

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  
«20» декабря 2019 г.



#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### **Автоматизированная технология оценки условий вегетации и прогноза урожайности зелёной массы кукурузы по Новосибирской области**

по теме 1.1.7.1 (2017-2019 гг.):

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.

Новосибирск 2019

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### **Автоматизированная технология оценки условий вегетации и прогноза урожайности зелёной массы кукурузы по территории Новосибирской области**

---

(Проект)

Настоящие методические указания разработаны для территории Новосибирской области и предназначены для расчета комплексной количественной оценки сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая зелёной массы кукурузы на заданную дату вегетационного периода относительно аналогичного периода прошлого года и составления прогноза ожидаемой средней урожайности культуры с заблаговременностью в принятый в гидрометеорологической службе стандартный срок - 21-23 июля.

## **Введение**

Данная работа призвана решать задачу надёжного современного агрометеорологического сопровождения производства значимой для региона сельскохозяйственной культуры.

Современный уровень ведения животноводства требует создания устойчивой кормовой базы. Кукуруза в условиях Сибири – это, прежде всего, силосная культура. Силос незаменим для успешной зимовки крупного рогатого скота, имеет хорошую переваримость и обладает молокогонными свойствами. Кукурузу используют и на зелёный корм, богатый каротином. Площади посева кукурузы на силос и зелёный корм в последние годы колеблются в пределах 40-50 тысяч гектаров. Наблюдаемый в настоящее время курс на развитие животноводства в регионе, в том числе и в связи с программой «импортозамещения» потребует дальнейшего роста площадей, занятых этой важной кормовой культурой.

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].

Рассмотрены результаты первого варианта создания на основе динамико-статистического подхода современной технологии оценки сложившихся условий формирования урожая и прогноза средней

урожайности зелёной массы кукурузы по территории Новосибирской области на уровне всех категорий хозяйств.

Работа включает также создание технологической линии информационного обеспечения расчетов оценки сложившихся условий формирования урожая и прогноза урожайности на персональном компьютере в режиме реального времени с использованием данных агрометеорологических наблюдений, поступающих по каналам связи в системе "ГИС МЕТЕО" и электронной версии таблиц ТСХ-1.

## **1 Научные основы метода**

Ориентируясь на опыт предшествующих работ [1,2], в качестве базового средства расчета комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая и прогноза урожайности в данной работе применен апробированный, в том числе и для рассматриваемой культуры в условиях Алтайского края, вариант динамико-статистической модели продукционного процесса зерновых культур «Погода–Урожай» с суточным разрешением [3]. Как уже отмечалось в наших работах аналогичной направленности по другим сельскохозяйственным культурам, выбор 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. Таким образом, в определенной степени компенсируется заметное снижение освещённости территории агрометеорологической информацией.

Коротко об обсуждаемой ранее базовой модели [3]. Она 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 агрогидрологических свойств наиболее распространённых типов по механическому составу почвы по 10-см слоям, выполненных по полной программе.

В предложенной версии в исходном состоянии модельный посев культуры по каждой станции обладает среднестатистическими значениями фенологических и биометрических параметров на дату всходов и наиболее характерными для района расположения агрогидрологическими свойствами почв. 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.

В отсутствии возможности специального полевого эксперимента, необходимая корректировка параметров модели выполнялась на основе литературных источников и методом итерационного подбора величин, сообразно их физическому смыслу, на материалах многолетних агрометеорологических наблюдений и статистического ряда урожайности.

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. 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 уточняются методом статистической обработки данных многолетних агрометеорологических наблюдений гидрометеорологических станций,

расположенных в ареале распространения производственных посевов культуры. По справочным материалам уточнялись координаты станций и агрогидрологические свойства отдельных слоёв преобладающих типов почв в расположении выбранных опорных станций.

Для модельного расчета комплексной количественной оценки агрометеорологических условий формирования урожая за определенный отрезок периода вегетации, относительно эталонных условий за аналогичный период, применен известный подход, предложенный в [4-5]. 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. Как подчёркивалось ранее [1,2], применение в качестве эталонных условия прошлого года, кроме простоты восприятия потребителем, привлекательно с точки зрения технологии подготовки данных и выполнения расчетов. 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. 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 [4-5].

То есть:

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

Где:

$У_{к}$ - урожай, рассчитанный по набору фактических данных: текущего года от всходов до даты расчета, и данных прошлого года от даты расчета до конца вегетации;

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

Разработка методов прогноза выполнялась с ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки составления прогноза урожайности зелёной массы кукурузы - 21-23 июля и соответствующие критерии оправдываемости.

При построении сценария ожидаемых метеорологических условий на период от даты составления прогноза до конца вегетации принят наиболее успешный из апробированных ранее аналоговый вариант, представляющий собой метеорологические условия «года-аналога» по долгосрочному прогнозу погоды на предстоящий месяц (август) с пролонгацией до конца вегетации. Для этого составлен каталог в виде стандартных наборов суточных данных по четырем основным метеорологическим элементам входного потока данных по списку опорных станций за 1971-2017 годы. Он автоматически пополняется по окончании занесения фактической информации за полный период вегетации текущего года. После этого производится заключительный модельный расчет текущего года - расчет продуктивности культуры по фактической информации за полный период вегетации (вторая декада июня - первая декада сентября включительно). Результат этого расчета заносится в набор данных для расчета комплексной количественной оценки условий формирования урожая зелёной массы кукурузы в течение вегетационного периода следующего года.

## **2 Результаты адаптации базовой модели**

Работа выполнялась с учетом требований культуры, её сортов и гибридов, произрастающих на данной территории [10, 11, 12]. Задание начальных

условий для расчетов на модели формировалось на основе данных наблюдений опорной сети станций по динамике формирования листостебельной биомассы.

Для привязки начальных условий по биомассам отдельных органов растений кукурузы к рассматриваемому региону ориентировались на результаты исследования Кулешова Н.Н. о ходе накопления сырой массы и сухого вещества в отдельных органах кукурузы по фазам развития из расчета на одно растение [10]. Детальное обсуждение параметров ростовых функций кукурузы на разных широтах опубликовано в [13-16]. Показано [15], что в более высоких широтах ростовые функции лучших сортов кукурузы близки к «ячменным». Уточнение параметров модели данного класса по культуре ячменя для условий Новосибирской области проводились в ФГБУ СибНИГМИ на данных специальных полевых экспериментальных наблюдений [1]. Результаты этих исследований учтены при разработке прикладного варианта динамической модели формирования урожая листостебельной массы кукурузы для условий юга Западной Сибири.

Для адаптации модели к современным условиям произрастания кукурузы на территории Новосибирской области, в том числе и к соответствующему уровню урожайности зеленой массы кукурузы в регионе, привлечены данные десяти опорных ГМС. Материалы этих станций наиболее полно характеризуют разнообразие природно-климатических условий обширной территории края и являются наиболее информативными в отношении формирования входного потока информации для решения поставленной задачи. Станции Огурцово, Коченёво, Ордынское, Каргат, Здвинск, Чистоозёрное, Купино, Баган, Кранозёрск, Карасук расположены в районах с наибольшими посевными площадями, занимаемыми в настоящее время посевами кукурузы на силос и зеленый корм. При отсутствии информации по числу часов солнечного сияния, она восполняется по близлежащим ГМС, выполняющим наблюдения по гелиографу.

Расчет характеристик посева начинается со второй декады июня, а расчет динамики листостебельной биомассы в данном варианте задан по накоплению средней суммы эффективных температур наступления фазы "9-ый лист".

Для направленной работы динамической модели формирования урожая заданной культуры корректировке подвергались 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 ( $K_o$ ) в формуле расчета гидравлической проводимости почвы, константа для вычисления транспирации ( $m$ ). Для этого решается задача максимального пошагового приближения рассчитанных при помощи модели и фактических величин урожайности. Оптимальные величины параметров определяются 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 уточняется методом статистической обработки данных многолетних агрометеорологических наблюдений гидрометеорологических станций, расположенных в ареале распространения производственных посевов культуры. По справочным материалам уточняются агрогидрологические свойства отдельных слоёв преобладающих типов почв в расположении выбранных опорных станций, выполненным по полной программе, фиксируются координаты станций.

Определение и уточнение параметров модели выполнено путем статистической обработки данных наблюдений за 1991-2014 годы и методом итерационного подбора оптимальных величин параметров.

Решалась задача максимального пошагового приближения рассчитанных при помощи модели и фактических величин средней урожайности. Оптимальные величины параметров определялись на основе оценок согласования результатов модельных расчетов с данными по урожайности территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области. Оценка согласования рассчитанных и наблюдаемых характеристик выполнена методом корреляционного анализа. Таким образом, динамическая модель "Погода-Урожай", адаптирована для расчета средней урожайности зеленой массы кукурузы по Новосибирской области, настроена на средний уровень культуры земледелия на рассматриваемом временном отрезке[6]. При отсутствии значимого тренда урожайности такая настройка модели, предполагает некие средние условия уборки культуры. В данном регионе, расположенном в так называемой зоне рискованного земледелия условия уборки сельскохозяйственных культур нередко вносят существенный вклад в конечный результат всего процесса формирования урожая. Тренд урожайности зеленой массы кукурузы на временном отрезке, взятом для разработки методов, (1991-2014гг.) не значим на 5%-ном уровне значимости - коэффициент корреляции равен  $-0,254$  при значимой величине равной  $0,404$ . Поправка на условия уборки вводится, как альтернативный расчет на случай экстремальных условий в традиционный период уборочных работ по культуре в виде средней из абсолютных ошибок расчетных величин в годы с тяжелыми условиями уборки для данной культуры. Такие годы выбирались по описанию периодов уборки в агрометеорологических ежегодниках [8].

Анализ модельных расчетов по заключительному варианту идентификации параметров показал, что среднее значение из абсолютных ошибок расчета урожайности зеленой массы кукурузы по фактическим данным в годы с тяжелыми условиями уборки по Новосибирской области (1997, 1998, 1999, 2009, 2010, 2012, 2014 гг.) составляет  $71,2$  ц/га, в сторону превышения, относительно фактических величин. Введение

соответствующей среднестатистической поправки в расчет урожайности для альтернативного выхода модели в предположении последствий тяжелых условий уборки существенно улучшает эффективность применения метода расчета.

Результат адаптации динамической модели - степень согласования рассчитанных, в том числе и с учетом поправки на условия уборки, и фактических величин средней областной урожайности зеленой массы кукурузы показана в таблицах 1-2 и на рисунках 1-3. Коэффициент корреляции модельного ряда величин урожайности (с поправкой в годы с экстремальными условиями уборки) и её фактических значений по данным Территориального органа государственной статистики по Новосибирской области равен 0,889 при значимой величине на 5%-ном уровне значимости равном 0,404. Обеспеченность расчетов урожайности с ошибкой, не превышающей  $0,67 \sigma_y$  (22,7 ц/га), за 1991-2014гг. составила 87,5%.

Получены значимые коэффициенты корреляции модельных и наблюдаемых запасов продуктивной влаги в почве под кукурузой на примере третьей декады июля по данным сопряженных длиннорядных наблюдений агрометеорологической станции Огурцово в Центрально-Восточной зоне и комбинированного ряда данных наблюдений станций\*, освещающих условия вегетации кукурузы в Кулундинской зоне области (таблица 1, рисунок 2,3).

Средние величины отклонения рассчитанных запасов влаги от наблюдаемых на начало репродуктивного развития растений кукурузы за 1991-2014гг. составляют в слое почвы 0-20 см по АМС Огурцово 7,4 мм, по Кулундинской зоне 7,2 мм, а в слое 0-100см по АМС Огурцово - 16,9 мм, по Кулундинской зоне -19,0 мм.

Таблица 1 - Теснота согласования рассчитанных и фактических величин основных характеристик выхода модели формирования урожая зеленой массы кукурузы для по результатам адаптации базовой модели за период 1991-2014 гг. Новосибирская область

Показатель	Коэффициент корреляции	Среднее отклонение,	Обеспеченность отклонений разной
------------	------------------------	---------------------	----------------------------------

				%		величины, %	
		г	г <sub>зн</sub>	ц/га	%	Откл.	Обесп.
Урожайность с учетом условий уборки		0,889	0,404	10,8	8,1	<10%	62,5
						<20%	91,7
Запасы продуктивной влаги в почве							
0-20см	Огурцово	0,847	0,404	7,4 мм	-	-	
	Кулундинская зона	0,567	0,404	7,2мм	-	-	
0-100см	Огурцово	0,904	0,404	16,9 мм	-	-	
	Кулундинская зона	0,800	0,404	19,0 мм	-	-	

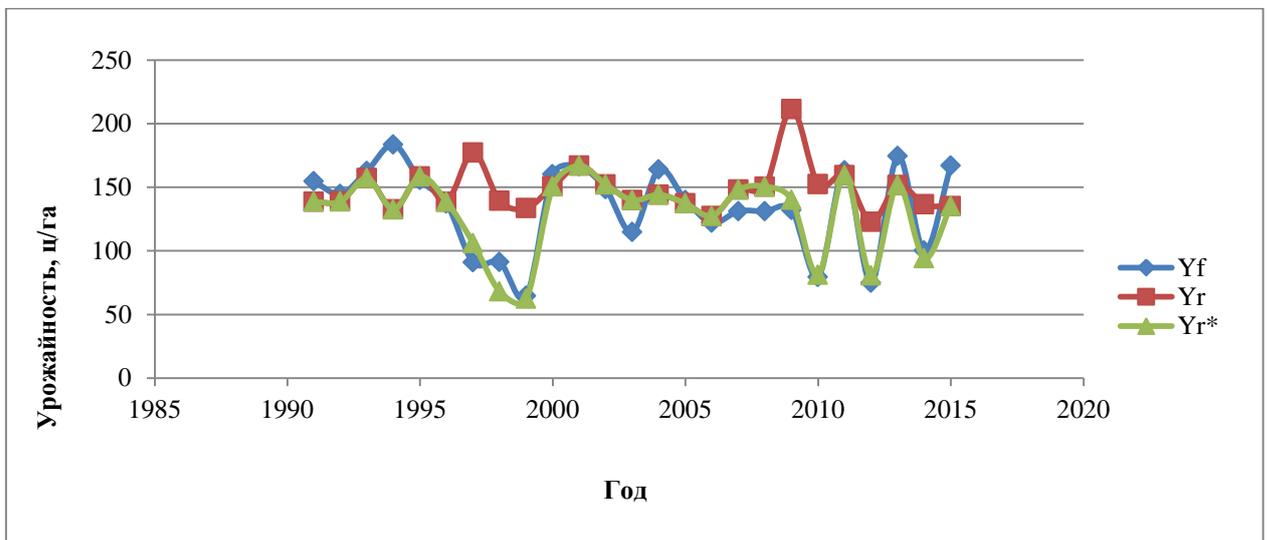
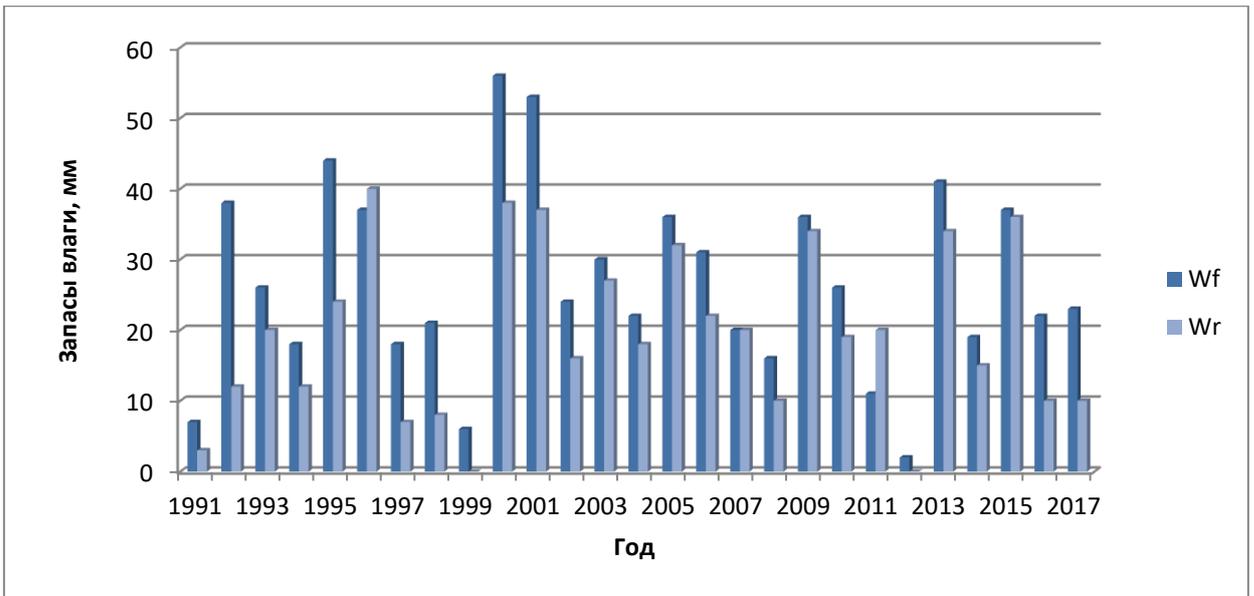


Рисунок 1 - Согласование модельной ( $Y_r$ ), в том числе с учетом поправок на условия уборки ( $Y_r^*$ ), средней урожайности зелёной массы кукурузы по Новосибирской области и фактической ( $Y_f$ )

а)



б)

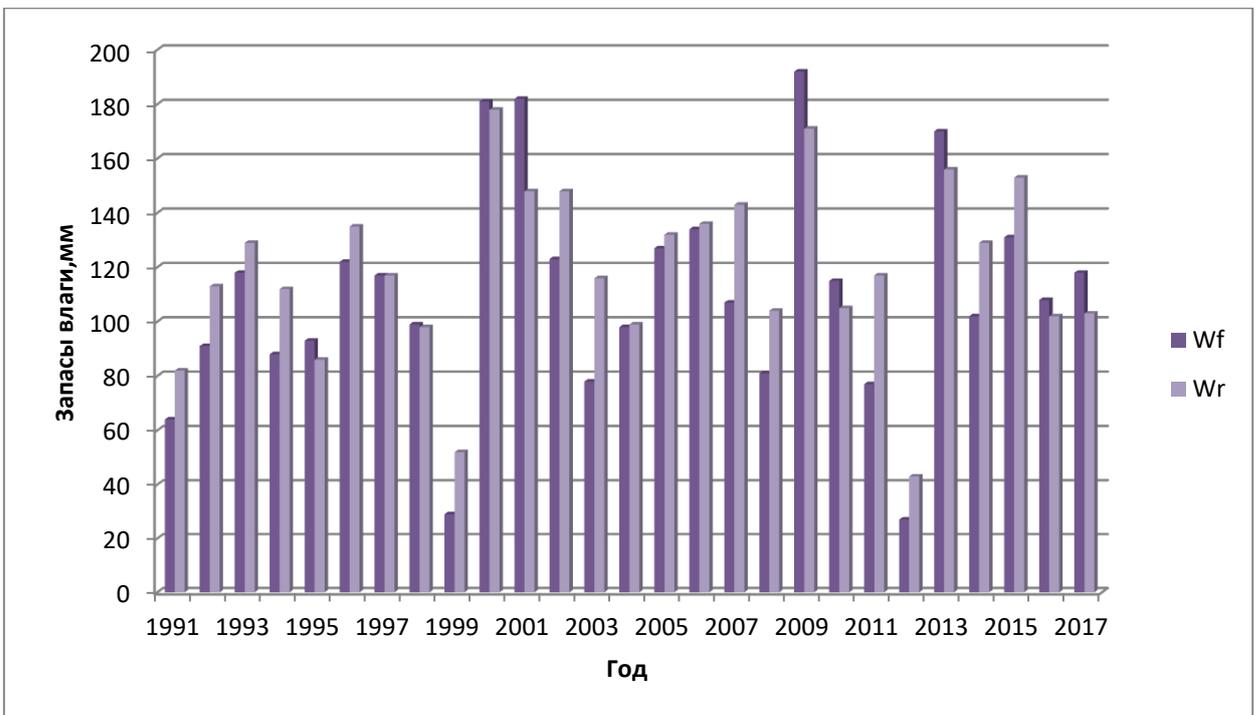
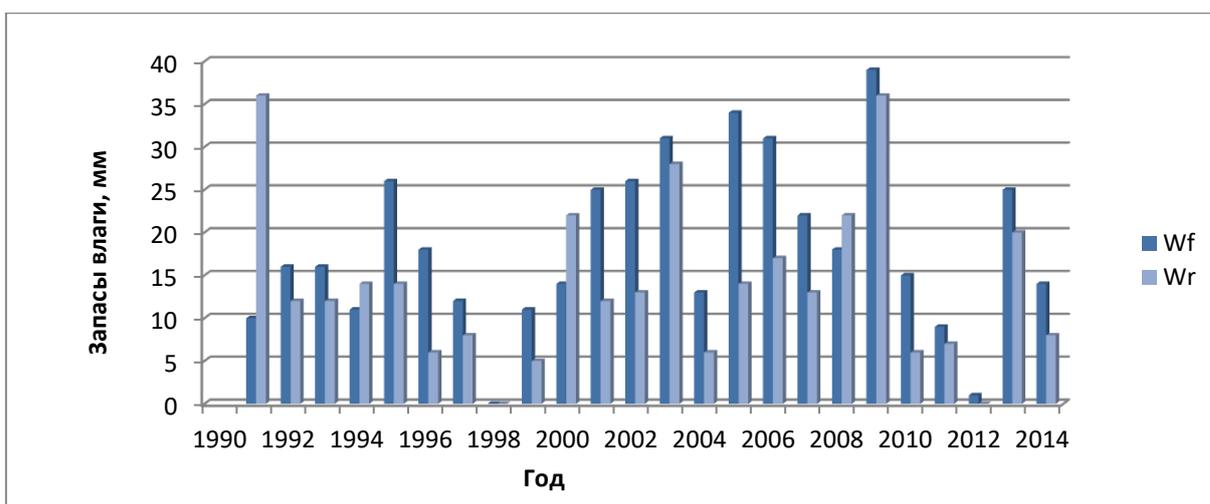


Рисунок 2 - Согласование модельных ( $W_r$ ) и наблюдаемых ( $W_f$ ) запасов продуктивной влаги под кукурузой в слоях почвы 0-20см (а) и 0-100см (б). Центрально-Восточная зона, АМС Огурцово, 28 июля

а)



б)

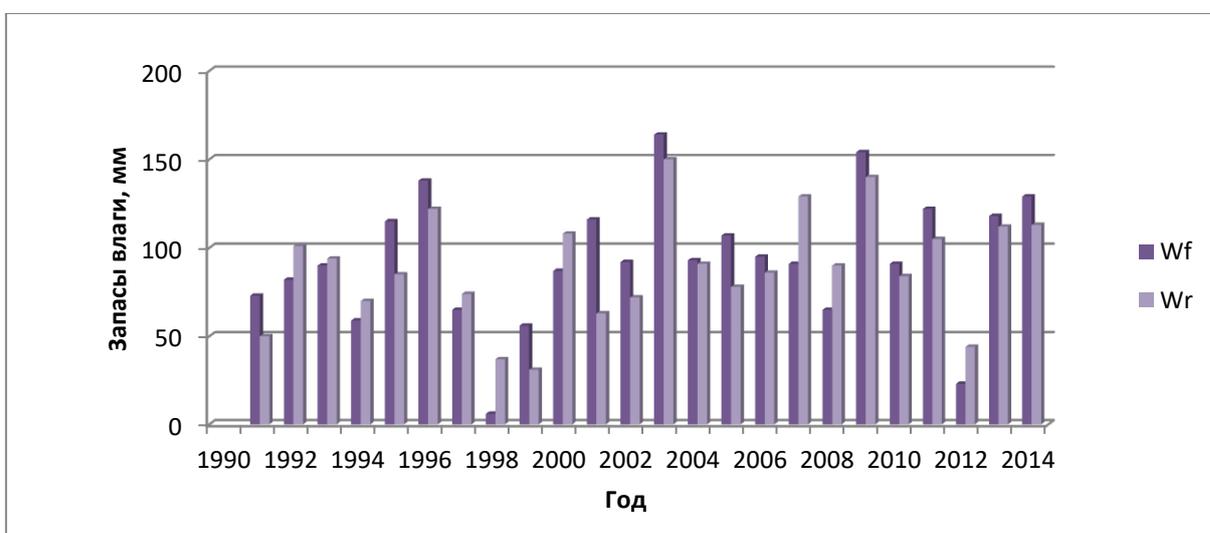


Рисунок 3 - Согласование модельных ( $W_r$ ) и наблюдаемых ( $W_f$ ) запасов продуктивной влаги под кукурузой в слоях почвы 0-20см (а) и 0-100см (б). Кулундинская зона области, согласно списку станций \*, 28 июля.

\*Список станций наблюдений по Кулундинской зоне

Год	Станция	Год	Станция	Год	Станция
1991	Баган	1999	Баган	2007	Карасук
1992	Купино	2000	Баган	2008	Карасук
1993	Баган	2001	Баган	2009	Карасук
1994	Баган	2002	Баган	2010	Карасук
1995	Купино	2003	Купино	2011	Чистоозёрное
1996	Купино	2004	Чистоозёрное	2012	Карасук
1997	Баган	2005	Краснозёрск	2013	Чистоозёрное
1998	Баган	2006	Карасук	2014	Чистоозёрное

Верификация модели выполнена на независимых данных 2015-2017 гг. с учётом отсутствия значимого тренда урожайности зелёной массы кукурузы по Новосибирской области на данный временной период и величины

допустимого отклонения результата расчетов от фактических величин урожайности (таблица 2).

Таблица 2 - Результаты верификации модели по урожайности на независимых данных 2015 -2017гг.

Год	Урожайность, ц/га		Отклонение, ц/га
	фактическая	рассчитанная	
2015	166,9	172,4	-5,5
2016	183,7	175,8	7,9
2017	158,1	176,1	-18,0

Результаты адаптации модели «Погода-Урожай» для кукурузы по Новосибирской области позволяют заключить о возможности ее применения для практических целей. Адаптированную таким образом модель предполагается применять в качестве средства расчета количественной оценки комплекса условий формирования урожая культуры на заданный момент вегетационного периода в сравнении с выбранным эталоном и ожидаемой урожайности зелёной массы кукурузы в стандартный срок прогнозирования.

Оптимальные величины уточняемых параметров на заключительном этапе идентификации для Новосибирской области на данном временном отрезке следующие: угол наклона световой кривой фотосинтеза ( $\alpha$ ) – 0,035, константа (a) в формуле расчета устьичного сопротивления потоку CO<sub>2</sub> – 0,35, химическое сопротивление ( $r_c$ ) - 4,0, параметр ( $K_0$ ) в формуле расчета гидравлической проводимости почвы - 29,6, константа для вычисления транспирации ( $m$ ) – 0,45.

### 3 Апробация методов

В качестве фактической комплексной количественной оценки условий формирования урожая конкретного года, относительно условий прошлого

года, принято отношение фактических величин урожайности последующего года к урожайности предыдущего.

Успешность метода расчета количественной оценки сложившихся условий формирования урожая зеленой массы кукурузы относительно условий аналогичного периода прошлого года характеризуется статистическими оценками за полный вегетационный период (табл. 3, рис 4).

Таблица 3 - Сравнение рассчитанных и фактических величин комплексных оценок агрометеорологических условий формирования урожая зелёной массы кукурузы за полный вегетационный период, относительно условий прошлого года

Год	Урожайность, ц/га				Оценка, %		Отклонение, %	
	фактическая		рассчитанная		факти- ческая	рассчи- танная	абсо- лютное	относи- тельное
	текущий год	прошлый год	текущий год	прошлый год				
2015	166,9	100,1	172,4	97,7	166,7	176,4	-9,7	5,8
2016	183,7	166,9	175,8	172,4	110,1	102,0	8,1	7,4
2017	158,1	183,7	176,1	175,8	86,1	100,2	-14,1	16,4
2018	145,9	158,1	129,7*	176,1	92,3	73,6	18,7	20,3

\* с учётом неблагоприятных условий уборки

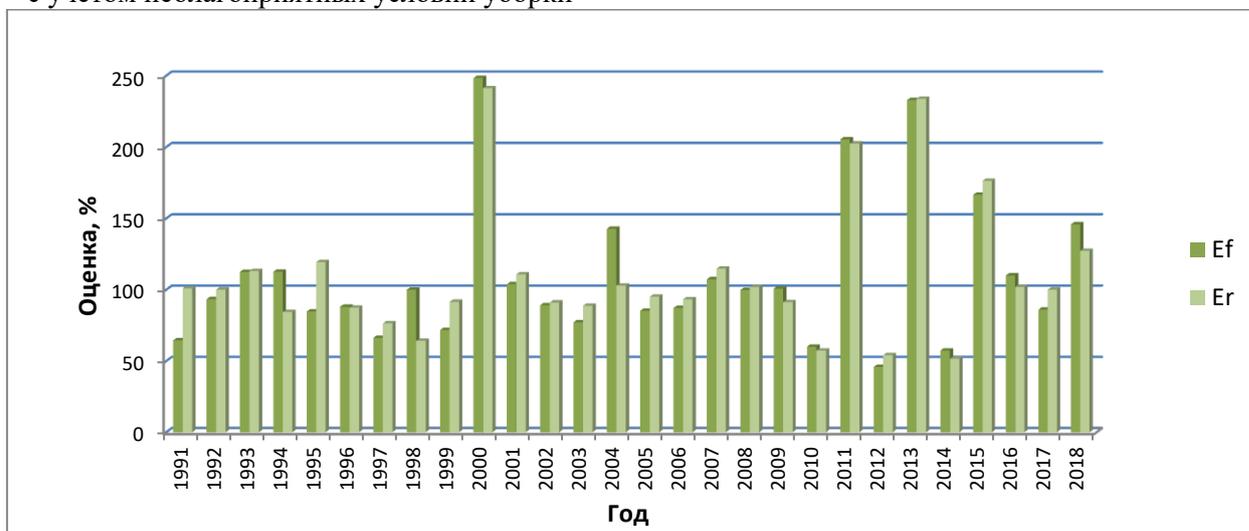


Рисунок 4 - Согласование рассчитанных ( $E_{r*}$ ) и фактических ( $E_f$ ) оценок агрометеорологических условий формирования урожая зелёной массы кукурузы за полный вегетационный период. 2015-2017гг. по независимым данным ( \*-учтены поправки в годы с тяжелыми условиями уборки)

Согласование модельных оценок периодов вегетации за 1991-2014 годы характеризуется коэффициентом корреляции 0,940 при значимой величине, равной 0,404. Обеспеченность допустимого отклонения 87,5%.

За годы авторской оценки прогноза урожайности зеленой массы кукурузы 2015-18гг. по допустимому отклонению модельных величин от фактических оправдались все прогнозы – оправдываемость метода 100% (таблицы 4, 5; рисунок 5).

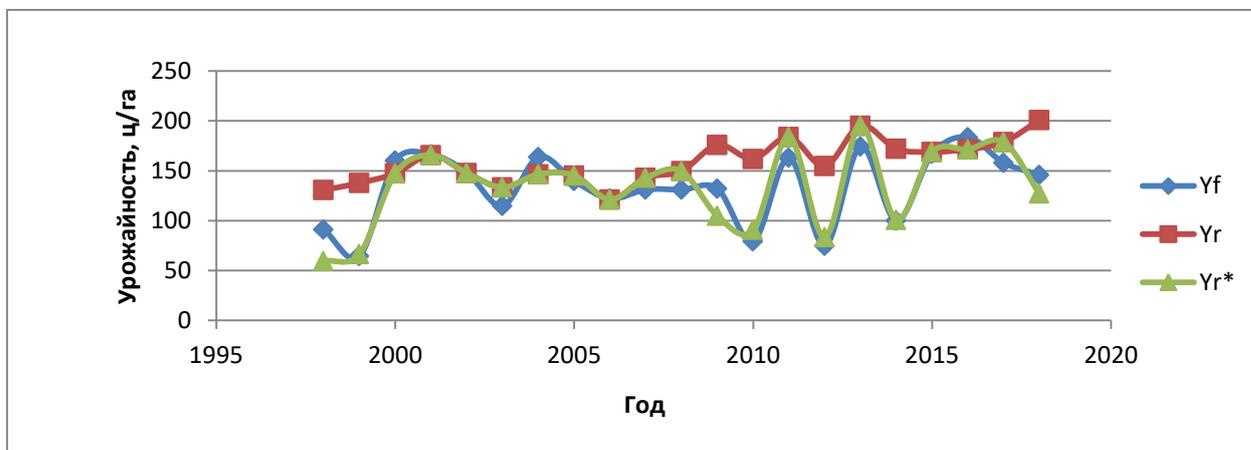


Рисунок- 5 Сравнение ожидаемой средней урожайности зелёной массы кукурузы по Новосибирской области, рассчитанной по сценарию "год-аналог" ( $Y_r$ ), в том числе с поправкой на условия уборки ( $Y_r^*$ ), и фактической ( $Y_f$ ). 2015-2018 гг. независимые.

Таблица 4 - Сравнительная оценка качества методов прогноза средней урожайности зелёной массы кукурузы всех категорий хозяйств по независимым данным 2015-2018гг.

Год	Факт. урожайность (Уф) ц/га	Тип прогноза								
		Методический			Инерционный			Климатологический		
		прогн. урожай. (Уп), ц/га	абс. ошибка (ΔУ) ц/га	относ. ошибка (Pi), %	прогн. урожай. (Уп), ц/га	абс. ошибка (ΔУ) ц/га	относ. ошибка (Pi), %	прогн. урожай. (Уп), ц/га	абс. ошибка (ΔУ) ц/га	относ. ошибка (Pi), %
2015	166,9	169,0	-2,1+	1,5	100,1	66,8-	49,2	137,1	29,8-	17,8
2016	183,7	161,0	22,7+	16,2	166,9	16,8+	12,0	137,1	46,6-	33,3
2017	158,1	178,8	-20,7+	13,2	183,7	25,6-	16,3	137,1	21,0+	13,4
2018	145,9	127,3*	18,6+	14,2	158,1	12,2+	9,3	135,2	10,7+	8,2

\* с учётом неблагоприятных условий уборки

Таблица 5– Оценка оправдываемости методов прогноза средней урожайности зелёной массы кукурузы по Новосибирской области на независимых данным 2015-2018годов

Тип прогноза	Оправдываемость методов, %	Средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
Методический	100	11,3
Инерционный	50,0	10,6
Климатологический	50,0	10,8

#### 4 Технология выполнения расчетов

Для выполнения расчетов оценки сложившихся

На территории Новосибирской области агрометеорологических условий формирования урожая и ожидаемой средней областной урожайности зеленой массы кукурузы по разработанным методам созданы:

1) пакет программ для персонального компьютера на языке Фортран в электронном виде состоящий из:

- программы усвоения ежедневных и декадных данных из электронной версии таблицы ТСХ-1 рабочими наборами данных “ky.dat”, “ky1.dat”, и оку.dat загрузочный модуль “кукурузансо.exe”);

- программы расчета оценки сложившихся условий формирования урожая, зеленой массы кукурузы относительно аналогичного периода прошлого года, на любой момент вегетационного периода (загрузочный модуль року.exe);

- программы расчета ожидаемых средних по области величин урожайности зеленой массы кукурузы (загрузочный модуль рку.exe);

- каталога фрагментов метеорологических блоков рабочих наборов данных за 1971-2018 гг., содержащих ежегодные среднесуточные метеорологические данные опорных станций за 21.07 - 10.09 в виде отдельных файлов за каждый год, размещенных в директории “ANALOG”.

Методика расчета оценки сложившихся условий формирования урожая и прогноза урожайности изложена в инструкции по эксплуатации программного комплекса.

**Инструкция по эксплуатации программного комплекса " Расчет количественной оценки условий формирования урожая и прогноза урожайности зеленой массы кукурузы по Новосибирской области".**

Программный комплекс предназначен для:

1) автоматизации процесса занесения материалов наблюдений опорных станций в наборы данных ky.dat, oky.dat, ky1.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 10-ти станциях НСО;

Список станций:

1	Огурцово	29638
2	Коченёво	29626
3	Ордынское	29726
4	Каргат	29624
5	Здвинск	29712
6	Чистоозёрное	29702
7	Купино	29706
8	Баган	29708
9	Краснозерск	29813
10	Карасук	29814

2) выполнения расчетов ежедекадных оценок комплекса сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая и прогноза средней урожайности зелёной массы кукурузы всех категорий хозяйств Новосибирской области;

3) формирования архива данных для производства расчетов в следующем вегетационном сезоне.

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 ЗС УГМС осуществляется ежедекадно по компьютерной "Системе сбора оперативной гидрометеорологической информации с наблюдательной сети на базе открытых информационных сетей" через Интернет, действующей в Западно-Сибирском УГМС. Компьютерные таблицы ТСХ-1 используются для

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

В связи с отсутствием наблюдений по солнечному сиянию происходит заполнение файлов ku.dat данными наблюдений близлежащих станций, производящих наблюдения по гелиографу:

Коченево, Ордынское - по Огурцово, Здвинск - по Каргату

Баган, Чистоозерное, Краснозерск Карасук - по Купино

### 1. Установка программы:

1.Скопируйте каталог Кукуруза НСО на нужный диск.

2.В **conf.kuk** в первой строчке нужно прописать путь, где находятся данные Тсх-1:

**tcx-1=w:\work\agrobmen\**

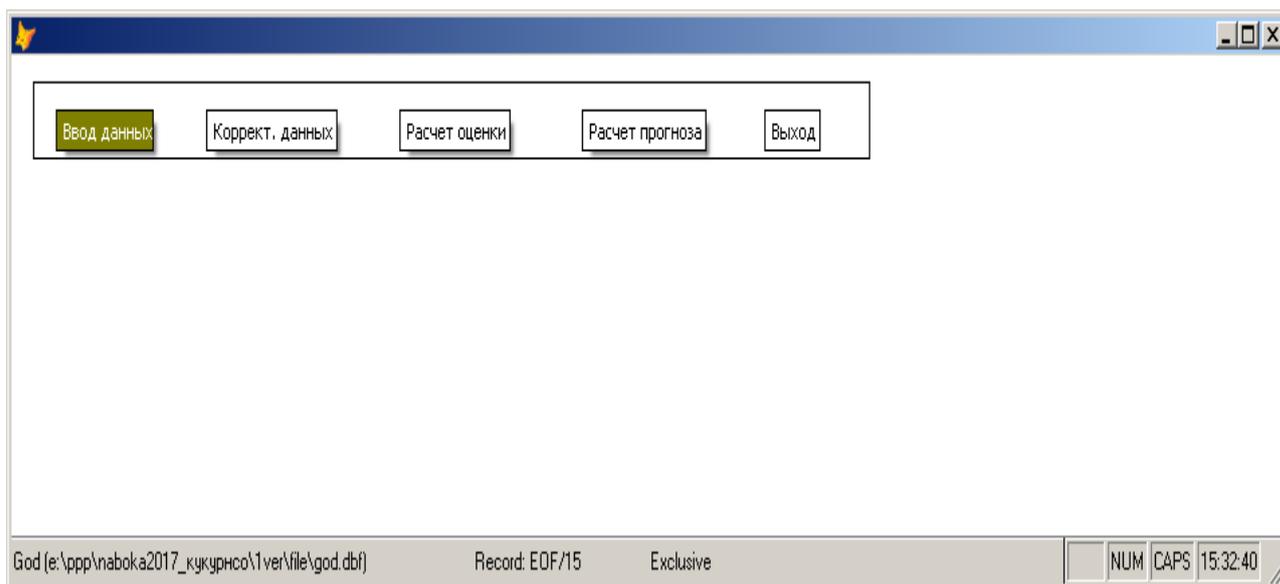
### 2.Запуск программы.

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

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

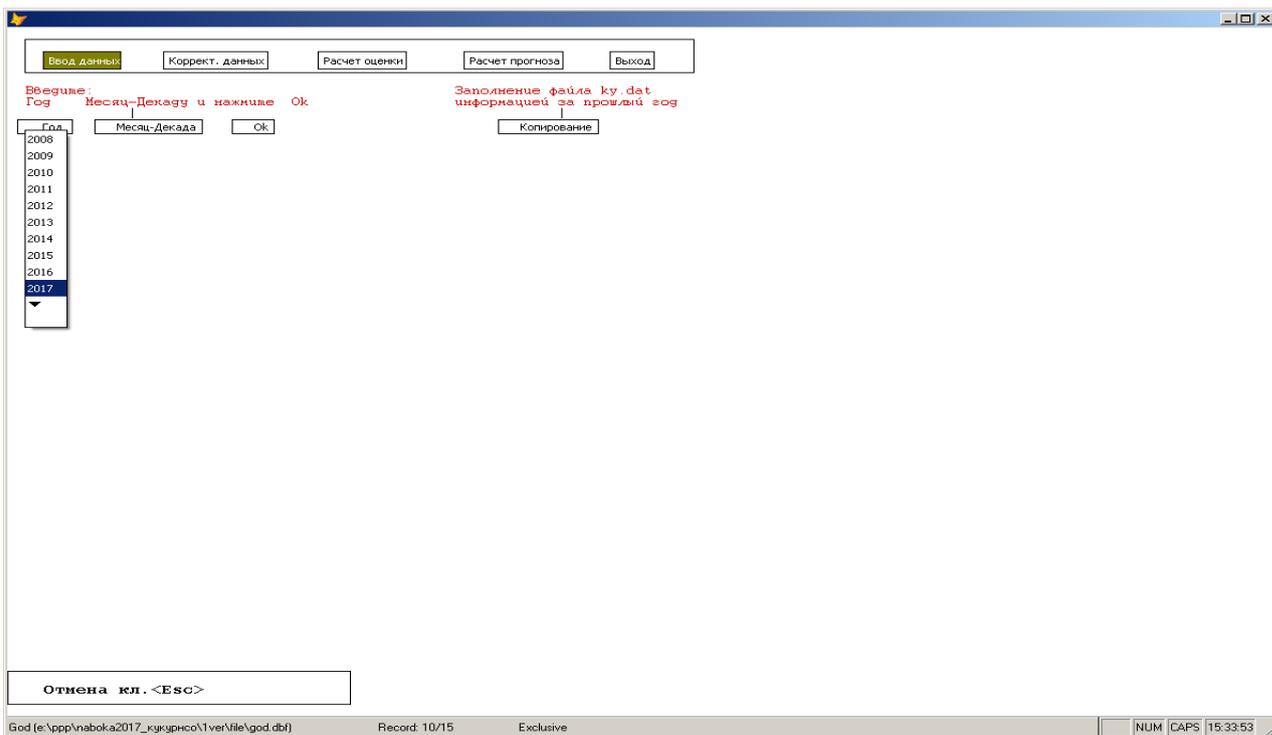
### 3. Инструкция по работе программы.

1. При запуске программы на экране высвечивается следующее меню:



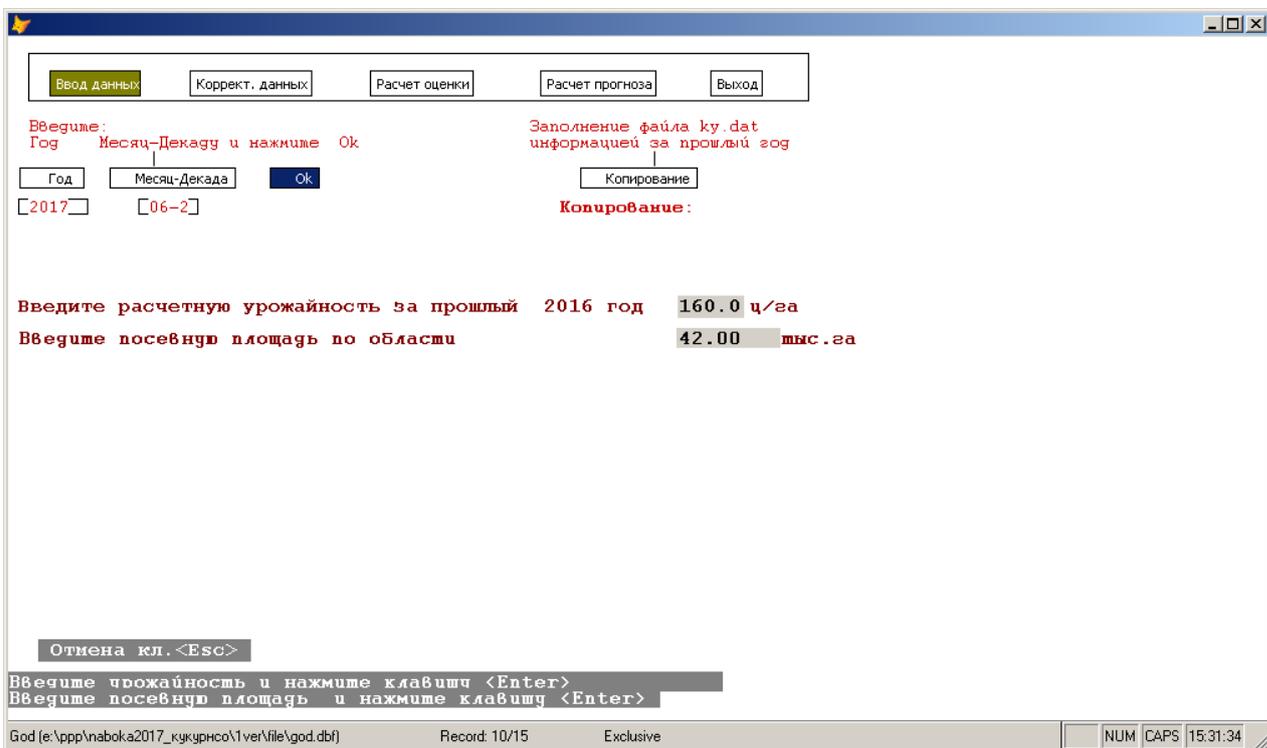
2.Для ввода данных подведите курсор к пункту меню <Ввод данных> и щелкните мышкой или нажмите клавишу <Enter>.

3.Высвечивается следующее меню:



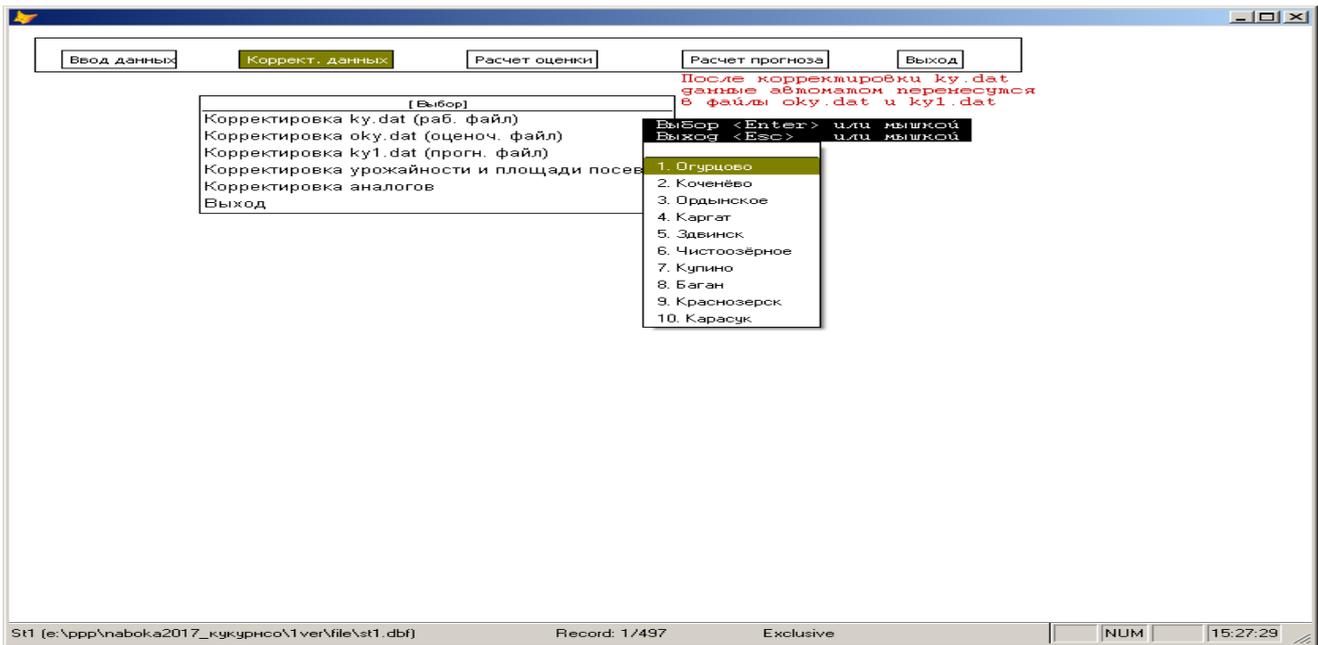
4. При первом счете (2 дек июня ) войдите в п. <Копирование>, чтобы сформировать исходный файл Ку.dat (При работе в 2018 г. исходным будет файл за 2017 г.)  
Используя подсказки на экране, введите год, месяц и декаду выборки данных и нажмите на < **Ok** > .

5. При выборе декады (06-2) появится запрос следующего вида:

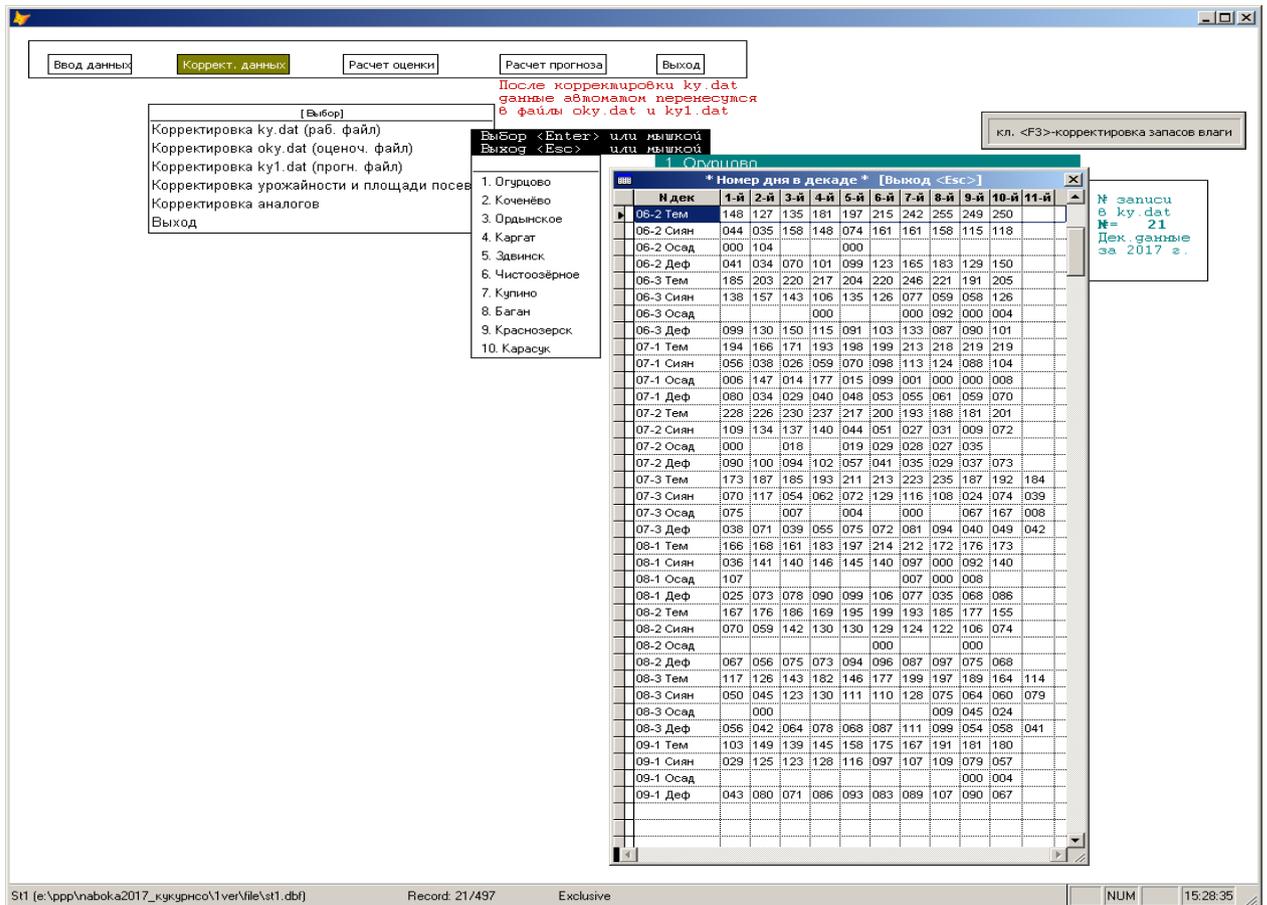


6. Произойдет выборка данных из таблиц Тсх-1 и заполнение наборов Ку.dat, оку.dat, Ку1.dat и произойдет вывод на экран сообщений или замечаний по вводу данных. Этот же текст находится в файле prim.txt.

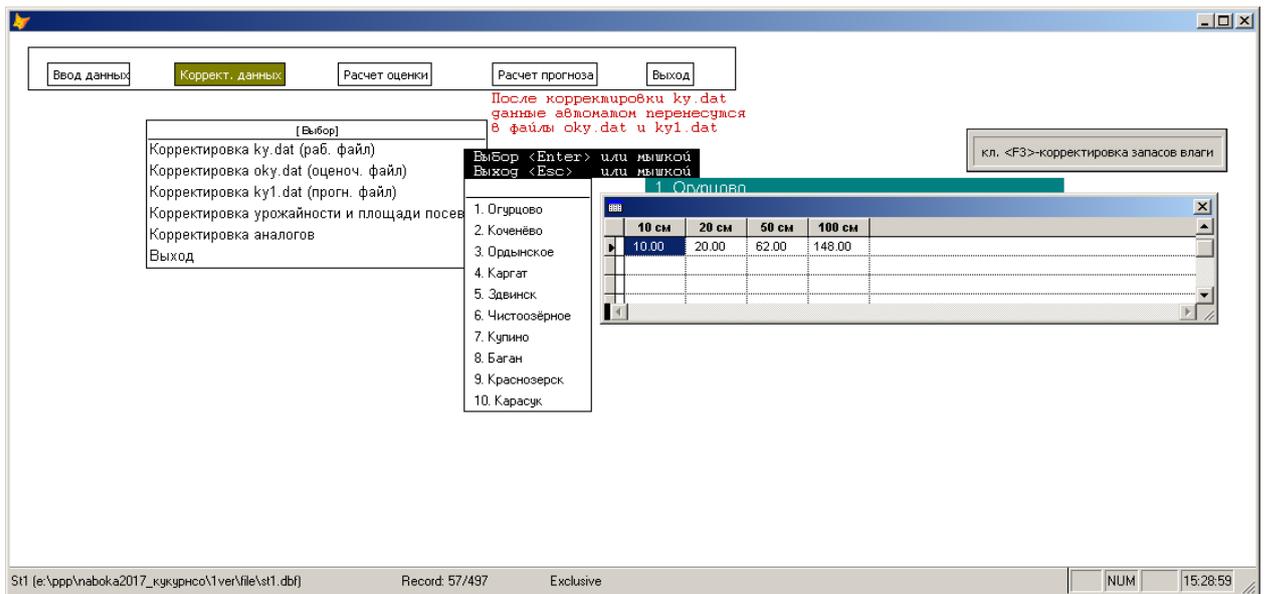




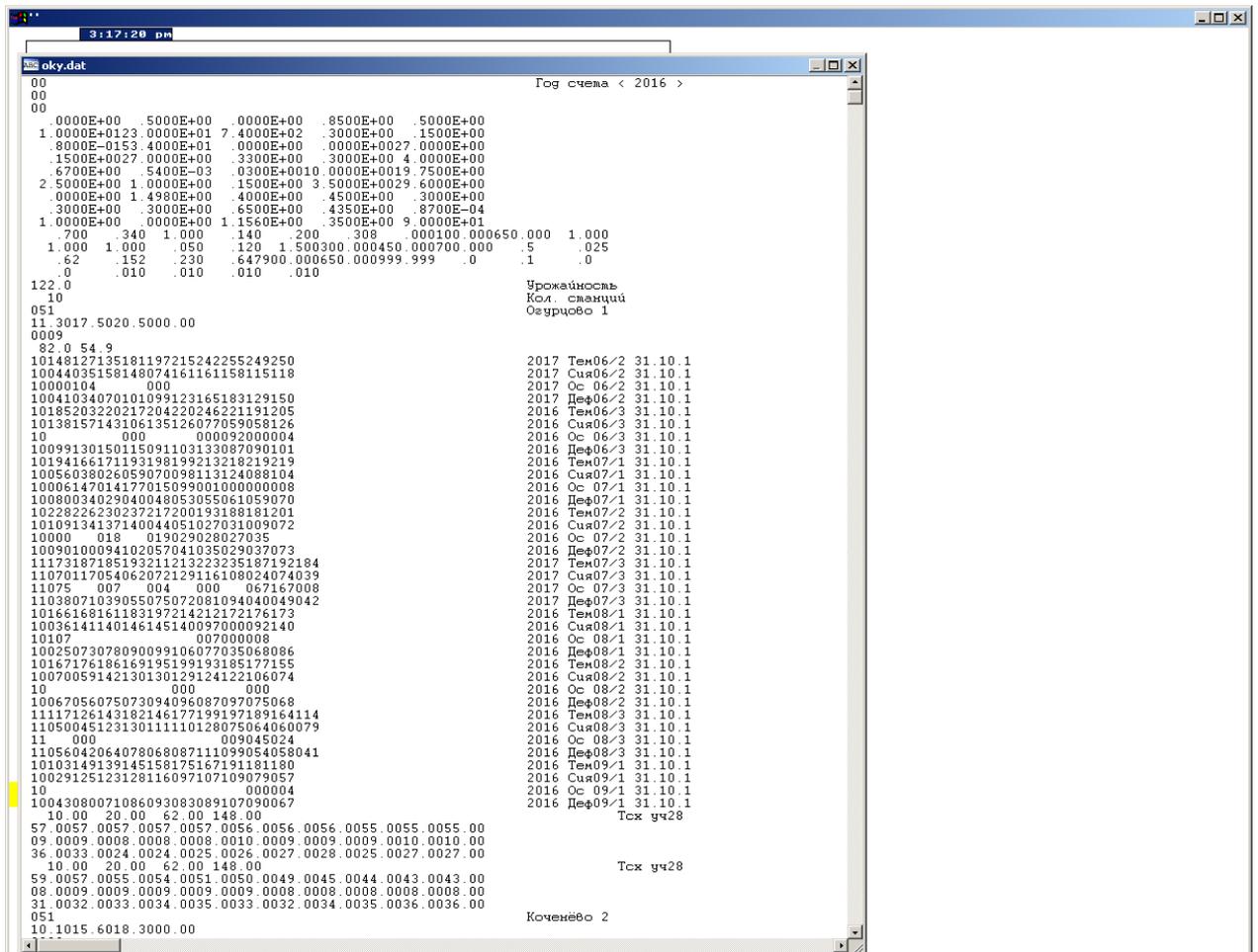
Если **отсутствуют** некоторые данные (нет поступления или ошибки в таблицах Тех-1), надо отредактировать или **ввести** данные. Корректировать следует только Ky.dat. Все данные автоматически перенесутся в oky.dat и ky1.dat. Выберите станцию из правого меню и откорректируйте данные.



8. Нажмите клавишу F3 для корректировки запасов влаги:



9. В наборах ky.dat и др. есть некоторые подписи - подсказки для данных, например, набор oky.dat:

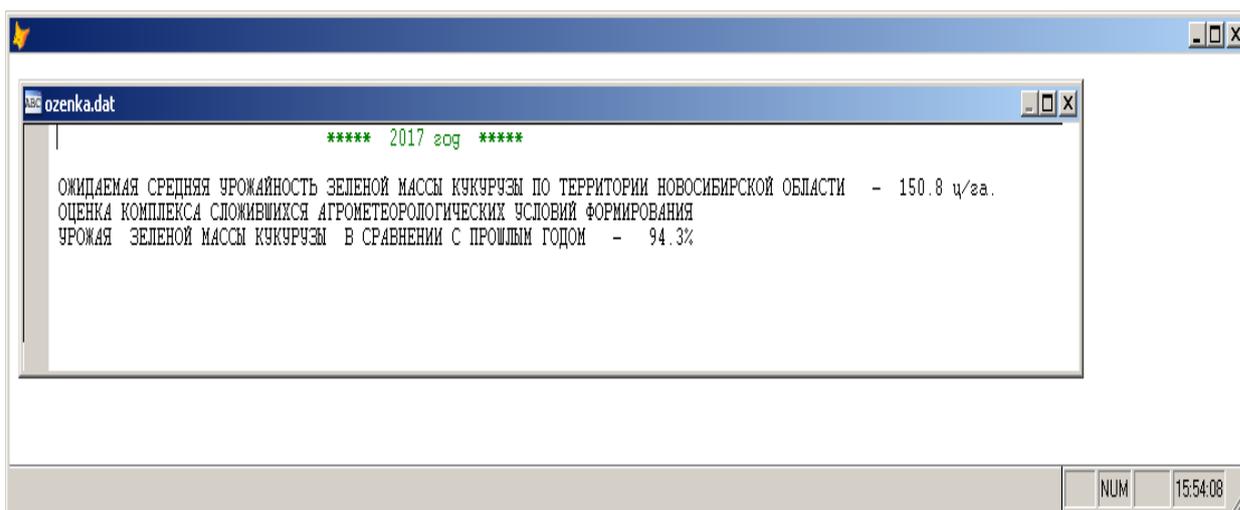


**Примечание:** в данном наборе вводится урожайность, рассчитанная по фактическим данным до конца вегетации за **предшествующий год**, выступающий в качестве года-эталона при расчёте оценок.

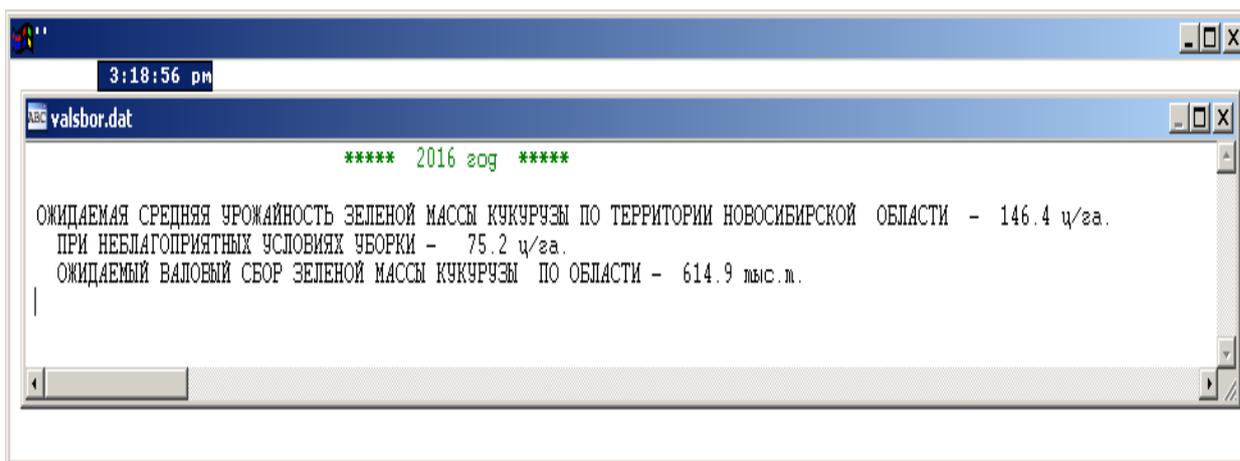
11. Далее входите в пункт меню "**Расчет оценки**" или "**Расчет прогноза**".

12. Результаты выводятся на экран и в файлы Ozenka.dat (оценка) и Valsbor.dat (прогноз урожайности).

Образ экрана при расчете **оценки**: здесь **ожидаемая урожайность, рассчитанная по сценарию « прошлый год»**.



Образ экрана при расчете **прогноза**:



## Заключение

1. Получены удовлетворительные результаты адаптации одной из версий динамико-статистической модели формирования урожая зерновых суточного разрешения «Погода-Урожай» (ВНИИСХМ, Сиротенко О.Д.), ориентированной на расчет средней урожайности зеленой массы кукурузы на силос и зеленый корм всех категорий хозяйств по территории Новосибирской области.

Оценки согласования рассчитанных на модели и фактических характеристик выхода модели по продуктивности посевов и запасам продуктивной влаги позволили апробировать ее на возможность применения в качестве средства расчетов для агрометеорологического обеспечения производства культуры на рассматриваемой территории.

2. По результатам авторских испытаний и достигнутой степени автоматизации расчетов, представляется возможным предложить для оперативных испытаний метод и технологию агрометеорологических расчетов количественной оценки комплекса сложившихся агрометеорологических условий формирования урожая зеленой массы кукурузы на конец каждой декады вегетационного периода, относительно условий прошлого года и прогноза средней урожайности по всем категориям хозяйств Новосибирской области в стандартный срок – 21-23 июля.

3. Для выполнения расчетов предлагается использовать разработанную технологическую линию, включающую пакеты программ для персонального компьютера и материалы информационного обеспечения:

- программу автоматизированного сбора информации по опорным станциям из электронной версии таблиц ТСХ-1 поступающих в ГИС МЕТЕО;
- программу расчета оценки сложившихся условий формирования урожая;
- программу расчета прогноза урожайности 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 21.07 - 10.09 для ввода данных по долгосрочному прогнозу погоды;
- инструкция по эксплуатации программного комплекса.

## 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. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. Об использовании динамических моделей для оценки агрометеорологических условий формирования урожаяев//Метеорология и гидрология.-1982.-№8.-С.95-101.
5. 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 урожаяев в аридной зоне//Труды ВНИИСХМ.-1985.-Вып.10.- С. 43-61.
6. 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 2006г.)//Труды ВНИИСХМ.-2006.-Вып.36.-С.437-440.
7. Растениеводство / Н.А.Майсурия, В.Н.Степанов, В.С.Кузнецов и др.- М.: Колос,1971.- С.165-173.
8. Агрометеорологический ежегодник. Вып.20.- Новосибирск, 1971-2014.

9. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91.-М.:Гидрометеоиздат,1991.-С.98-107.
10. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы.-Л.:Гидрометеоиздат,1969.-250с.
11. Беляева А.А.Продуктивность кукурузы на зерно в зависимости от накопления сухого вещества листостебельной массой и початками//Молодые ученые Саратова – Агропромышленному комплексу Поволжья: Сборник научных работ.- Саратов: Изд-во СГСХА,1997.-С.197-204.
12. Стрижова Ф.М., Царёва Л.Е., Титов Ю.Н. Растениеводство: Учебное пособие. - Барнаул: Изд-во Алтайского ГАУ, 2008.- С.168-179.
13. Найдина Т.А. Динамико-статистические методы прогноза урожайности кукурузы по субъектам Поволжского и Центрального федеральных округов // Труды ВНИИСХМ.-2013.Вып.38.- С.321-345.
14. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая.- Л.:Гидрометеоиздат,1977.-199с.
15. Тооминг Х.Г.Экологические принципы максимальной продуктивности посевов.- Л.:Гидрометеоиздат,1984.-263с.
16. Динамика поглощения элементов питания современными гибридами кукурузы / Р.Р. Бендер, Д.В. Хаегеле, М.Л. Руффо и др.// Агрономический Журнал.- 2013.- № 1,2.- Урбана: Изд-во университета штата Иллинойс, США (Перевод с английского и адаптация Носов В.В.).

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Научные основы методов .....	4
3. Результаты адаптации базовой модели .....	9
4. Апробация методов .....	17
5. Технология выполнения расчетов .....	19
Заключение .....	27
Список использованных источников .....	28

Исполнители:

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