114-135.
- Цигарева Л.Г., 1981. Солнечная радиация, урожай и качество зерна. Алма-Ата, Кайнар.
- Покровская Н.Ф., 1974. Исследование химического состава зерна видов и сортов рода *Triticum L.* в связи с селекцией на качество. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени д-ра с.-х. наук. Ленинград, 43с.
- Полевой А.Н., 1983. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Ленинград, Гидрометеиздат, 176с.
- Полевой А.Н., 1988. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности. Ленинград, Гидрометеиздат, 319с.
- Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А., 1980. Динамические модели экологических систем. Ленинград, Гидрометеиздат, 288с.
- Шарапов Н.И., Смирнов В.А., 1966. Климат и качество урожая. Москва, Гидрометеиздат, 128с.
- Словцов Р.И., Груздев Л.Г., 1975. Действие систематического применения гербицидов на состав и биохимическую ценность белков зерна ячменя. Изв. ТСХА, № 2, с.167-163.
- Spiertz J.H.J., 1977. The influence of temperature and light intensity on grain growth in relation to the carbohydrates and nitrogen economy of the wheat plant. Neth.J.Agric.Sci., v. 25,33, p. 112-197.
- Страшный В.Н., 1975. Влияние агрометеорологических условий на качество урожая озимой пшеницы. Метеорология и гидрология, № 10, С.

- Федосеев А.П., 1985. Погода и эффективность удобрений. Ленинград Гидрометеиздат, 144с.
- France J., Thornley J.H.M., 1984. Mathematical models in agriculture. A quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. London, Butterworths, 335 p.
- Галамин Е.П., 1981. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. Ленинград, Гидрометеиздат, 272с.
- Гильманов Т.Г., 1978. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. Москва, изд-во МГУ, 167с.
- Goldstein W., 1981. Potato quality. In: Bio-Dyn., p. 3-28.
- Калитина Н.В., Зинченко В.А., Груздев Л.Г. и др., 1977. Влияние систематических (четырёхлетних) обработок гербицидами на урожай и качество пшеницы. Изв. ТСХА, вып. I, с. 140-148.
- Кан Н.А., 1989. Проблемы методологии имитационного моделирования агроценозов. Пушкино, Препринт, 32с.
- Kluge E., Gutsche G., 1984. Investigations on the effect of seed potato dlight on potato foliage dy means of the simulation model SIMPHYT I. Archiv für Phytopatologie und Pflanzenschutz, 20, 5, p. 361-369.
- Kolderup F., 1975. Effects of temperature, photoperiod and light quantity on protein production in wheat grains. J. Sci. Food Agric., v. 26, N5, p. 583-592.
- Минеев В.Г., Павлов А.Н., 1981. Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы. Москва, Колос, 288с.
- Павлов А.Н., 1967. Накопление белка в зерне пшеницы и кукурузы. М., Наука, 339с.
- Петров Г.Г., 1938. Физиология накопления азота в зерне пшеницы. Тр. Омского СХИ, т. 3(16), с. 3-77.
- Penning de Vries F.W.T., Laar van H.H., 1982. Simulation of growth processes and the model BACROS. In: Simulation of

- Страшный В.Н., 1977. Агрометеорологические условия и качество зерна озимой пшеницы в Центрально-Черноземной Зоне. Автореферат. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук, Москва, 26с.
- Строганова М.А., 1976. Влияние зимнего промораживания озимой пшеницы на качество урожая. Тр. ИЭМ, вып. 9(68), с. 75-79.
- Строганова М.А., Полевой А.Н., 1982. Моделирование формирования качества урожая зерновых культур. Бюлл. ВНР, в. II6, с. 75-79.
- Строганова М.А., 1985. Основные принципы математического моделирования процесса формирования качества урожая сельскохозяйственных культур. Тр. ВНИИСХМ, вып. 9, с. 28-50.
- Строганова М.А., 1985. Численная модель накопления белка и крахмала в зерне в период налива. Тр. ВНИИСХМ, вып. 9, с. 65-73.
- Строганова М.А., 1986. Математическое моделирование формирования качества урожая. Ленинград, Гидрометеиздат, 151с.
- Строганова М.А., Полевой А.Н., 1986. Проект методических указаний по составлению агрометеорологического прогноза среднего по области качества урожая яровой пшеницы в основных зонах её возделывания в СССР. Москва, Гидрометеиздат, 56с.
- Строганова М.А., 1989. Моделирование биохимии роста и зимостойкости озимых зерновых культур. Депонированная рукопись № 892, Обнинск, 135с.
- Суднов П.Е., 1986. Повышение качества зерна пшеницы. Москва, Россельхозиздат, 95с.
- Tairo L., 1972. The effect of growing conditions on content protein in rice grain. (Japan). Agr. Hortie., v. 47, №2, p. 276-284.
- Thornley J.H.M. 1976. Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology. London-New-York, Acad. Press, 318 p.

- Тооминг Х.Г., 1984. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград, Гидрометеоиздат, 264с.
- Тотылева В., 1969. Влияние метеорологических условий на содержание белка в зерне яровой пшеницы. Автореферат на соиск.уч. степени канд.с.-х.наук, Ленинград, 29с.
- Ungar E., Keulen van H., 1982. FORTRAN version of the simulation model ARID CROP. Wageningen, PUDOC.
- Вольвач В.В., 1987. Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука. Ленинград, Гидрометеоиздат, 239с.
- Заиров С.З., 1987. Накопление и обмен белков в зерне пшеницы. Алма-Ата, Наука, 175с.
- Vos J., 1981. Effects of temperature and nitrogen supply on post-floral growth of wheat, measurements and simulation. Wageningen, PUDOC, 164 p.
- Vos J., Dress E.M., Penning de Vries F.W.T., 1982. Modelling of postfloral growth of wheat. In: Simulation of plant growth of wheat and crop production /Ed.by F.W.T.Penning de Vries and H.H. Laar van. Wageningen, PUDOC, p. 144-155.
- Wit de C.T., Penning de Vries F.W.T., 1985. Predictive models in agricultural production. Phil. Trans. R. Soc. London., B 310, N 1144, p. 309-315.