

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации  
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей  
среды  
(Росгидромет)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ СИБИРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ФГБУ СИБНИГМИ)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФГБУ «СибНИГМИ»  
канд. техн. наук



А.Б. Колкер

2019 г.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Автоматизированная технология оценки условий вегетации и прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы по Томской области

по теме

Разработка методов и автоматизированных технологий оперативного мониторинга условий вегетации и динамико-статистических прогнозов урожайности основных сельскохозяйственных культур по субъектам РФ с использованием спутниковой и наземной информации. Разработка методов долгосрочного прогноза урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур

(заключительный)

Шифр темы 1.1.7.1

Новосибирск 2019

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

### **Автоматизированная технология оценки условий вегетации и прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы по территории Томской области**

---

(Проект)

Настоящие методические указания разработаны для территории Томской области и предназначены для расчета комплексной количественной оценки сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы на заданную дату вегетационного периода относительно аналогичного периода прошлого года и составления прогноза их средней урожайности с заблаговременностью в принятые в гидрометеорологической службе стандартные сроки - 21-23 июня и 21-23 июля.

## **Введение**

Данная работа призвана решать задачу надёжного современного агрометеорологического сопровождения производства значимой для региона группы зерновых и зернобобовых культур и ведущей культуры в этой группе – яровой пшеницы.

Работа заявлена оперативным подразделением региона в режиме обновления существующих в настоящее время методов прогнозов с ориентацией на уровень всех категорий хозяйств и с учётом развития новых вычислительных технологий, автоматизации сбора и обработки агрометеорологической информации, совершенствования оснащённости территориальных Центров гидрометеорологической службы вычислительной техникой. Она продолжает ряд ранее выполненных в ФГБУ СибНИГМИ исследований по применению динамического моделирования продукционного процесса основных сельскохозяйственных культур для оперативного агрометеорологического обеспечения их производства на территории отдельных субъектов Сибирского региона [1,2].

Предлагается технология оценки сложившихся условий формирования урожая и прогноза средней урожайности зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы по территории Томской области на уровне всех категорий хозяйств, разработанная на основе современного динамико-статистического подхода.

Работа включает также создание технологической линии информационного обеспечения расчетов на персональном компьютере в режиме реального времени с использованием данных агрометеорологических наблюдений, поступающих в виде электронной таблицы ТСХ-1. Передача электронной таблицы ТСХ-1 в отдел агрометеорологии Томского ЦГМС осуществляется ежедекадно через Интернет по компьютерной "Системе сбора оперативной гидрометеорологической информации с наблюдательной

сети на базе открытых информационных сетей", действующей в Западно-Сибирском УГМС.

## **1 Научные основы метода**

Посевные площади, занятые под зерновыми и зернобобовыми культурами в Томской области, согласно данным Федеральной службы государственной статистики по Томской области в 2017 году составили около 186,2 тысяч гектаров. Ведущую роль в этой группе культур занимает яровая пшеница, о чем свидетельствует и тесная корреляционная зависимость средней по области урожайности зерновых и зернобобовых культур и средней областной урожайности яровой пшеницы. Коэффициент корреляции за период 1991-2015годы равен 0,827. В группу зерновых и зернобобовых культур входят также биологически близкие яровой пшенице культуры - яровой ячмень и овес. Коэффициент корреляции средней по области урожайности этих культур и урожайности зерновых и зернобобовых равны 0,486 и 0,624 соответственно, при значимой величине равной 0,396.

По опыту решения аналогичных задач для других регионов Сибирского федерального округа (Новосибирская и Кемеровская области) в качестве основного средства расчета необходимых характеристик по группе зерновых и зернобобовых культур предлагается применить динамическую модель формирования урожая ведущей культуры данной группы - яровой пшеницы, с включением корреляционной зависимости средних по территории области величин урожайности зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы.

Прикладная динамико-статистическая модель формирования урожая яровой пшеницы для территории Томской области разработана на базе одного из вариантов модели продукционного процесса зерновых культур с суточным разрешением «Погода–Урожай» (ВНИИСХМ, Сиротенко О.Д.) [3].

На основе данной модели разработаны и с 2009 года внедрены в оперативную практику методы оценки агрометеорологических условий формирования урожая и прогноза средней урожайности яровой пшеницы по

территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края [2].

Изменения, наблюдаемые за последующие годы в сельском хозяйстве региона потребовали соответствующей корректировки параметров применяемых моделей.

Для этого необходимо адаптировать, разработанную ранее для условий Томской области динамическую модель формирования урожая яровой пшеницы, на современный уровень урожайности, отражающий изменения, происходящие в развитии агропромышленного комплекса и тенденции изменения агроклиматических условий региона.

Развитие вычислительных технологий требует также перевести на современную операционную систему программы формирования оперативной базы данных и расчета оценок и прогнозов.

Как уже отмечалось в наших работах аналогичной направленности по другим сельскохозяйственным культурам, выбор базовой модели высокой детализации продиктован условиями климата рассматриваемой территории с коротким вегетационным периодом и большой вероятностью значительных амплитуд колебаний величин метеорологических параметров за короткие временные отрезки. Влияние таких условий на рост и развитие растений сложно учесть при меньшей детализации продукционного процесса по времени.

Базовая модель [3] представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изменение во времени состояния внешней среды и, связанные с ним, изменения состояния посевов, начиная от даты всходов. Основными в этой системе являются уравнения, описывающие процессы фотосинтеза и распределения ассимилятов между различными органами растения. Главные каналы влияния условий среды на продуктивность культуры проходят через центральную формулу модели - формулу фотосинтеза. Кроме этого, модель включает концепцию роста, развития, дыхания, пищевого статуса, адаптационных процессов и систему

уравнений, описывающих изменение метеорологических условий внешней среды, а также большой объем априорной информации необходимой для ее построения.

Расчет динамики важнейших моделируемых характеристик посева сводится к интегрированию данной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. При этом аргументом всех биологических функций модели является биологическое время - сумма эффективных температур, рассчитываемая по биологическому минимуму моделируемой культуры.

Для задания начальных условий на дату массовых всходов необходимо по каждой станции, включенной в расчет располагать следующей агрометеорологической информацией:

- фенологической - даты появления массовых всходов и технической спелости для определения времени начала и окончания расчетов;

- биометрической - густота стояния растений (по этой величине, располагая информацией о соотношении величин биомасс отдельных органов стандартного растения на дату массовых всходов, рассчитываются начальные биомассы отдельных органов растений в  $[мг/см^2]$ , что численно совпадает с размерностью  $[ц/га]$ );

- инструментального определения запасов влаги в отдельных слоях почвы на дату близкую к всходам;

- данными определения агрогидрологических свойств почвы по 10-см слоям наиболее распространенных типов по механическому составу, выполненных по полной программе.

Таким образом, в исходном состоянии модельный посев культуры по каждой станции представлен, как посев, обладающий среднестатистическими значениями фенологических, биометрических параметров на дату всходов и характерными для территории агрогидрологическими свойствами почвы. Осредненный результат модельного расчета продуктивности культуры по всем станциям, включенным в расчет, при реально заданных начальных

значениях почвенного увлажнения и метеорологических параметров вегетационного периода, отражает среднюю по территории величину продуктивности.

## **2 Результаты адаптации базовой модели**

Замечено, что рассчитанные величины средней урожайности яровой пшеницы по Томской области по версии модели 2009 года за период 2013-2017 годы существенно ниже фактических значений. В конце периода отклонения, превысили допустимые на 1,6 - 4,8 ц/га. Это подтверждает необходимость соблюдать выработанное [4] решение о систематической корректировке методик количественной оценки состояния и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур в связи с внедрением новых сортов и гибридов, технологий возделывания культур и современными тенденциями изменения климата.

Для дальнейшего применения рабочего варианта динамической модели формирования урожая яровой пшеницы по Томской области в практической агрометеорологии, в том числе и для целей, намеченных данным исследованием, выполнена ее адаптация к современному уровню урожайности в регионе.

Уточнению методом итерационного подбора подлежали в первую очередь параметры, наиболее сильно влияющие на расчет текущих значений биомассы отдельных органов растений и влажности корнеобитаемого слоя почвы: угол наклона световой кривой фотосинтеза ( $\alpha$ ), константа ( $a$ ) в формуле расчета устьичного сопротивления потоку  $\text{CO}_2$ , химическое сопротивление ( $r_c$ ), параметр ( $K_0$ ) в формуле расчета гидравлической проводимости почвы, константа для вычисления транспирации ( $m$ ). Для этого решалась задача максимального пошагового приближения рассчитанных при помощи модели и фактических величин урожайности и влажности почвы. Оптимальные величины параметров определялись на основе оценок согласования результатов модельных расчетов с данными по

урожайности территориальных органов Федеральной службы государственной статистики.

Такие параметры модели, как, средние даты наступления фаз развития растений и суммы эффективных температур для их прохождения, густота посева уточнялись методом статистической обработки данных многолетних агрометеорологических наблюдений гидрометеорологических станций, расположенных в ареале распространения производственных посевов культуры. По справочным материалам введены координаты станций и агрогидрологические свойства отдельных слоёв преобладающих типов почв в расположении выбранных опорных станций.

Оценка согласования рассчитанных и наблюдаемых характеристик осуществлена методом корреляционного анализа на основе данных по урожайности территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области.

Оптимального приближения рассчитанной и фактической урожайности яровой пшеницы достигнуто путём итерационного подбора величины наиболее чувствительного параметра ростового блока модели - угла наклона световой кривой фотосинтеза -  $\alpha$ . Для периода 2001-2011 гг.  $\alpha$  равно  $0,021 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , для 2012-2015 гг. и далее -  $0,024 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

Погодные условия периода уборочных работ нередко вносят существенный вклад в конечный результат. В этой связи, для учёта потерь урожая в годы с тяжёлыми условиями уборки для данной культуры, предложена поправка. Она включена в виде средней из абсолютных ошибок расчетных величин урожайности, рассчитанных в обозначенные годы по фактическим данным за полный период вегетации. Годы с тяжёлыми условиями уборки выбирались по описанию этих периодов в агрометеорологических ежегодниках [5]. Анализ модельных расчетов с учётом скорректированного ряда лет, показали, что среднее значение из абсолютных ошибок расчета урожайности яровой пшеницы по фактическим данным в годы с тяжёлыми условиями уборки по Томской области (1993,



1994, 1996, 2002, 2006, 2014 годы) составляет 3,0 ц/га, в сторону превышения рассчитанной урожайности, относительно фактических величин.

Результат адаптации динамической модели - степень согласования рассчитанных, в том числе и с учетом поправки на условия уборки, и фактических величин средней областной урожайности яровой пшеницы показана в таблице 1 и на рисунке 1. Обеспеченность расчетов урожайности с ошибкой, не превышающей  $0,67 \sigma_y$  (1,5 ц/га), за 2001-2015 годы составила 86,7%. Для справки: величина  $0,8\sigma_y = 1,7\text{ц/га}$ .

Таблица 1 - Теснота согласования рассчитанных и фактических средних величин основных характеристик выхода модели формирования урожая яровой пшеницы для Томской области по результатам уточнения параметров рабочей модели

Показатель		Коэффициент корреляции		Среднее отклонение
		$r$	$r_{\text{зн}}$	
Урожайность с учетом условий уборки		0,848	0,482	1,0 ц/га
Запасы продуктивной влаги в почве, Томск, 28 июля	0-20см	0,814	0,514	8,1 мм
	0-100см	0,598	0,514	27,4 мм



Рисунок 1 - Согласование модельной средней урожайности яровой пшеницы по Томской области ( $Y_r$ ), в том числе с поправкой на условия уборки ( $Y_r^*$ ) и фактической ( $Y_f$ )

Получены значимые коэффициенты корреляции модельных и наблюдаемых запасов продуктивной влаги в почве под яровой пшеницей на примере третьей декады июля по данным сопряженных длиннорядных агрометеорологических наблюдений станции Томск (таблица 1, рисунки 2, 3).

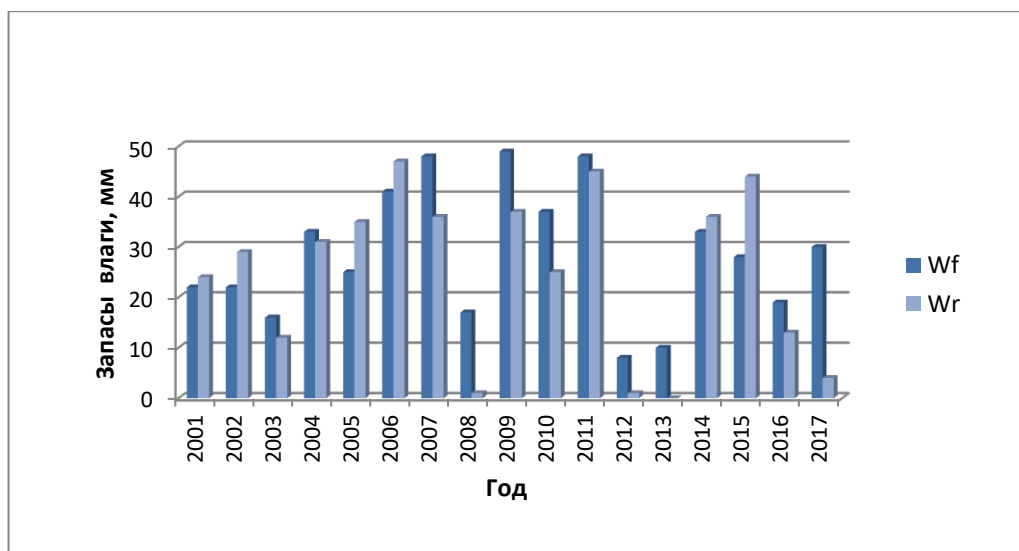


Рисунок 2 - Согласование модельных ( $W_r$ ) и наблюдаемых ( $W_f$ ) запасов продуктивной влаги под яровой пшеницей в слое почвы 0-20см, Томск, 28 июля

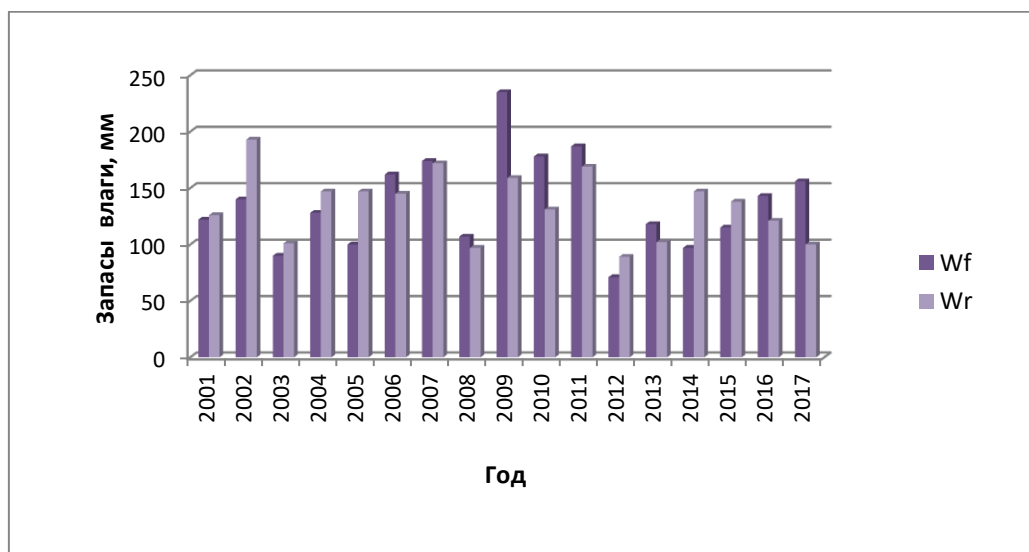


Рисунок 3 - Согласование модельных ( $W_r$ ) и наблюдаемых ( $W_f$ ) запасов продуктивной влаги под яровой пшеницей в слое почвы 0-100см, Томск, 28 июля

Среднее отклонение модельных запасов влаги от наблюдаемых на время максимального развития вегетативной массы растений яровой пшеницы составляет в слое почвы 0-20 см 8 мм, а в слое 0-100 см -27 мм.

Результаты корректировки модели на независимых данных 2016-18 годов представлены в таблице 2.

Таблица 2- Результаты верификации модели по урожайности яровой пшеницы на независимых данных

Год	Урожайность, ц/га		Отклонение, ц/га
	фактическая	рассчитанная	
2016	15,8	15,6	0,2
2017	19,9	18,2	1,7
2018	23,1	19,0	4,1

Таким образом, динамическая модель "Погода-Урожай" адаптирована на современный уровень средней урожайности яровой пшеницы по Томской области и настроена на средний уровень культуры земледелия на рассматриваемом временном отрезке, в том числе и на некие средние условия уборки культуры. Тренд урожайности яровой пшеницы на временном отрезке 2001-2015 годы, не значим на 5%-ном уровне значимости ( $r=-0,34$  при значимой величине равной 0,514).

Для реализации поставленной задачи – создания автоматизированной технологии количественной оценки условий формирования урожая и прогноза средней урожайности на основе динамического моделирования продукционного процесса растений, в систему расчета включена корреляционная зависимость средней областной урожайности всех зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы по Томской области. Уравнение связи имеет следующий вид:

$$Y = 0,669x + 2,472 \quad (1)$$

где  $Y$  – средняя областная урожайность зерновых и зернобобовых культур;

$x$  – средняя областная урожайность яровой пшеницы.

Далее, по аналогии с предыдущим этапом, выполнена корректировка параметров модели на современный уровень урожайности группы зерновых и зернобобовых культур в пределах территории области. Оптимальный результат получен при значениях угла наклона световой кривой фотосинтеза ( $\alpha$ ) для периода 2000-2007 годы равном  $0,022 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , для 2008-2015 годы -  $0,025 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , 2016-2018 годы -  $0,027 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

Результат корректировки - степень согласования рассчитанных, (в том числе и с учетом поправки на условия уборки), и фактических величин средней областной урожайности зерновых и зернобобовых культур представлены на рисунке 4 и в таблице 3. Обеспеченность расчетов урожайности с ошибкой, не превышающей  $0,67 \sigma_y$  (1,6 ц/га), за 1991-2015 годы составила 88,0%, за 2001-2015 годы - 93,3%.

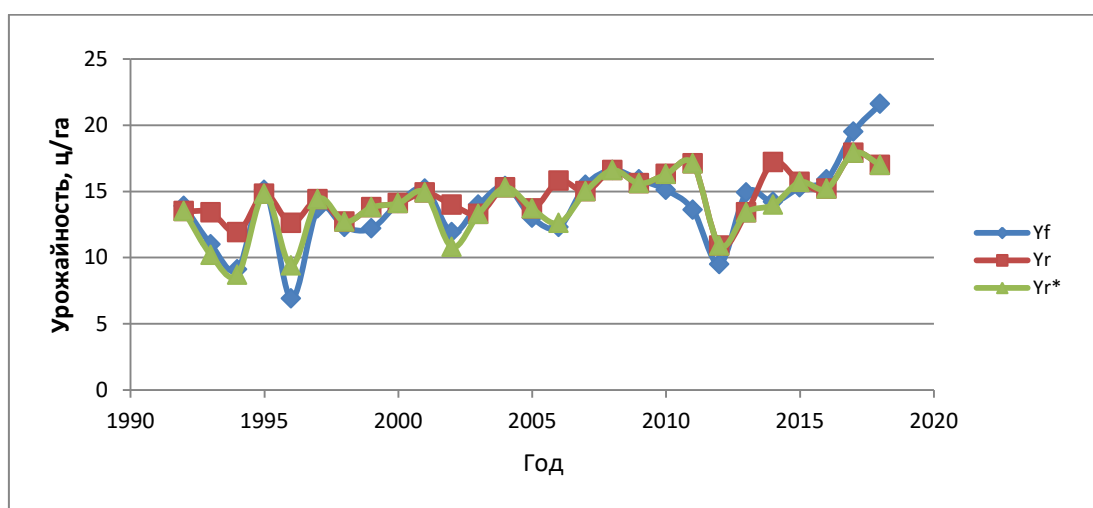


Рисунок 4 - Согласование модельных величин ( $Y_r$ ) средней урожайности зерновых и зернобобовых культур по Томской области, в том числе с поправками на условия уборки ( $Y_r^*$ ) и фактической ( $Y_f$ )

Таблица 3 - Результаты верификации модели по урожайности зерновых и зернобобовых культур на независимых данных

Год	Урожайность, ц/га		Отклонение, %
	фактическая	рассчитанная	
2016	15,9	15,2	0,7
2017	19,5	17,9	1,6
2018	21,6	17,0	4,6

Следует подчеркнуть, что в 2017-2018 годах получен урожай яровой пшеницы и всех зерновых и зернобобовых культур, превышающий абсолютный максимум за предшествующий период с 1990 года, в том числе и за период рассматриваемого ряда наблюдений, принятого для разработки методов. По яровой пшенице это превышение составляло за 2017 год 3,2 ц/га, а за 2018 год 5,3 ц/га; по зерновым и зернобобовым культурам - 2,9 ц/га и 5,0 ц/га, соответственно.

Характерно, что урожайность культур, рассчитанная по фактическим данным до конца вегетации 2017 и 2018 годов близка или выше абсолютного максимума за многолетний период: по яровой пшенице 18,2 ц/га и 19,0 ц/га соответственно, при максимальной 18,7 ц/га; по зерновым и зернобобовым 17,9 ц/га и 17,0 ц/га при максимальной 16,6 ц/га. Это свидетельствует об адекватной реакции моделей на оцениваемые агрометеорологические условия.

Полученные результаты адаптации модели позволяют применить ее в качестве средства расчета основных характеристик сложившихся и ожидаемых условий формирования урожая рассматриваемых культур в целях агрометеорологического обеспечения их производства.

### **3 Апробация методов**

Для расчета с помощью динамической модели *комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая* за определенный отрезок периода вегетации, относительно эталонных условий за аналогичный период, применен известный подход, предложенный в [6-7]. По опыту наших предыдущих работ в качестве эталона приняты условия прошлого года. Оценка условий формирования урожая относительно условий прошлого года на качественном уровне, наряду со средними многолетними условиями, является наиболее часто применяемой в практической агрометеорологии. Применение в качестве эталонных условий прошлого года, кроме простоты восприятия

потребителем, привлекательно с точки зрения технологии подготовки данных и выполнения расчетов [1,2]. Рабочие наборы данных за весь период вегетации прошедшего года в следующем году пошагово (ежесуточно или, как в предлагаемой версии, посуточно в целом за декаду) замещаются данными текущего года. Технологически, при необходимости, представляется возможным заменить эталон «прошлый год» на любой другой год, например, на «экстремально сухой» или «экстремально влажный».

Так как урожай является интегральной характеристикой агрометеорологических условий вегетационного периода, за меру отличия сложившихся условий текущей вегетации от прошлогодних принимается отношение ( $E_k$ ) конечных урожаев, рассчитанных по условиям текущего и прошлого года за оцениваемый период, выраженное в процентах.

То есть:

$$E_k = \frac{Y_k}{Y_{пг}} \times 100 \% \quad (1)$$

Где:

$Y_k$ - урожай, рассчитанный по комбинированному набору фактических данных: текущего года от всходов до даты расчета, и данных прошлого года от даты расчета до конца вегетации;

$Y_{пг}$  - урожай, рассчитанный по фактическим данным прошлого года от всходов до конца вегетации.

Расчет количественной оценки сложившихся условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур относительно условий аналогичного периода прошлого года характеризуется статистическими оценками за полный вегетационный период.

Получены удовлетворительные результаты сравнения рассчитанных и фактических оценок агрометеорологических условий формирования урожая, сложившихся за полный вегетационный период, в сравнении с прошлым годом (рисунок 5, таблицы 4,5).

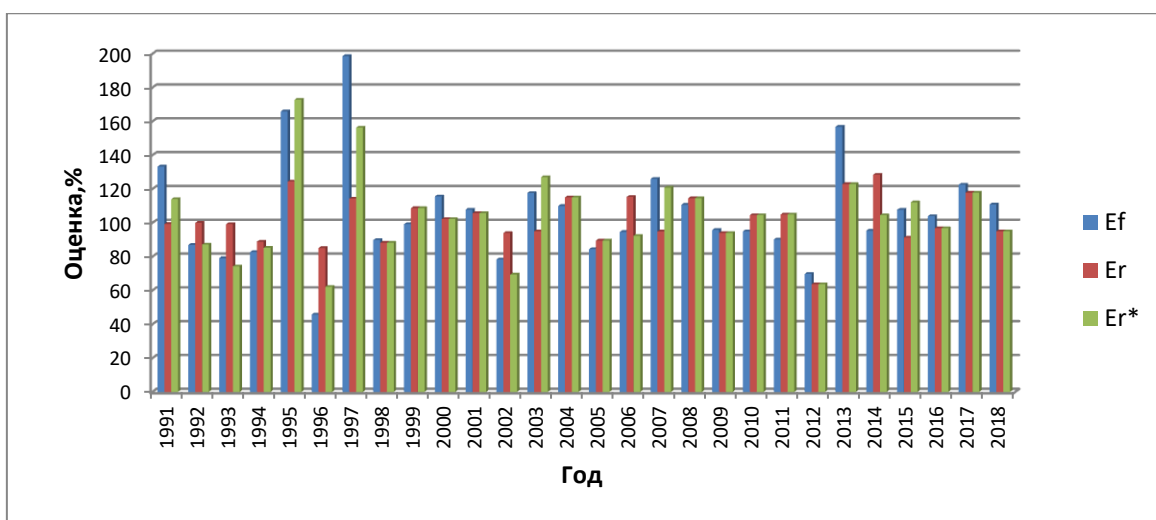


Рисунок 5 - Согласование рассчитанных на конец вегетации ( $E_r$ ), с поправкой на условия уборки ( $E_r^*$ ) и фактических ( $E_f$ ) оценок агрометеорологических условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур по Томской области

Таблица 4 - Сравнение рассчитанных и фактических величин комплексных оценок агрометеорологических условий формирования урожая яровой пшеницы по Томской области за полный вегетационный период, относительно условий прошлого года

Год	Урожайность, ц/га				Оценка, %		Отклонение, %	
	фактическая		рассчитанная		фактическая	рассчитанная	абсолютное	относительное
	текущий год	прошлый год	текущий год	прошлый год				
2016	15,8	16,6	15,6	17,2	95,2	90,7	4,5	4,7
2017	19,9	15,8	18,2	15,6	125,9	116,7	9,2	7,3
2018	23,1	19,9	19,0	18,2	116,1	104,4	16,6	11,7

Таблица 5 - Сравнение рассчитанных и фактических величин комплексных оценок агрометеорологических условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур по Томской области за полный вегетационный период, относительно условий прошлого года

Год	Урожайность, ц/га				Оценка, %		Отклонение, %	
	фактическая		рассчитанная		фактическая	рассчитанная	абсолютное	относительное
	текущий год	прошлый год	текущий год	прошлый год				
2016	15,9	15,3	15,2	15,7	103,9	96,8	7,1	6,8
2017	19,5	15,9	17,9	15,2	122,6	117,8	4,8	3,9
2018	21,6	19,5	17,0	17,9	110,8	95,0	15,8	14,2

Практически совпадают по знаку отклонения от 100% и близкие по значению рассчитанные и фактические оценки за полный вегетационный период.

Разработка метода *прогноза* урожайности всех зерновых и зернобобовых культур и уточнение метода по яровой пшенице выполнялись с ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки их составления (21-23 июня - предварительный прогноз), (21-23 июля - уточненный прогноз) и соответствующие критерии оценки оправдываемости.

При построении сценария ожидаемых метеорологических условий на период от даты составления прогноза до конца вегетации принят наиболее успешный из апробированных ранее аналоговый вариант. Он представляет собой метеорологические условия «года-аналога» по долгосрочному прогнозу погоды на предстоящий месяц с пролонгацией до конца вегетации (июль – для предварительного прогноза урожайности, август – для уточненного). Для этого составлен каталог «ANALOG» в виде стандартных наборов суточных данных по четырем основным метеорологическим элементам входного потока параметров по списку опорных станций за 1971-2018 годы. Согласно технологии он автоматически пополняется по окончании занесения фактической информации за полный период вегетации текущего года. После этого *обязательно* производится заключительный модельный расчет текущего года - расчет продуктивности культуры по фактической информации за полный период вегетации (первая декада июня – третья декада августа включительно). Результат этого расчета по запросу программы заносится в набор данных для расчета *комплексной количественной оценки условий* формирования урожая в динамике вегетационного периода следующего года.

Анализ *оправдываемости методов* прогноза средней урожайности всех зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы по Томской области по независимым данным за 2016-2018 гг. (таблицы 6-7 и 8-9, соответственно) выполнен в соответствии с «Методическими указаниями...» [8].



Таблица 6 - Сравнительная оценка качества методов прогноза средней областной урожайности зерновых и зернобобовых культур всех категорий хозяйств по Томской области на независимых данных

Год	Фактическая урожайность, ц/га	Прогнозируемая урожайность, ц/га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %	Прогнозируемая урожайность, ц/га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %
<b>Методические прогнозы</b>							
<b>Предварительный</b>				<b>Уточненный</b>			
2016	15,9	15,0	0,9+	6,4	15,7	0,2+	1,4
2017	19,5	21,1	-1,6+	10,0	19,5	0+	0
2018	21,6	15,3	6,3-	36,4	16,2	5,4-	31,2
<b>Инерционный</b>				<b>Климатологический</b>			
2016	15,9	15,3	0,6+	4,3	13,5	2,4-	17,1
2017	19,5	15,9	3,6-	22,5	13,5	6,0-	37,5
2018	21,6	19,5	2,1-	12,1	13,5	8,1-	46,8

Таблица 7 - Оценка оправдываемости методов прогноза средней областной урожайности зерновых и зернобобовых культур всех категорий хозяйств по Томской области на независимых данных

Тип прогноза	Оправдываемость методов, %	Средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
Предварительный	66,7	8,2
Уточненный	66,7	0,7
Инерционный	33,3	4,3
Климатологический	0	0

Таблица 8 - Сравнительная оценка качества методов прогноза средней областной урожайности яровой пшеницы всех категорий хозяйств по Томской области на независимых данных

Год	Фактическая урожайность, ц/га	Прогнозируемая урожайность, ц/га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %	Прогнозируемая урожайность, ц/га	Абсолютная ошибка, ц/га	Относительная ошибка, %
<b>Методические прогнозы</b>							
<b>Предварительный</b>				<b>Уточненный</b>			
2016	15,8	16,3	-0,5+	3,6	16,7	-0,9+	6,4
2017	19,9	22,1	-2,2-	3,6	20,4	-0,5+	3,1
2018	23,1	16,6	6,5-	36,3	17,4	5,7-	31,8
<b>Инерционный</b>				<b>Климатологический</b>			
2016	15,8	16,6	-0,8+	5,7	14,3	1,5+	10,7
2017	19,9	15,8	4,1-	25,3	14,3	5,6-	34,6
2018	23,1	19,9	3,2-	17,9	14,3	8,8-	49,2

Таблица 9 – Оценка оправдываемости методов прогноза средней областной урожайности яровой пшеницы всех категорий хозяйств по Томской области на независимых данных

Тип прогноза	Оправдываемость методов, %	Средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
Предварительный	33,3	3,6
Уточненный	66,7	4,8
Инерционный	33,3	5,7
Климатологический	33,3	10,7

По предлагаемым методам прогнозы средней областной урожайности по зерновым и зернобобовым культурам оправдались в двух годах из трех (2016-2017гг.) в оба срока: предварительному – по состоянию на 21,06 и уточненному - на 21,07. По яровой пшенице оправдались прогнозы в аналогичные сроки, кроме предварительного прогноза за 2017 год.

За 2018 год методические прогнозы урожайности зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы по принятым критериям не оправдались. Рекордные уровни урожайности яровой пшеницы и всех зерновых и зернобобовых культур собранные в этот год превысили абсолютный максимум за предшествующий период с 1990 года, в том числе и за период рассматриваемого ряда наблюдений, принятого для разработки методов на 5,3 ц/га и на 5,0 ц/га, соответственно. На время авторских испытаний не наблюдалось значимых трендов урожайности рассматриваемых культур. Допустимые отклонения прогнозируемой урожайности от фактической по зерновым и зернобобовым культурам и по яровой пшенице составляли: для предварительных прогнозов 1,9 ц/га и 1,7 ц/га; для уточненных – 1,6 ц/га и 1,5 ц/га, соответственно.

Инерционный и климатологический прогнозы урожайности оправдались только в одном из трех лет испытания (2016г.): инерционный по группе зерновых и зернобобовых культур и по яровой пшенице, климатологический – только по яровой пшенице.

#### **4 Технология выполнения расчетов**

Для выполнения расчетов по разработанным методам созданы пакеты программ для персонального компьютера на языке Фортран в электронном виде.

Пакет программ для расчета оценок условий формирования урожая и прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по Томской области состоит из:

- программы усвоения ежедневных и декадных данных из электронной версии таблицы ТСХ-1 рабочими наборами данных “zzb.dat”, “zzb1.dat”, и zzbo.dat загрузочный модуль “зернобоб\_томск.exe”);

- программы расчета оценки сложившихся условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур относительно аналогичного периода прошлого года, на любой момент вегетационного периода (загрузочный модуль pzzbo.exe);

- программы расчета ожидаемых средних по области величин урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур (загрузочный модуль pzzb.exe);

- каталога фрагментов метеорологических блоков рабочих наборов данных за 1971-2018 годов, содержащих ежегодные среднесуточные метеорологические данные опорных станций за 01.06 - 31.08 в виде отдельных файлов за каждый год, размещенных в директории “ANALOG”;

- инструкция по эксплуатации программного комплекса.

#### **ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА :**

**" Расчет количественной оценки условий формирования урожая и прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по Томской области".**

Программный комплекс предназначен:

1)Для автоматизация процесса занесения в наборы данных zzb.dat, zzbo.dat, zzb1.dat.

Выборка среднесуточной температуры (°C), продолжительности солнечного сияния (час)\*, суммы осадков (мм), среднего дефицита (Гпа), запасов

продуктивной влаги в мм в слое почвы: 0-10 см., 0-20 см., 0-50 см, 0-100см. производится из электронных таблиц ТСХ-1 на 7-ми станциях Томской области.

2)Для расчета оценки и прогноза.

Список станций:

1	Парабель	29128
2	Подгорное	29237
3	Молчаново	29332
4	Бакчар	29328
5	Первомайское	29348
6	Томск	29430
7	Кожевниково	29532

Технология автоматизированной подготовки агрометеорологической таблицы ТСХ-1 позволяет в соответствии с требованиями "Наставления гидрометеорологическим станциям и постам вып. 11, ч.1, 2000г." в сетевых наблюдательных организациях Западно-Сибирского УГМС, привлеченных к производству агрометеорологических наблюдений и оснащенных компьютерами и "АРМ наблюдателя ГМС", заносить метеорологические и агрометеорологические данные наблюдений в электронную форму ТСХ-1.

Передача электронной таблицы ТСХ-1 в отдел агрометеорологии Томского ЦГМС осуществляется ежедекадно через Интернет по компьютерной "Системе сбора оперативной гидрометеорологической информации с наблюдательной сети на базе открытых информационных сетей", действующей в Западно-Сибирском УГМС.

Компьютерные таблицы ТСХ-1 используются для последующей выборки данных.\*

\* Данные по солнечному сиянию для всех станций в настоящее время берутся по станции Бакчар, из-за отсутствия наблюдений по гелиографу на других станциях.

При отсутствии данных в Тсх-1 или при возникновении других вопросов можно данные занести вручную.

Программа поставляется в виде файла **ЗернобобТ.rar**

### 1. Установка программы:

1.Скопируйте файла ЗернобобТ.rar и разархивируйте на диск, на котором есть доступ к каталогу Тсх-1 .

2.В **conf.zzb** в первой строчке нужно прописать путь, где находятся

а) данные Тсх-1, например: **tsx-1= c:\Тсх-1\**

б) Проверить список станций и соответствие индексов в Conf.zzb и spraw.dbf. Для этого запустить программу Тсх-1 и войти в пункт меню **<Ввод списка>**

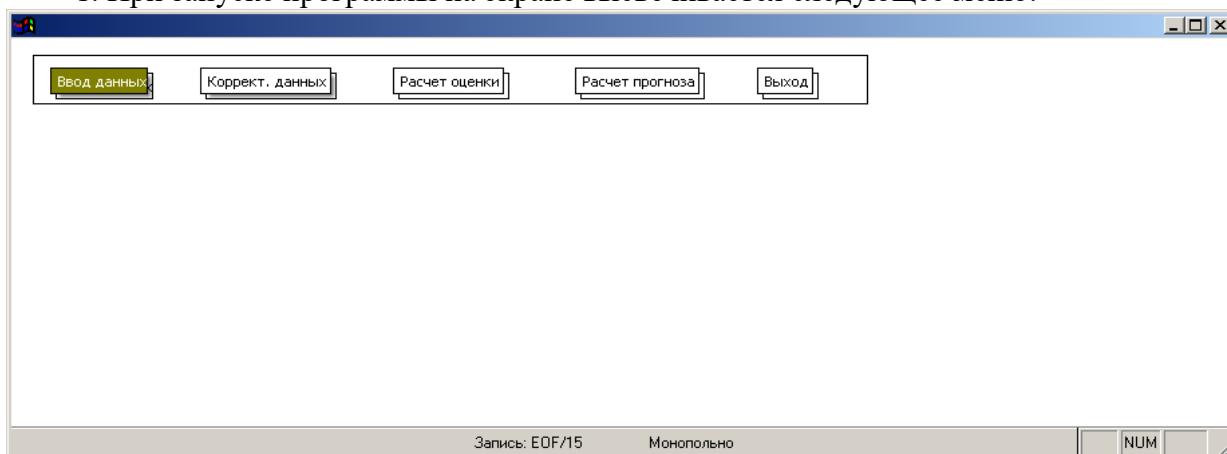
### 2.Запуск программы.

1.Выведите ярлык **pusk.bat** на экран и запустите с ярлыка или

2.Войдите в каталог **ZzbТ** и нажмите **<Enter>** ( или мышкой ) на **pusk.bat** .

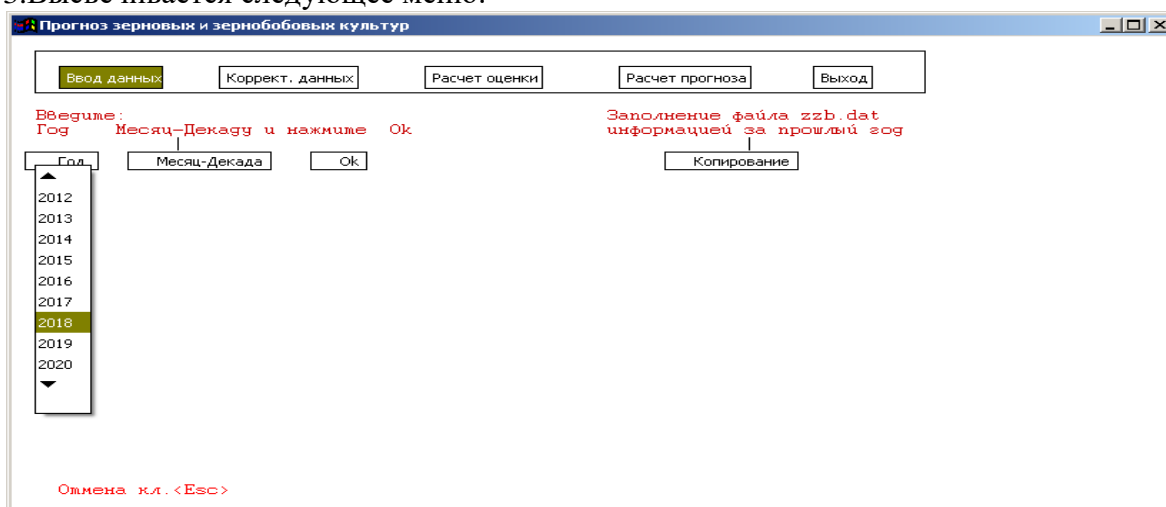
### 3. Инструкция по работе программы.

1. При запуске программы на экране высвечивается следующее меню:



2. Для ввода данных подведите курсор к пункту меню <Ввод данных> и щелкните мышкой или нажмите клавишу <Enter>.

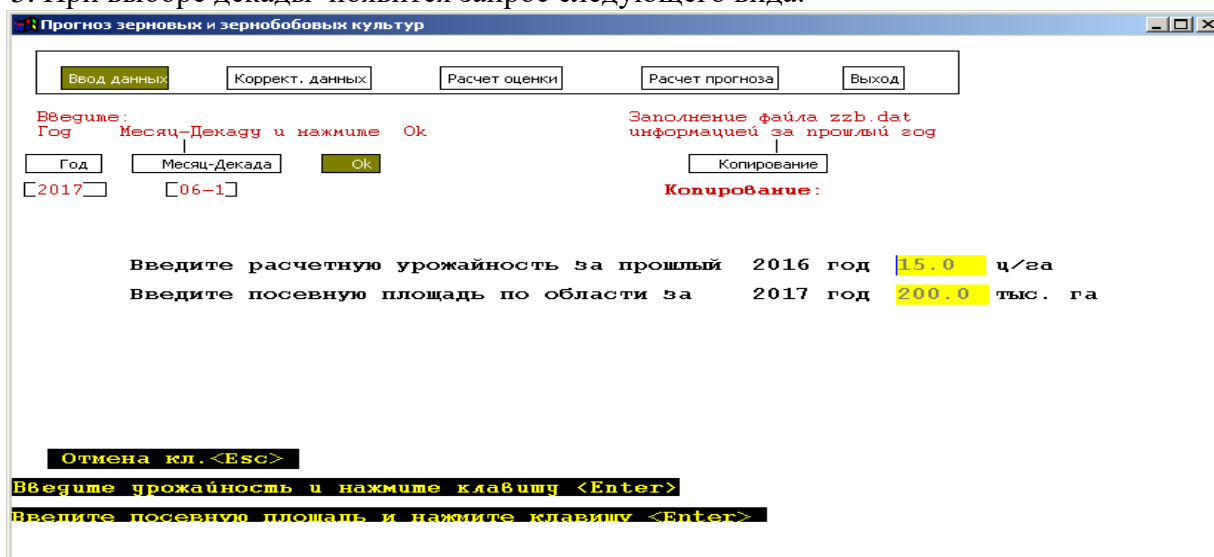
3. Высвечивается следующее меню:



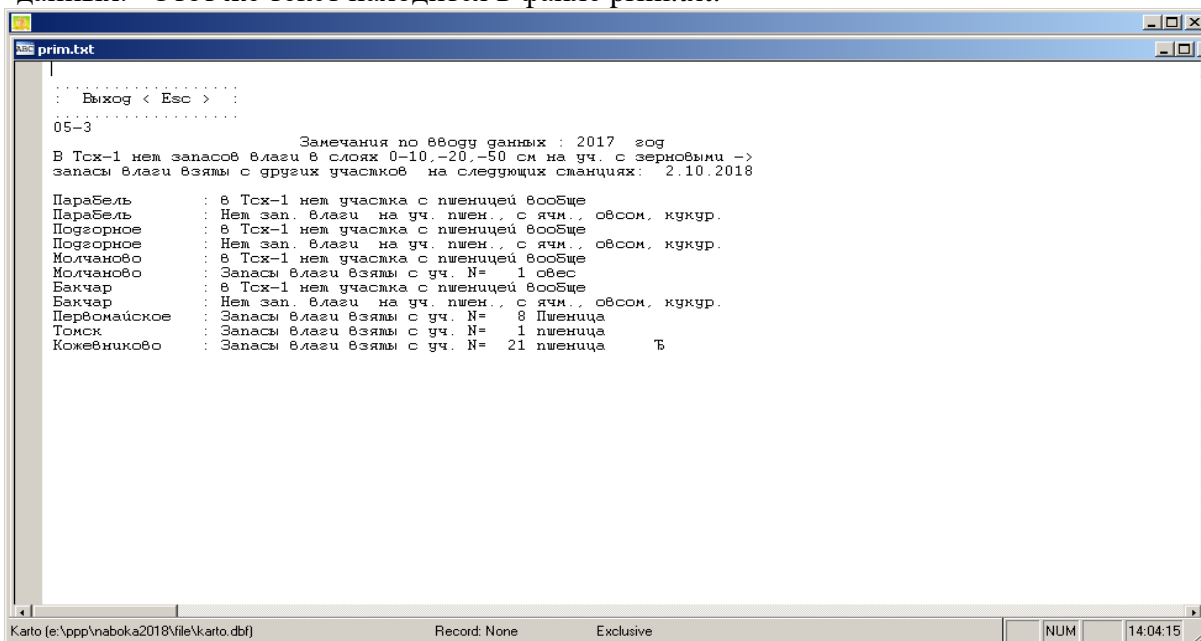
4. При первом счете (1 дек июня) войдите в п. <Копирование>, чтобы сформировать исходный файл Zzb.dat (При работе в 2018 году исходным будет файл за 2017 год.

Используя подсказки на экране, введите год, месяц и декаду выборки данных и нажмите на <Ok> .

5. При выборе декады появится запрос следующего вида:

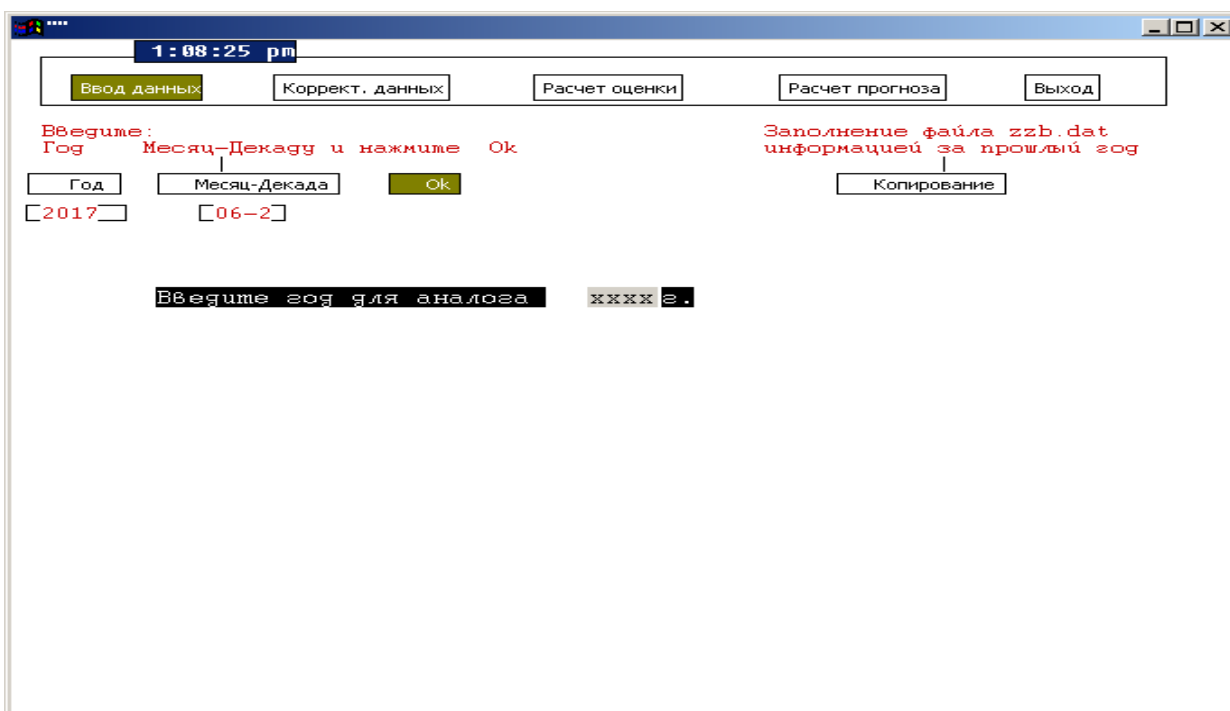


6. Произойдет выборка данных из таблиц Tcx-1 и заполнение наборов zb.dat, Zzbo.dat, Zzb1.dat и вывод на экран сообщений или замечаний по вводу данных. Этот же текст находится в файле prim.txt.



При обработке 2-ей декады июня и 2-й декады июля (при расчете прогноза урожайности) требуется ввести год аналога по долгосрочному прогнозу погоды на предстоящий месяц.

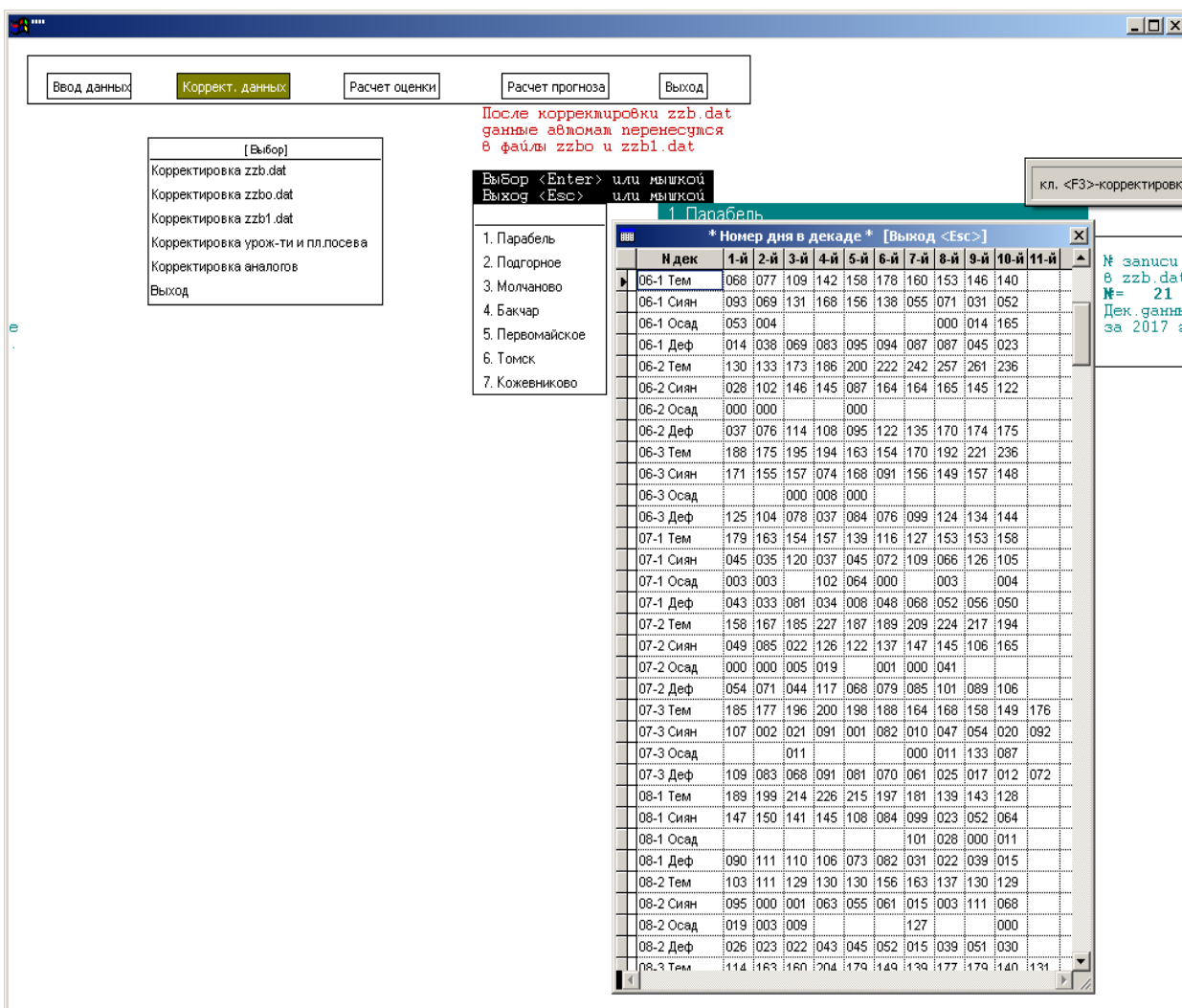
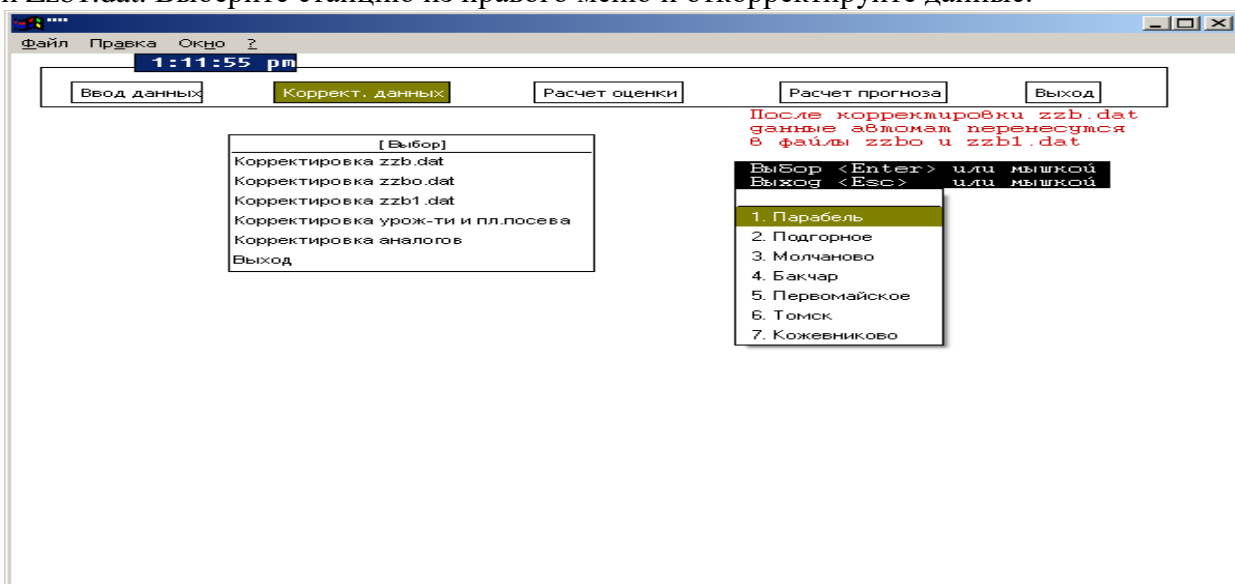
Аналоги запрашиваются по состоянию на 20 июня и 20 июля.



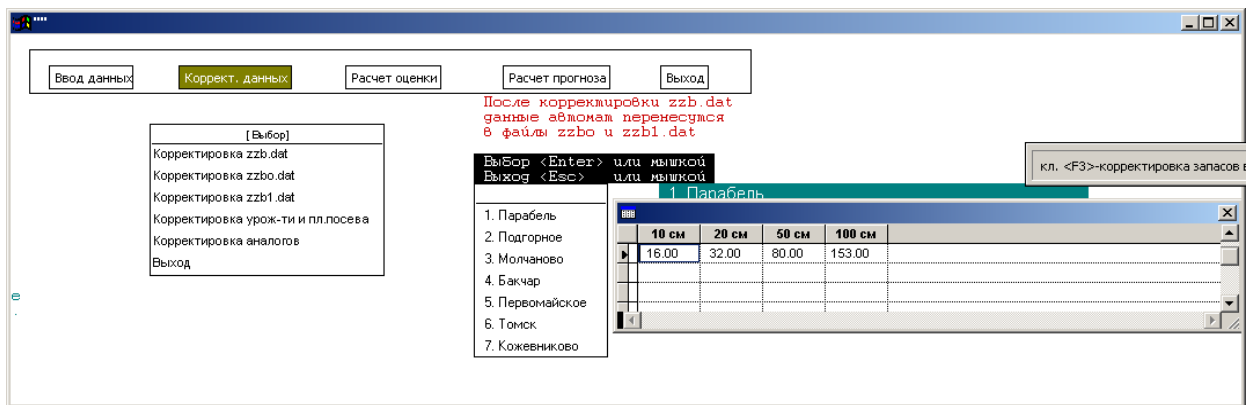
При выборе 3-й декады августа (08-3), например, 2017 года произойдет формирование файла Zzb17.dat, который будет исходным файлом для начала работы (06-1) в 2018 году. А также будет автоматически сформирован файл-аналог за 2017 год. \Analog\tt17.

7. После ввода данных нужно войти во 2-й пункт меню и просмотреть наборы Zzb.dat, Zzbo.dat, Zzb1.dat.

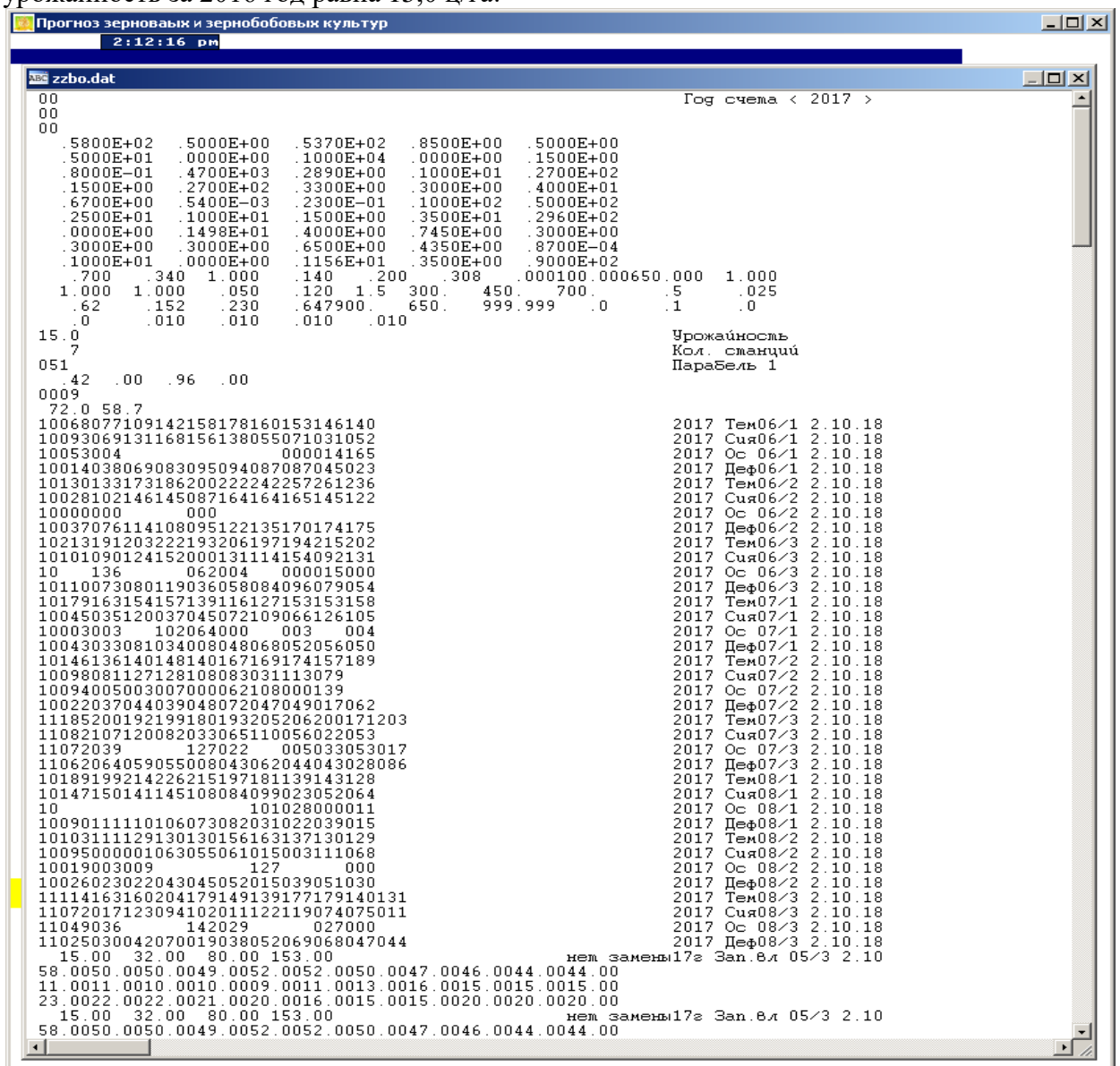
Если **отсутствуют** некоторые данные (нет поступления данных или ошибки в таблицах Тсх-1), надо откорректировать существующие или **ввести** недостающие данные. Корректировать следует только Zzb.dat. Все данные автоматически перенесутся в Zzbo.dat и Zzb1.dat. Выберите станцию из правого меню и откорректируйте данные.



8. Нажмите клавишу F3 для корректировки запасов влаги:



9. В наборах Zzb.dat и др. есть некоторые подписи - подсказки для данных, например, в наборе Zzbo.dat для расчета количественной оценки комплекса агрометеорологических условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур за вегетационный период 2017 года относительно условий аналогичного периода 2016 года. Расчетная урожайность за 2016 год равна 15,0 ц/га:



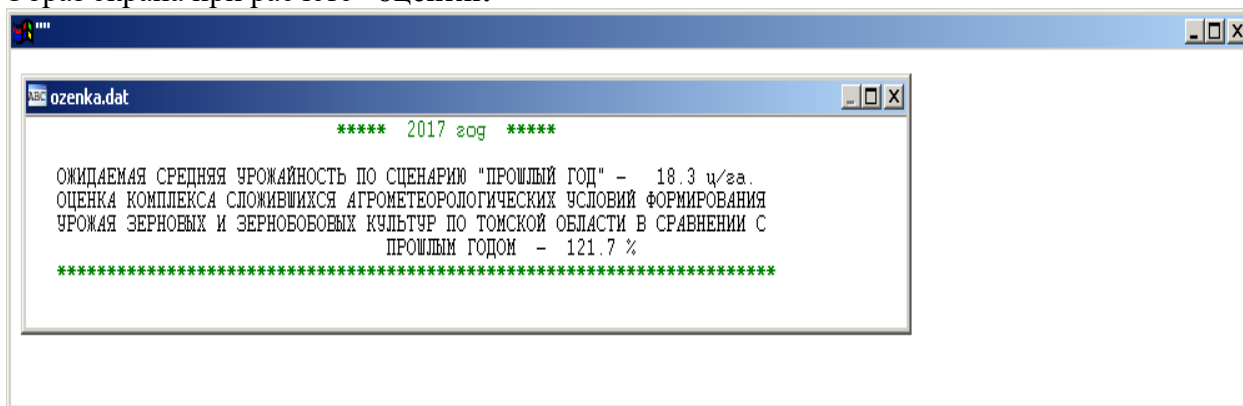
10. Далее входите в пункт меню "Расчет оценки" или "Расчет прогноза".



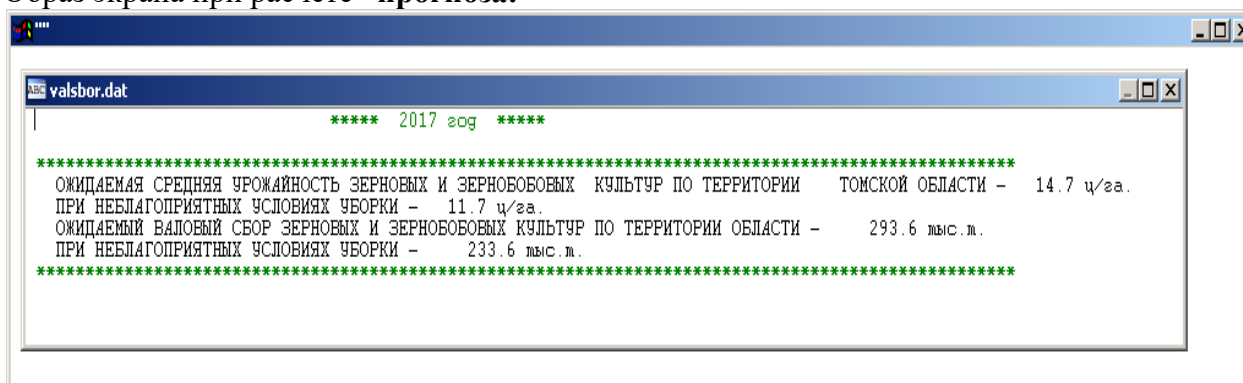
Прогноз урожайности считается в два срока - 21 июня и 21 июля.

11. Результаты выводятся на экран и в файлы Ozenka.dat (комплексная оценка агрометеорологических условий прошедшей части вегетационного периода относительно выбранного эталона – в данном примере эталоном выступает прошлый год ) и Valsbor.dat (прогноз урожайности и валового сбора).

Образ экрана при расчете **оценки**:



Образ экрана при расчете **прогноза**:



Технология выполнения расчетов количественной оценки условий формирования урожая и прогноза урожайности **яровой пшеницы** по Томской области аналогичная описанной. Усовершенствование её касалось рассмотренного выше уточнения параметров динамической модели формирования урожая и перевод технологических программ из операционной системы DOS в WINDOWS (инструкция прилагается в электронном виде).

В пакете программ для расчетов оценок и прогнозов по яровой пшенице сохранены имена программ усвоения данных из электронной версии таблицы ТСХ-1, рабочих наборов данных, загрузочных модулей расчетных программ согласно предыдущей версии, находящейся в оперативной работе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены удовлетворительные результаты адаптации одной из версий динамико-статистической модели формирования урожая зерновых «Погода-Урожай» (ВНИИСХМ, Сиротенко О.Д.) суточного разрешения для расчета средней урожайности яровой пшеницы и зерновых и зернобобовых культур всех категорий хозяйств по территории Томской области. Оценки модели по согласованию рассчитанных и наблюдаемых характеристик по продуктивности посевов и по запасам продуктивной влаги под ведущей в группе культурой – яровой пшенице, позволили апробировать её в качестве средства расчетов для агрометеорологического обеспечения производства зерновых и зернобобовых культур на рассматриваемой территории.

2. По результатам авторских испытаний и достигнутой степени автоматизации расчетов, представляется возможным предложить для оперативных испытаний методы и технологии агрометеорологических расчетов количественной оценки комплекса сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая зерновых и зернобобовых культур и яровой пшеницы на конец каждой декады вегетационного периода, относительно условий прошлого года и прогноза их средней урожайности по всем категориям хозяйств Томской области в стандартные сроки – 21-23 июня и 21-23 июля.

3. Для выполнения расчетов предлагается использовать разработанные технологические линии, включающие пакеты программ для персонального компьютера и материалы информационного обеспечения:

- программу автоматизированного сбора информации по опорным станциям из электронной версии таблиц ТСХ-1, поступающих через Интернет в отдел агрометеорологии Томского ЦГМС по компьютерной "Системе сбора оперативной гидрометеорологической информации с наблюдательной сети

на базе открытых информационных сетей", действующей в Западно-Сибирском УГМС;

- программу расчета оценки сложившихся условий формирования урожая;
- программу расчета прогноза урожайности и валового сбора с посевной площади по сценарию ожидаемых агрометеорологических условий - "Год-аналог";
- каталоги фрагментов метеорологических блоков рабочих наборов данных за 1971-2018 годы, содержащие ежегодные среднесуточные метеорологические данные опорных станций за 21.06 – 31.08;
- инструкции по эксплуатации программных комплексов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Набока В.В. О развитии в ГУ «СибНИГМИ» прикладного динамико-статистического моделирования для агрометеорологического обеспечения земледелия Урало-Сибирского региона //Труды СибНИГМИ.-2010.- Вып.106. - С.112-129.

2 Набока В.В., И.Г. Ковригина И.Г. Методы оценки условий формирования урожая и прогноза средней урожайности яровой пшеницы по территории Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края и результаты их оперативных испытаний // Информационный сборник №38.- 2011.- С.115-130.

3 Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем.- Л.:Гидрометеиздат,1981. - 167с.

4 Решение участников Международной научно-практической конференции «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата». (ГУ «ВНИИСХМ», Росгидромет, г. Обнинск, 9-13 октября 2006 г.) // Труды ВНИИСХМ.- 2006.- Вып.36.- С.437-440.

5 Агрометеорологический ежегодник. Вып.20.- Новосибирск, 1972-2013.

6 Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. Об использовании динамических моделей для оценки агрометеорологических условий формирования урожая // Метеорология и гидрология.-1982.- №8.- С.95-101.

7 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.43-61.

8 Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91.- М.:Гидрометеиздат,1991.- С.98-107.

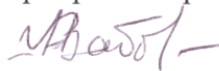
## СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1 Научные основы методов .....	4
2 Результаты адаптации базовой модели .....	7
3 Апробация методов .....	13
4 Технология выполнения расчетов .....	19
Заключение .....	26
Список используемых источников .....	28

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

снс В.В.Набока (введение, разделы 1, 2, 3,4, программы расчета оценок и прогнозов, заключение)



мнс Т.М.Пахомова (программы формирования РНД, интерфейс инструкции пользователя)



Нормоконтролёр



Т.П.Панькова