

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»)

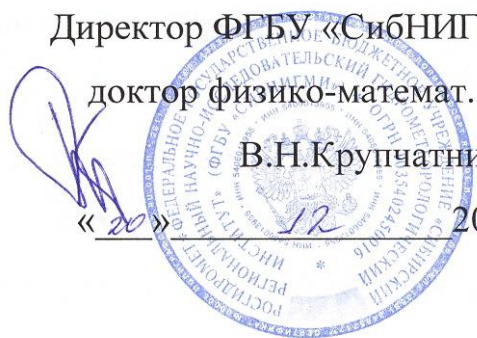
УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «СибНИГМИ»

доктор физико-математ. наук

В.Н.Крупчатников

« 20 » 12 2013 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методы прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по
отдельным муниципальным районам, ярового ячменя и овса
по Омской области

по теме 1.1.7.1:

РАЗРАБОТКА И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗОВ И
ТЕХНОЛОГИЙ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА

Новосибирск 2013

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методы прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области

(Проект)

Настоящие методические указания рекомендованы для использования в оперативной работе прогностических подразделений Обь - Иртышского УГМС при прогнозировании урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области в единые по России сроки (21-23 июня и 21-23 июля).

Предлагаемая методика разработана с использованием данных наземных наблюдений на гидрометеорологических станциях и с учетом статистических сведений об урожайности территориальной федеральной службы государственной статистике по Омской области с 1958 по 2008 годы. Методы прогнозов базируются на физико-статистических моделях.

В ходе разработки моделей изучена многолетняя динамика урожайности культур, выявлены наиболее значимые факторы и показатели формирования урожая. Опробованы алгоритмы решения задач и изучены статистические свойства ошибок прогнозов на архивном и тестовом материале по моделям каждого субъекта. Отобраны наиболее информативные факторы.

В настоящих методических указаниях изложено описание модели для прогнозирования урожайности зерновых и зернобобовых культур, ячменя и овса: методические аспекты, обоснование структуры модели и технология ее создания. Приведены результаты авторских испытаний метода на независимом материале 2009-2011 годов. Разработана автоматизированная технология расчета прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса на персональном компьютере.

Указания предназначены для специалистов агрометеорологов, занимающихся вопросами агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

Омская область – крупнейший производитель сельскохозяйственной продукции в Сибирском федеральном округе. Значительное место среди зерновых культур принадлежит яровой пшенице, овсу и ячменю. Из общего количества, производимого в округе зерна, на долю области приходится 21 %, т.е. вклад заметный. В Омской области посевная площадь занятая зерновыми культурами составляет 19,9 % от посевной площади всего округа.

Климат области характеризуется значительной континентальностью, обусловленной географическим положением ее в глубине обширного азиатского континента. Основные черты климата: продолжительная морозная зима, короткое жаркое лето, неравномерное увлажнение, частые возвраты холодов и резкое повышение температуры весной. Континентальный климат сопровождается значительной изменчивостью погодных условий, что приводит к существенным колебаниям урожайности по годам. В связи с большой зависимостью урожайности зерновых культур от условий погоды и значительных колебаниях валового сбора зерна в районах Омской области необходима современная технология, позволяющая заблаговременно прогнозировать валовой сбор зерновых и зернобобовых культур.

В системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства значительная роль отводится агрометеорологическим прогнозам урожайности сельскохозяйственных культур. Новые модели и технологии с применением персональных компьютеров обеспечивают повышение точности, устойчивости и оперативности получения результатов прогноза; способствуют повышению качества агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. По административным районам Омской области до настоящего времени не разработан метод прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур, однако потребность довольно большая. Разработка метода выполнялась с ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки составления прогноза районной урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса по Омской области.

1 Методические аспекты и обоснование структуры модели

В настоящее время отечественной агрометеорологической наукой достигнуты значительные успехи в разработке методов прогноза урожайности сельскохозяйственных культур [1-14].

Исследования по прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур в России и за рубежом ведутся в основном по трем направлениям:

1) статистическому, когда методы прогноза урожайности разрабатываются на основании учета статистических закономерностей влияния агрометеорологических условий на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур;

2) динамическому или динамико-статистическому, основанному на динамических моделях формирования урожайности, учитывающих влияние факторов внешней среды на основные процессы жизнедеятельности растений (фотосинтез, дыхание, рост и развитие);

3) синоптико-статистическому, когда прогностические схемы строят с учетом таких закономерностей атмосферной циркуляции, которые обуславливают погоду на обширной территории на длительное время (периоды).

На практике прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, как правило, ведется с учетом результатов расчетов либо по физико-статистическим, либо по динамическим моделям.

Физико-статистические модели хорошо зарекомендовали себя на практике благодаря простоте расчетов, удобству их применения и приемлемой во многих случаях успешности прогнозов.

Что касается регрессионных моделей, то методика их создания в целом отработана многолетним опытом множества коллективов ученых и практиков-агрометеорологов. Наиболее трудоемок и плохо поддается формализации начальный этап, состоящий в том, что для определенной культуры, территории и заблаговременности прогноза изучают условия роста

и формирования урожая. При этом на качественном уровне определяют главные факторы климата, среду обитания растений и культуру земледелия.

Затем составляется предварительный список вероятных факторов, в соответствии с которым отбираются данные из архивов и формируются локальные базы данных. При помощи баз данных рассчитываются корреляционные матрицы, отражающие зависимость факторов между собой и урожайностью.

При анализе матрицы отбирают главные рабочие факторы, принимая во внимание следующее: 1) они должны быть значимы с учетом объема выборки и точности измерения; 2) они должны быть, по возможности, слабо коррелированы между собой или вовсе независимы.

Отобранные таким путем факторы служат материалом для получения уравнений регрессии различной степени сложности (линейных, нелинейных, одно- и многофакторных). Если полученное уравнение обеспечивает приемлемую успешность прогноза (относительная ошибка не более 20 %) на независимых данных нескольких лет, с условием хорошей обеспеченности на зависимом материале, то процесс создания модели считается законченным. В противном случае некоторые из этапов повторяют, но меняя структуру и объем данных, а также вид уравнения.

В практике агрометеорологического прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур широко применяется подход, при котором ряды урожайности рассматриваются, как сумма двух слагаемых – детерминированной составляющей и случайных отклонений от нее.

Первая из них представляет собой функцию времени (тренд) и характеризуется как тенденцией изменения почвенно-климатических условий, так и уровням культуры земледелия, включающим в себя внедрение новых сортов, мелиоративных мероприятий и т.п. Составляющая, характеризующая отклонения урожайности от сложившейся тенденции, определяется агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет.

2 Основы метода прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса в Омской области

Исследования, проведенные сотрудниками ФГБУ «СибНИГМИ», показали, что природные условия и климатические ресурсы Омской области потенциально благоприятны для возделывания зерновых и зернобобовых культур. Однако вследствие значительной изменчивости агрометеорологических условий по времени и пространству урожайность сильно колеблется по годам и районам.

В последние годы на динамику урожайности заметно влияет специфика материально-технических условий, а также наблюдающиеся изменения регионального климата и агроклиматических ресурсов, усиление антропогенных воздействий на окружающую среду. Эти обстоятельства усложняют процедуру прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур и требуют дополнительных усилий (в частности, учета большого числа факторов) для обеспечения даже прежних требований к оправдываемости прогнозов.

Поэтому, для надежной работы и дальнейшего развития методов агрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики необходимы разработка новых методов и их систематическая корректировка.

По отдельным муниципальным районам Омской области методы прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур разработаны с использованием наземной и первый опыт применения наземной и спутниковой информации.

2.1 Метод прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области

Информация о многолетней динамике урожайности сельскохозяйственных культур на конкретных территориях представляет

значительный интерес при оценке степени продовольственной безопасности Омской области для принятия и реализации соответствующих экономических решений.

По исследуемой территории проанализированы данные урожайности зерновых и зернобобовых культур с 1958 по 2011 годы (таблица 1). Из таблицы 1 видно, что характеристики урожайности по территории и по годам заметно меняются. Самые низкие средние величины урожайности отмечены на территории Русскополянского и Черлакского районов (9,7; 9,8 ц/га соответственно), наибольшие – в Исилькульском районе (14,5 ц/га). Большая изменчивость урожайности по годам отмечается в Павлоградском, Русскополянском и Черлакском районах (41%). Относительно устойчивая динамика урожайности в Исилькульском и Калачинском районах (34 и 32 % соответственно). Коэффициент вариации по яровому ячменю и овсу составляет 33 %.

По условиям увлажнения большая часть посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в исследуемых районах Омской области расположены в зоне неустойчивого увлажнения. Вследствие часто повторяющихся засушливых явлений урожайность яровых зерновых культур сильно колеблется по годам из-за недостаточной влагообеспеченности посевов. Так, 1963 и, в большинстве районов 1965 годы, были аномально сухими на территории Омской области. На этот же год приходится минимальная урожайность. По территории Омской области минимальная урожайность колеблется от 0,5 ц/га в Одесском и Таврическом районах до 3,2 ц/га – в Исилькульском районе. По ячменю и овсу минимальная урожайность была в 1965 году (1,7 и 3,2 ц/га соответственно).

Максимальная урожайность зерновых и зернобобовых культур отмечена в большинстве районов Омской области в 2001 году и составляет в Омском районе 24,0 ц/га, Исилькульском – 26,6 ц/га, по ячменю – 22,7, овсу – 22,8 ц/га.

На рисунках А.1-А.5 представлена динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по основным муниципальным районам Омской области. Как видно из рисунков А.1 –А.5 урожайность культур имеет значительные колебания практически по всей территории.

Таблица 1 – Характеристики урожайности (ц/га) зерновых и зернобобовых культур по отдельным районам, ярового ячменя и овса по Омской области (1958-2011 годы)

| Субъект | Омский | Калачинский | Исилькульский | Ново-варшавский | Одесский | Павлоградский | Полтавский | Русскополянский | Таврический | Черлакский | Ячмень | Овес |
|----------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Средняя | 13,0 | 12,3 | 14,5 | 10,5 | 12,6 | 11,4 | 11,4 | 9,7 | 11,6 | 9,8 | 12,2 | 11,7 |
| Максимум (год) | 24 (2001) | 22,5 (2001) | 26,6 (2011) | 20,8 (1979) | 23,1 (2001) | 21,4 (2001) | 17,7 (2001) | 20,3 (1979) | 21 (1980) | 20,8 (2001) | 22,7 (2001) | 22,8 (2001) |
| Минимум (год) | 2,2 (1967) | 1,4 (1965) | 3,2 (1963) | 1,6 (1965) | 0,5 (1965) | 0,7 (1965) | 1,4 (1965) | 1,4 (1965) | 0,5 (1965) | 1,2 (1963) | 1,7 (1965) | 3,2 (1965) |
| Коэффициент вариации, % | 36 | 32 | 34 | 40 | 39 | 41 | 35 | 42 | 40 | 41 | 33 | 33 |

Влияние культуры земледелия на рост урожайности можно оценить по изменению эволюторной линии (линии тренда), характеризующей тенденцию изменения урожайности зерновых и зернобобовых культур за 1958-2011 годы.

Для анализа особенностей динамики урожайности мы применили аналитическое выравнивание рядов урожайности с использованием метода наименьших квадратов. В таблице 2 представлены уравнения линии временной тенденции урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам, ярового ячменя и овса по Омской области; n – порядковый номер года в ряду исследуемых лет (1958 год принят за 1).

Анализ тенденции урожайности зерновых культур (таблица 2) за 1958-2011 годы показывает, что зависимость урожайности от уровня культуры земледелия характеризуется наиболее высоким коэффициентом корреляции в Исилькульском ($r = 0,63$) и в Полтавском районах ($r = 0,51$). В Русскополянском районе эта зависимость наименьшая. Зависимость урожайности ячменя и овса от уровня культуры земледелия характеризуется коэффициентами корреляции, равными 0,47 и 0,53 соответственно.

Анализ линейных трендов показывает, что в последнее время идет медленный рост урожайности зерновых культур от 0,01 ц/га в Русскополянском районе до 0,20 ц/га в год в Исилькульском районе; по ячменю ежегодный рост урожайности составляет 0,12 ц/га, овсу – 0,13 ц/га.

Наибольшее изменение урожайности зерновых и зернобобовых культур по тренду на конец периода по сравнению с началом периода составляет в Исилькульском районе – 10,4 ц/га, Полтавском и Павлоградском районах 7,2 и 6,6 ц/га соответственно. Наименьшие изменения отмечены в Нововаршавском – 3,0 ц/га и Черлакском районах – 2,1 ц/га. Изменение урожайности ярового ячменя на конец периода по сравнению с началом периода составляет 6,6 ц/га, овса – 6,8 ц/га.

Таблица 2 – Уравнения линии временной тенденции урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам, ярового ячменя и овса по Омской области

| | Уравнение тренда | Коэффициент корреляции | Ошибка уравнения, ц/га | Урожайность по тренду, ц/га | | |
|-----------------|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|
| | | | | на начало периода | на конец периода | изменение за период |
| Исилькульский | $Y = 9,011 + 0,197n$ | 0,63 | 3,7 | 9,2 | 19,6 | 10,4 |
| Калачинский | $Y = 9,699 + 0,093n$ | 0,36 | 3,7 | 9,8 | 14,7 | 4,9 |
| Нововаршавский | $Y = 8,962 + 0,057n$ | 0,20 | 4,2 | 9,0 | 12,0 | 3,0 |
| Одесский | $Y = 9,930 + 0,094n$ | 0,29 | 4,7 | 10,0 | 15,0 | 5,0 |
| Омский | $Y = 9,990 + 0,106n$ | 0,35 | 4,3 | 10,1 | 15,7 | 5,6 |
| Павлоградский | $Y = 7,945 + 0,125n$ | 0,29 | 4,4 | 8,1 | 14,7 | 6,6 |
| Полтавский | $Y = 7,745 + 0,136n$ | 0,51 | 3,4 | 7,9 | 15,1 | 7,2 |
| Русскополянский | $Y = 9,289 + 0,010n$ | 0,04 | 4,2 | 9,3 | 14,7 | 5,4 |
| Таврический | $Y = 9,604 + 0,067n$ | 0,22 | 4,4 | 9,7 | 13,2 | 3,5 |
| Черлакский | $Y = 8,408 + 0,039n$ | 0,16 | 3,7 | 8,4 | 10,5 | 2,1 |
| Ячмень | $Y = 8,683 + 0,124n$ | 0,47 | 3,5 | 8,8 | 15,4 | 6,6 |
| Овес | $Y = 8,005 + 0,128n$ | 0,53 | 3,1 | 8,1 | 14,9 | 6,8 |

Примечание: n – порядковый номер года (1958 год принят за 1).

Как известно, процесс формирования урожая является интегральным и зависит от ряда факторов (свет, тепло, влага, технология возделывания, сорт и т.д.). Но наиболее изменчивым из этих факторов являются тепло и влага, поэтому прогноз урожая чаще всего основывается на количественных зависимостях урожая с теми факторами, которые в данной почвенно-климатической зоне являются лимитирующими для создания урожая [1-14].

В связи с тем, что по области возделываются в основном яровые хлеба, величина валового сбора зерновых и зернобобовых культур непосредственно связана с тепло- и влагообеспеченностью теплого периода. Недостаток влаги и избыток тепла оказывают отрицательное влияние на развитие растений.

Значимость агрометеорологических факторов для зерновых и зернобобовых культур в период роста и развития по территории Омской области не везде одинакова. При благоприятных условиях тепло- и влагообеспеченности связи урожайности зерновых и зернобобовых культур с предикторами невысокие. Недостаток или избыток какого-либо фактора, особенно в критический период развития злаковых и бобовых культур, увеличивает тесноту связи.

Влияние зимних осадков в большинстве районах Омской области незначительное. В северных районах влияние зимне-весенних осадков значительно слабее. Положительные коэффициенты корреляции имеют осадки за январь-март, как накопители влаги в почве, в засушливых районах, являющиеся необходимым ресурсом влагообеспеченности растений весной.

В мае связи урожайности зерновых и зернобобовых культур со всеми метеорологическими предикторами в основном невысокие. Очевидно, влаги, тепла зерновым и зернобобовым культурам бывает достаточно, так как в это время заканчивается сев яровых зерновых и зернобобовых культур. Наиболее высокие коэффициенты корреляции урожайности с метеорологическими предикторами в июне, июле (время прохождения основных фаз развития зерновых и зернобобовых культур).

В июне, когда идет интенсивное увеличение вегетативной массы зерновых и зернобобовых культур (растения проходят фазы – выход в трубку, колошение, образование соцветий, у бобовых цветение) потребность влаги наибольшая, однако водоснабжение растений при повышенном температурном режиме, дефиците влажности воздуха и суховейных явлениях часто бывает недостаточное, особенно в дневные часы и южных районах. Этим и вызвано повышение коэффициентов корреляции. Теснота связи урожайности в южных районах достигает до 0,54. Менее тесная связь отмечается с осадками в северных районах, поскольку осадки на данной территории не всегда являются лимитирующим фактором. Влияние температуры в июне и начале июля выражается коэффициентами корреляции 0,35...0,64.

В июле, когда потребность влаги у растений снижается, коэффициенты корреляции с осадками в северных районах составляют до 0,28, повышаясь в южных районах до 0,52. В период налива зерна (июль) особенно неблагоприятен повышенный температурный режим. По области в 1-3 года из 10 наблюдалось выпадение осадков в июле менее 80 % нормы, и температура воздуха удерживалась на 1-4 град. С выше нормы, что вызывало повышение дефицита влажности воздуха. В июле у зерновых и зернобобовых культур идет формирование и налив зерна. В это время при достаточном увлажнении крайне необходим умеренный температурный режим.

По мере роста и развития, при повышении теплового режима с мая по июнь коэффициенты корреляции урожайности зерновых культур с температурой воздуха увеличиваются от -0.28 до -0.42.

Напряженность атмосферных явлений в земледельческой зоне Омской области – частое явление, здесь температура воздуха выше нормы на 1 град. С и более наблюдается в июне в 2-3 годах, в июле - 4-5 годах из 10 лет. Дефицит влажности воздуха повышается до 10-12 гПа.

Коэффициенты корреляции урожайности с дефицитом влажности воздуха как комплексного показателя высокие за июнь и июль и имеют

отрицательный знак. Практически во всех районах довольно тесная связь отмечается с дефицитом влажности воздуха за июнь – начало июля ($r = -0.47 \dots -0.72$). В этот период у зерновых культур происходят важные для формирования урожая процессы: создается листовая поверхность, идет рост стебля, закладываются колоски. Засушливые условия в этот период могут привести к значительному снижению урожая.

Основную значимость имеют осадки теплого периода, поэтому за это время (апрель-июнь) коэффициенты корреляции урожайности с осадками увеличиваются с продвижением в более южные районы, которые чаще подвержены засушливым явлениям. При выпадении за это время осадков 70-30 % нормы вызывает снижение урожая до 6-3 ц/га.

Как показал анализ, наибольшее влияние на формирование урожайности зерновых и зернобобовых культур на рассматриваемой территории оказывают условия тепло- и влагообеспеченности в период с первой декады июня по вторую декаду июля. Это важные для растений периоды, характеризующиеся ростом стебля, дифференциацией стеблевых узлов, интенсивным приростом растительной массы, формированием и развитием колоса. Особенно следует отметить период формирования вегетативных и генеративных органов (вторая декада июня - вторая декада июля), который является критическим по требовательности растений к метеорологическим условиям.

Большую информативность имеют комплексные показатели, которые отражают как термический режим, так и условия увлажнения. В качестве основных агрометеорологических факторов, определяющих условия вегетации и формирование урожая, мы использовали гидротермический коэффициент Г.Т.Селянинова с мая по вторую декаду июля. Теснота связи урожайности зерновых и зернобобовых культур с ГТК с июня по вторую декаду июля изменяется по территории от 0,50 до 0,60.

При сопоставлении этих факторов с урожайностью оказалось, что в основном неблагоприятные агрометеорологические условия, резко

снижающие урожайность зерновых и зернобобовых культур, складываются при низких значениях ГТК за май – июнь, т.е. при возникновении засушливых явлений. В годы, когда за май – июнь ГТК равен 0.8 и выше, влагообеспеченность бывает достаточной, урожайность зерновых и зернобобовых культур, как правило, выше линии тренда.

Ячмень предъявляет повышенные требования к влагообеспеченности в начальные фазы развития – от всходов до выхода в трубку. Растения в фазу выхода в трубку очень чувствительны к обеспеченности теплом и влагой. В это время происходит формирование цветков и зачаточного колоса, интенсивный прирост растительной массы.

Овес – растение умеренного климата. В большинстве районов Омской области посев его производится, в основном, во второй декаде мая. С фазы выхода в трубку начинается интенсивное нарастание вегетативной массы, закладка репродуктивных органов. При накоплении суммы среднесуточных температур воздуха 329-458 град. С отмечается появление метелки. Это происходит обычно в середине июля. Средняя температура воздуха в это время находится в пределах оптимальной (17-20 град.С). В период выход в трубку – выметывание наиболее ярко проявляется зависимость овса от термических условий и влагообеспеченности. Особенно резко овес реагирует на недостаток влаги, который может привести к значительному снижению урожая. На большей части территории влагообеспеченность посевов в рассматриваемый период в среднем удовлетворительная.

Для территории Омской области характерны суховейные явления, особенно в ранние стадии развития растений. Они наиболее опасны, поскольку вызывают быстрое иссушение верхних слоев почвы и значительное испарение влаги с нижележащих слоев, что, в конечном итоге, отрицательно сказывается на урожае. При сложившихся засушливых явлениях весенне-летнего периода немаловажное значение имеют зимние осадки, являющиеся комплексным показателем потенциальных возможностей увлажнения почвы весной.

Несмотря на большую устойчивость к засухе по сравнению с другими злаками формирование урожая ярового ячменя и овса значительно зависит от погодных условий. Среди гидрометеорологических факторов наиболее важными и нередко лимитирующими для формирования урожая являются условия тепло- и влагообеспеченности в весенне-летний период.

Анализ полученных данных показывает, что решающими факторами погоды, определяющими величину урожая являются влагообеспеченность посевов и термический режим с третьей декады мая по вторую декаду июля. Это и закономерно, т.к. в это время идет формирование ассимиляционного аппарата, закладка колоса, элементов цветка, что предопределяет число зерен в колосе, а также создаются условия для формирования повышенной массы 1000 зерен.

На основании учета основных факторов и статистической обработки информации был получен ряд моделей, позволяющих прогнозировать урожайность с одно- и двухмесячной заблаговременностью. Разработка метода выполнялась с ориентацией на принятые в Росгидромете оперативные сроки составления прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса (таблица 3).

Таблица 3 - Физико-статистические модели для прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области

| Но- мер моде- ли | Срок составления прогноза | Вид модели | Коэффи- циент корреля- ции (R) | Ошибка модели (\pm S_y), ц/га |
|---------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Исилькульский район | | | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y = 2,562 + 0,028 OC III - V_{1,2} + 5,484 Г Т К V_3 - VII_{1,2} + 0,188 n$ | 0.80 | 2.9 |
| 2 | 21-23 июля | $Y = 17,607 + 0,041 OC V - VI_{1,2} - 1,021 D VI_3 - VII_{1,2} + 0,149 n$ | 0.89 | 2.2 |
| Павлоградский район | | | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y = 28,705 + 0,054 OC IV - VI - 1,260 Т VII_{1,2} + 0,110 n$ | 0.81 | 2.9 |
| 2 | 21-23 июля | $Y = 18,252 + 0,032 OC V - VI_{1,2} - 0,958 D VI_3 - VII_{1,2} + 0,054 n$ | 0.76 | 3.0 |
| Калачинский район | | | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y = 3,223 + 0,030 OC IV - V_{1,2} + 6,045 Г Т К V_3 - VII_{1,2} + 0,090 n$ | 0,72 | 2.8 |
| 2 | 21-23 июля | $Y = 21,868 + 0,051 OC IV - VI - 0,845 Т VII_{1,2} + 0,085 n$ | 0,78 | 2,5 |

| Продолжение таблицы 3 | | | | |
|-----------------------|------------|--|------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | Нововаршавский район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=2,148 + 0,058 \text{ OC IV} + 7,831 \text{ Г Т К V} - \text{VII}_{1,2} + 0,044 \text{ n}$ | 0.72 | 3.1 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=2,345 + 0,056 \text{ OC IV} - \text{V}_{1,2} + 6,561 \text{ Г Т К V}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,036 \text{ n}$ | 0.72 | 3.1 |
| | | Одесский район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=4,700 + 0,060 \text{ OC IV} - \text{V}_{1,2} + 4,410 \text{ Г Т К V}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,065 \text{ n}$ | 0.59 | 3.1 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=4,082 + 0,058 \text{ OC IV} - \text{VI} + 2,614 \text{ Г Т К VII}_{1,2} + 0,058 \text{ n}$ | 0.61 | 3.0 |
| | | Омский район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=39,096 + 0,029 \text{ OC III} - \text{VI}_{1,2} - 1,603 \text{ Т VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,090 \text{ n}$ | 0,74 | 3,1 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=38,802 + 0,035 \text{ OC IV} - \text{VI}_{1,2} - 1,597 \text{ Т VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,093 \text{ n}$ | 0,75 | 3,1 |
| | | Полтавский район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=3.058 + 0.045 \text{ OC IV} - \text{V}_{1,2} + 4.473 \text{ Г Т К V}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0.101 \text{ n}$ | 0.68 | 3.0 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=3,214 + 0,044 \text{ OC IV} - \text{VI} + 1,354 \text{ Г Т К VII}_{1,2} + 0,099 \text{ n}$ | 0.66 | 3.1 |
| | | Русскополянский район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=4,783 + 0,030 \text{ OC V} - \text{VI}_{1,2} + 3,583 \text{ Г Т К VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,003 \text{ n}$ | 0.63 | 3.3 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=44,406 + 0,033 \text{ OC IV} - \text{VI}_{1,2} - 1,803 \text{ Т VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,018 \text{ n}$ | 0.72 | 3.0 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|------------|---|------|-----|
| | | Таврический район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=3,262 + 0,083 \text{ OC IV} + 7,441 \text{ Г Т К V} - \text{VII}_{1,2} + 0,013 \text{ n}$ | 0.69 | 3.3 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=3,043 + 0,069 \text{ OC IV} - \text{VI}_{1,2} + 3,401 \text{ Г Т К VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,005 \text{ n}$ | 0.70 | 3.3 |
| | | Черлакский район | | |
| 1 | 21-23 июля | $Y=2,405 + 0,027 \text{ OC I} - \text{IV} + 6,299 \text{ Г Т К V} - \text{VII}_{1,2} + 0,037 \text{ n}$ | 0.65 | 2.9 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=42,485 + 0,038 \text{ OC IV} - \text{VI}_{1,2} - 1,789 \text{ Т VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,032 \text{ n}$ | 0.79 | 2.3 |
| | | Омская область. Ячмень | | |
| 1 | 21-23 июня | $Y=5,747 + 0,092 \text{ OC IV} + 1,952 \text{ Г Т К V} - \text{VI}_{1,2} + 0,108 \text{ n}$ | 0.59 | 3.0 |
| 2 | 21-23 июля | $Y=2,652 + 0,074 \text{ OC IV} + 5,979 \text{ Г Т К V} - \text{VII}_{1,2} + 0,103 \text{ n}$ | 0.73 | 2.7 |
| 3 | 21-23 июля | $Y=3,461 + 0,036 \text{ OC V} - \text{VI}_{1,2} + 3,821 \text{ Г Т К VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,106 \text{ n}$ | 0.73 | 2.8 |
| | | Омская область. Овес | | |
| 1 | 21-23 июня | $Y = 5,423 + 0,053 \text{ OC III} - \text{IV} + 1,538 \text{ Г Т К V} - \text{VII}_{1,2} + 0,113 \text{ n}$ | 0,59 | 3,0 |
| 2 | 21-23 июля | $Y = 3,046 + 0,030 \text{ OC IV} - \text{VI}_{1,2} + 3,284 \text{ Г Т К VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,109 \text{ n}$ | 0,75 | 2,5 |
| 3 | 21-23 июля | $Y = 30,124 + 0,027 \text{ OC III} - \text{VI}_{1,2} - 1,193 \text{ Т VI}_3 - \text{VII}_{1,2} + 0,109 \text{ n}$ | 0,77 | 2,4 |

Примечание: Y – урожайность зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса, ц/га;

$OC_{VII_{1,2}}$ – сумма осадков за периоды, указанные в индексе, мм (римскими цифрами в индексе указан месяц, арабскими – декада), в данном случае с первой по вторую декаду июля;

$T_{VII_{1,2}}$ – среднесуточная температура воздуха за периоды, указанные в индексе, град. С;

$D_{VII_{1,2}}$ – среднесуточный дефицит насыщения воздуха за периоды, указанные в индексе, гПа;

ГТК $VII_{1,2}$ – гидротермический коэффициент Селянинова за периоды, указанные в индексах:

$$; \quad ГТК_{VII_{1,2}} = \frac{OC_{VII_{1,2}}}{0,1 \sum T_{VII_{1,2}}}; \quad ГТК_{VI_2 - VII_2} = \frac{OC_{VI_2 - VII_2}}{0,1 \sum T_{VI_2 - VII_2}};$$

n – порядковый номер года (1958 год принят за 1).

3 Результаты авторских испытаний

Оценка успешности методов прогноза урожайности проводилась согласно “Методическим указаниям по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов” РД 52.27.284-91 [15].

Заключение о качестве метода проводилось на материалах трехлетней независимой выборки на основе двух критериев оправдываемости метода и его ошибки. Критерием оправдываемости прогнозов при заблаговременности два месяца и меньше служит допустимая погрешность, равная $0,67\Delta\sigma$, при заблаговременности прогноза более двух месяцев $0,8 \Delta\sigma$, - где $\Delta\sigma$ - среднеквадратическое отклонение прогнозируемого элемента.

В качестве погрешности прогноза принимается величина относительной ошибки:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Y}{Y_{\text{ф.ср.}}} \cdot 100\%,$$

где ΔY – абсолютная ошибка ($\Delta Y = Y_{\text{ф}} - Y_{\text{п}}$), $Y_{\text{ф}}$ – фактическая урожайность, $Y_{\text{п}}$ – прогностическая урожайность, $\bar{Y}_{\text{ф.ср.}}$ – среднее арифметическое значение фактической урожайности за последние пять лет, включая год прогноза. Заключение о целесообразности использования метода производится на основании итогов сравнения успешности прогнозов, составленных по новому методу с инерционным и климатологическим.

За период авторских испытаний (2009-2011 гг.) было проверено по 2 физико-статистические модели для каждой культуры на два срока: 21-23 июня и 21-23 июля. Результаты испытания методического прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса в Омской области приведены в таблице 4, инерционного и климатологического прогнозов в таблице 5.

Таблица 4 – Результаты испытания методического прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области

| Номер модели, год | Фактическая урожайность, ц/га | Допустимая погрешность, ц/га ($\Delta\sigma$) | Методический прогноз | | |
|----------------------------|-------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | Прогнозируемая урожайность, ц/га | Абсолютная ошибка, ц/га | Относительная ошибка, % |
| Омский район | | | | | |
| 1. 2009 | 20,7 | 3,7 | 18,8 | +1,9+ | 11,5 |
| 2010 | 15,1 | 3,8 | 17,9 | -2,8+ | 17,6 |
| 2011 | 19,1 | 3,9 | 18,7 | +0,4+ | 2,5 |
| Среднее | | | | | 10,5 |
| 2. 2009 | 20,7 | 3,7 | 19,3 | 1,4+ | 8,7 |
| 2010 | 15,1 | 3,8 | 17,6 | -2,5+ | 15,4 |
| 2011 | 19,1 | 3,9 | 18,6 | 0,5+ | 2,8 |
| Среднее | | | | | 9,0 |
| Исилькульский район | | | | | |
| 1. 2009 | 21,7 | 2,7 | 20,8 | 0,9+ | 4,6 |
| 2010 | 14,1 | 3,0 | 16,0 | -1,9+ | 10,6 |
| 2011 | 26,6 | 3,7 | 22,9 | 3,7+ | 19,4 |
| Среднее | | | | | 11,5 |
| 2. 2009 | 21,7 | 2,7 | 21,8 | -0,1+ | 0,3 |
| 2010 | 14,1 | 3,0 | 17,1 | -3,0+ | 16,4 |
| 2011 | 26,6 | 3,7 | 23,0 | 3,6+ | 18,8 |
| Среднее | | | | | 11,8 |
| Калачинский район | | | | | |
| 1. 2009 | 17,4 | 3,1 | 19,1 | -1,7+ | 12,4 |
| 2010 | 11,4 | 3,2 | 11,0 | 0,4+ | 2,8 |
| 2011 | 18,0 | 3,4 | 16,3 | 1,7+ | 11,3 |
| Среднее | | | | | 8,8 |
| 2. 2009 | 17,4 | 3,1 | 17,1 | 0,3+ | 2,3 |
| 2010 | 11,4 | 3,2 | 13,2 | -1,8+ | 13,0 |
| 2011 | 18,0 | 3,4 | 17,5 | 0,5+ | 3,5 |
| Среднее | | | | | 6,3 |

| Нововаршавский район | | | | | |
|----------------------|------|-----|------|-------|------|
| 1. 2009 | 14,6 | 3,5 | 13,7 | 0,9+ | 7,3 |
| 2010 | 8,3 | 3,7 | 9,0 | 0,7+ | 6,2 |
| 2011 | 9,7 | 3,7 | 11,9 | 2,2+ | 19,3 |
| Среднее | | | | | 10,9 |
| 2. 2009 | 14,6 | 3,5 | 13,8 | 0,8+ | 6,2 |
| 2010 | 8,3 | 3,7 | 8,7 | -0,4+ | 3,6 |
| 2011 | 9,7 | 3,7 | 11,6 | -1,9+ | 16,6 |
| Среднее | | | | | 8,8 |
| Одесский район | | | | | |
| 1. 2009 | 21,3 | 4,7 | 16,9 | 4,4+ | 27,7 |
| 2010 | 10,7 | 5,1 | 13,0 | -2,3+ | 15,1 |
| 2011 | 18,9 | 5,2 | 19,6 | -0,7+ | 4,6 |
| Среднее | | | | | 15,8 |
| 2. 2009 | 21,3 | 4,7 | 17,1 | 4,2+ | 26,4 |
| 2010 | 10,7 | 5,1 | 12,5 | -1,8+ | 12,1 |
| 2011 | 18,9 | 5,2 | 19,7 | -0,8+ | 5,3 |
| Среднее | | | | | 14,6 |
| Павлоградский район | | | | | |
| 1. 2009 | 17,8 | 3,5 | 14,7 | 3,1+ | 19,6 |
| 2010 | 11,5 | 3,7 | 13,5 | -2,0+ | 13,9 |
| 2011 | 14,4 | 3,7 | 15,6 | -1,2+ | 8,4 |
| Среднее | | | | | 14,0 |
| 2. 2009 | 17,8 | 3,5 | 14,7 | 3,1+ | 19,6 |
| 2010 | 11,5 | 3,7 | 12,2 | -0,7+ | 4,9 |
| 2011 | 14,4 | 3,7 | 14,0 | 0,4+ | 3,1 |
| Среднее | | | | | 9,2 |
| Полтавский район | | | | | |
| 1. 2009 | 14,7 | 2,7 | 14,9 | -0,2+ | 1,6 |
| 2010 | 9,5 | 2,8 | 11,6 | -2,1+ | 17,6 |
| 2011 | 17,0 | 3,1 | 14,9 | 2,1+ | 17,0 |
| Среднее | | | | | 12,1 |
| 2. 2009 | 14,7 | 2,7 | 14,5 | 0,2+ | 1,7 |

| | | | | | |
|-----------------------|------|-----|------|-------|------|
| 2010 | 9,5 | 2,8 | 11,7 | -2,2+ | 18,2 |
| 2011 | 17,0 | 3,1 | 15,0 | 2,0+ | 15,8 |
| Среднее | | | | | 11,9 |
| Русскополянский район | | | | | |
| 1. 2009 | 14,2 | 3,0 | 11,2 | 3,0+ | 27,6 |
| 2010 | 7,9 | 3,2 | 8,7 | -0,8+ | 7,6 |
| 2011 | 11,7 | 3,3 | 10,9 | 0,8+ | 7,2 |
| Среднее | | | | | 14,1 |
| 2. 2009 | 14,2 | 3,0 | 12,4 | 1,8+ | 16,6 |
| 2010 | 7,9 | 3,2 | 11,0 | -3,1+ | 29,8 |
| 2011 | 11,7 | 3,3 | 11,3 | 0,4+ | 3,7 |
| Среднее | | | | | 16,7 |
| Таврический район | | | | | |
| 1. 2009 | 20,1 | 3,2 | 17,6 | 2,5+ | 16,9 |
| 2010 | 10,7 | 3,7 | 9,5 | 1,2+ | 8,5 |
| 2011 | 16,4 | 3,8 | 16,8 | -0,4+ | 2,7 |
| Среднее | | | | | 9,4 |
| 2. 2009 | 20,1 | 3,2 | 17,9 | 2,2+ | 14,9 |
| 2010 | 10,7 | 3,7 | 9,3 | 1,4+ | 9,9 |
| 2011 | 16,4 | 3,8 | 16,7 | -0,3+ | 2,1 |
| Среднее | | | | | 9,0 |
| Черлакский район | | | | | |
| 1. 2009 | 19,7 | 3,8 | 15,4 | 3,7+ | 30,3 |
| 2010 | 12,4 | 4,1 | 12,5 | -0,1+ | 0,8 |
| 2011 | 14,9 | 4,1 | 15,3 | -0,4+ | 2,9 |
| Среднее | | | | | 11,3 |
| 2. 2009 | 19,7 | 3,8 | 17,5 | 2,2+ | 18,0 |
| 2010 | 12,4 | 4,1 | 14,8 | -2,4+ | 19,0 |
| 2011 | 14,9 | 4,1 | 14,7 | 0,2+ | 1,5 |
| Среднее | | | | | 12,8 |

Яровой ячмень по Омской области

| | | | | | |
|---------|------|-----|------|-------|------|
| 1. 2009 | 20,8 | 3,8 | 17,3 | 3,5+ | 22,4 |
| 2010 | 12 | 4,3 | 15,4 | -3,4+ | 22,7 |
| 2011 | 20,4 | 4,6 | 18,4 | 2,0+ | 12,1 |
| Среднее | | | | | 19,1 |
| 2. 2009 | 20,8 | 3,2 | 18,6 | 2,2+ | 14,3 |
| 2010 | 12 | 3,6 | 13,8 | -1,8+ | 11,9 |
| 2011 | 20,4 | 3,9 | 19,3 | 1,1+ | 7,1 |
| Среднее | | | | | 11,1 |
| 3. 2009 | 20,8 | 3,2 | 19,4 | 1,4+ | 9,1 |
| 2010 | 12 | 3,6 | 14,6 | -2,6+ | 17,3 |
| 2011 | 20,4 | 3,9 | 19,0 | 1,4+ | 8,5 |
| Среднее | | | | | 11,6 |

Овес по Омской области

| | | | | | |
|---------|------|-----|------|-------|------|
| 1. 2009 | 19,8 | 3,6 | 16,2 | 3,6+ | 16,2 |
| 2010 | 13,7 | 3,9 | 16,5 | -2,8+ | 16,6 |
| 2011 | 19,1 | 4,0 | 17,9 | 1,2+ | 17,9 |
| Среднее | | | | | 16,9 |
| 2. 2009 | 19,8 | 3,0 | 17,6 | 2,2+ | 14,0 |
| 2010 | 13,7 | 3,2 | 13,4 | 0,3+ | 1,8 |
| 2011 | 19,1 | 3,4 | 17,7 | 1,4+ | 8,5 |
| Среднее | | | | | 8,1 |
| 3. 2009 | 19,8 | 3,0 | 17,0 | 2,8+ | 17,8 |
| 2010 | 13,7 | 3,2 | 16,2 | -2,5+ | 16,4 |
| 2011 | 19,1 | 3,4 | 16,9 | 2,2+ | 13,5 |
| Среднее | | | | | 15,9 |

Таблица 5 – Результаты испытания инерционного и климатологического прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса по Омской области

| Год | Фактическая урожайность, ц/га | Инерционный прогноз | | | Климатологический прогноз | | |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Прогнозируемая урожайность, ц/га | Абсолютная ошибка, ц/га | Относительная ошибка, % | Прогнозируемая урожайность, /га | Абсолютная ошибка, ц/га | Относительная ошибка, % |
| Омский район | | | | | | | |
| 2009 | 20,7 | 12,7 | 8,0- | 49,2 | 15,4 | 5,3- | 32,5 |
| 2010 | 15,1 | 20,7 | -5,6- | 35,0 | 16,3 | -1,2+ | 7,5 |
| 2011 | 19,1 | 15,1 | 4,0- | 23,4 | 16,0 | 3,1+ | 18,1 |
| Среднее | | | | 35,9 | | | 19,4 |
| Исилькульский район | | | | | | | |
| 2009 | 21,7 | 17,6 | 4,1- | 21,7 | 18,7 | 3,0- | 15,9 |
| 2010 | 14,1 | 21,7 | -7,6- | 42,2 | 18,9 | -4,8- | 26,7 |
| 2011 | 26,6 | 14,1 | 12,5- | 69,8 | 18,0 | 8,6- | 48,0 |
| Среднее | | | | 44,6 | | | 30,2 |
| Калачинский район | | | | | | | |
| 2009 | 17,4 | 12,9 | 4,5- | 32,1 | 13,4 | 4,0- | 28,6 |
| 2010 | 11,4 | 17,4 | -6,0- | 43,5 | 14,0 | -2,6+ | 18,8 |
| 2011 | 18,0 | 11,4 | 6,6- | 44,3 | 13,8 | 4,2- | 28,2 |
| Среднее | | | | 40,0 | | | 25,2 |
| Нововаршавский район | | | | | | | |
| 2009 | 14,6 | 7,5 | 7,1- | 56,3 | 12,3 | 2,3+ | 18,3 |
| 2010 | 8,3 | 14,6 | -6,3- | 53,8 | 12,6 | -4,3- | 36,8 |
| 2011 | 9,7 | 8,3 | 1,4+ | 12,4 | 11,7 | 2,0+ | 17,7 |
| Среднее | | | | 40,8 | | | 24,3 |
| Павлоградский район | | | | | | | |
| 2009 | 17,8 | 10,9 | 6,9- | 43,7 | 15,3 | 2,5+ | 15,8 |
| 2010 | 11,5 | 17,8 | -6,3- | 43,2 | 15,8 | -4,3- | 29,5 |
| 2011 | 14,4 | 11,5 | 2,9+ | 20,7 | 14,6 | -0,2+ | 1,4 |
| Среднее | | | | 35,9 | | | 15,6 |
| Полтавский район | | | | | | | |
| 2009 | 14,7 | 9,5 | 5,2- | 40,6 | 13,3 | 1,4+ | 10,9 |
| 2010 | 9,5 | 14,7 | -5,2- | 43,0 | 12,8 | -3,3- | 27,3 |

| | | | | | | | |
|---------|------|-----|------|------|------|------|------|
| 2011 | 17,0 | 9,5 | 7,5- | 59,5 | 12,1 | 4,9- | 38,9 |
| Среднее | | | | 47,7 | | | 25,7 |

Русскополянский район

| | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 2009 | 14,2 | 6,6 | 7,6- | 71,0 | 9,4 | 4,8- | 44,9 |
| 2010 | 7,9 | 14,2 | -6,3- | 60,6 | 10,7 | -2,8+ | 26,9 |
| 2011 | 11,7 | 7,9 | 3,8- | 35,5 | 10,4 | 1,3+ | 12,1 |
| Среднее | | | | 55,7 | | | 28,0 |

Таврический район

| | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 2009 | 20,1 | 9,8 | 10,3- | 69,6 | 13,2 | 6,9- | 46,6 |
| 2010 | 10,7 | 20,1 | -9,4- | 66,7 | 14,8 | -4,1- | 29,1 |
| 2011 | 16,4 | 10,7 | 5,4- | 37,0 | 14,1 | 2,3+ | 15,8 |
| Среднее | | | | 57,8 | | | 30,5 |

Черлакский район

| | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 2009 | 19,7 | 8,9 | 10,8- | 88,5 | 10,3 | 9,4- | 77,0 |
| 2010 | 12,4 | 19,7 | -6,3- | 50,0 | 12,2 | 0,2+ | 1,6 |
| 2011 | 14,9 | 12,4 | 2,5+ | 18,3 | 12,6 | 2,3+ | 16,8 |
| Среднее | | | | 52,3 | | | 31,8 |

Одесский район

| | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 2009 | 21,3 | 8 | 13,3- | 83,6 | 14,8 | 6,5- | 40,9 |
| 2010 | 10,7 | 21,3 | 10,6- | 71,1 | 15,9 | -5,2- | 34,9 |
| 2011 | 18,9 | 10,7 | 8,2- | 54,3 | 14,9 | 4,0+ | 26,5 |
| Среднее | | | | 69,7 | | | 34,1 |

Яровой ячмень по Омской области

| | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 2009 | 20,8 | 11,7 | 9,1- | 58 | 14,9 | 5,9- | 37,6 |
| 2010 | 12 | 20,8 | -8,8- | 58,3 | 15,7 | -3,7- | 24,5 |
| 2011 | 20,4 | 12 | 8,4- | 52,2 | 15,1 | 5,3- | 32,9 |
| Среднее | | | | 55,7 | | | 31,7 |

Овес по Омской области

| | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 2009 | 19,8 | 13,4 | 6,4- | 41,4 | 14,7 | 5,1- | 32,5 |
| 2010 | 13,7 | 19,8 | -6,1- | 39,6 | 15,7 | 2,0+ | 13,0 |
| 2011 | 19,1 | 13,7 | 5,4- | 33,1 | 15,4 | 3,7- | 22,7 |
| Среднее | | | | 38,0 | | | 22,7 |

Средняя ошибка методических прогнозов урожайности ярового ячменя на 21-23 июня составила 19,1 %, на 21-23 июля – 11,1 - 11,6 %; овса – на 21-23 июня - 16,9 %, на 21-23 июля 8,1-15,9 %. Средняя ошибка методических прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам Омской области, в основном, колеблется от 6,3 % до 14,0 %. Средние ошибки инерционного и климатологического прогнозов по ячменю 55,7 и 31,7 % соответственно, по овсу – 38,0 и 22,7 % соответственно; по муниципальным районам колеблется от 35,9 до 69,7 %, что значительно выше ошибок методических прогнозов.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов по новому методу по величине допустимой погрешности ($\Delta\sigma$) позволила выявить число оправдавшихся прогнозов (таблица 6). По муниципальным районам Омской области все методические прогнозы зерновых и зернобобовых культур оправдались. Оправдываемость методических прогнозов составила 100 %, инерционных прогнозов – от 0 до 33,3 % и климатологических прогнозов от 0 до 66,7 %. Анализ результатов выявил преимущество нового метода. Оправдываемость методических прогнозов урожайности ярового ячменя и овса составила 100 %, инерционных и климатологических по ячменю 0 -33,3 %, по овсу – 33,3 %.

Таким образом, большинство представленных моделей за период авторских испытаний обеспечены хорошими результатами. Оправдываемость методических прогнозов значительно выше оправдываемости климатологических и инерционных прогнозов, а средние ошибки методических прогнозов ниже ошибок инерционных и климатологических прогнозов.

На основании этого можно сделать заключение, что разработанные нами методы прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса имеют явные преимущества и могут быть рекомендованы для производственного испытания в прогностическом подразделении Обь-Иртышского УГМС.

Таблица 6 - Результаты авторского испытания методов прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам, ячменя и овса по Омской области за 2009 - 2011 годы (по $\Delta\sigma$)

| Район (культура) | № модели | Кол-во прогнозов | | Оправдываемость прогнозов, % | | | Относительная ошибка прогнозов, % | | |
|------------------|----------|------------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------------------|-------------|-------------------|
| | | составлено | оправдилось | методические | инерционные | климатологические | методические | инерционные | климатологические |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Исилькульский | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 0 | 11.5 | 44.6 | 30.2 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 11.8 | 44.6 | 30.2 |
| Калачинский | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 8.8 | 40.0 | 25.2 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 6.3 | 40.0 | 25.2 |
| Нововаршавский | 1 | 3 | 3 | 100 | 33,3 | 66,7 | 10.9 | 40.8 | 24.3 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 8.8 | 40.8 | 24.3 |
| Одесский | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 15.8 | 69.7 | 34.1 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 14.6 | 69.7 | 34.1 |
| Омский | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 66,7 | 10.5 | 35.9 | 19.4 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 9.0 | 35.9 | 19.4 |
| Павлоградский | 1 | 3 | 3 | 100 | 33,3 | 66,7 | 14,0 | 35.9 | 15.6 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 9.2 | 35.9 | 15.6 |
| Полтавский | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 12.1 | 47.7 | 25.7 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 11.9 | 47.7 | 25.7 |

Продолжение таблицы 6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|---|---|---|-----|------|------|------|--------------|--------------|
| Русскополянский | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 14,1 | 55,7 | 28,0 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 16,7 | 55,7 | 28,0 |
| Таврический | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 9.4 | 57.8 | 30.5 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 9.0 | 57,8 | 30,5 |
| Черлакский | 1 | 3 | 3 | 100 | 33,3 | 66,7 | 11,3 | 52.3 | 31.8 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | | | 12.8 | 52,3 | 31,8 |
| Предварительный Ячмень | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 19.1 | 55.7 55,7 | 31,7 31,7 |
| Уточненный Ячмень | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 0 | 11.1 | 55.7 | 31,7 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | 0 | 0 | 11.6 | 55.7 | 31,7 |
| Предварительный Овес | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 16.9 | 38.0 38,0 | 22,7 22,7 |
| Уточненный Овес | 1 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 8.1 | 38.0 | 22,7 |
| | 2 | 3 | 3 | 100 | 0 | 33,3 | 15.9 | 38.0 | 22,7 |

4 Технология расчета прогнозов урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам, ячменя и овса по Омской области на персональном компьютере

Программа предназначена для автоматизация расчета прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам на 21-23 июля и расчета прогнозов среднеобластной урожайности ярового ячменя и овса по Омской области на 21-23 июня (предварительный прогноз) и 21-23 июля (уточненный прогноз).

1. Запуск программы:

1.1 Скопируйте файл <З-боб_ячм_овес-Омск.xls> на компьютер.

1.2 Создайте на экране и запустите ярлык <З-боб_ячм_овес-Омск.xls >.

1.3 Или откройте файл З-боб_ячм_овес-Омск.xls.

2. Перейдите на лист <Ввод данных>.

На данном листе находятся 2 таблицы для ввода исходных данных:

2.1 Для расчета прогнозов урожайности, введите год составления прогноза и данные о сумме осадков, средней температуре воздуха по декадам и среднесуточном дефиците насыщения воздуха (гПа).

2.2 Для расчета оценок прогнозов урожайности, введите фактическую урожайность и площадь посева (для расчета валового сбора) для зерновых и зернобобовых культур по районам Омской области и средне областную урожайность и площадь посева ячменя и овса. При вводе данных желтым цветом подсвечиваются предыдущие 5 лет для расчета оценок.

Как только ввели данные и год, сразу же автоматически рассчитаются все таблицы.

| Введите год | | Сумма осадков | | | | | | | | | | | | Ср. суточная температура по декадам за апрель-июль | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|---|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|--|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| № | Наименование района | Наименование станции | Сумма осадков | | | | | | | | | | | | Ср. суточная температура по декадам за апрель-июль | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 01 | 02 | 03 | 04/1 | 04/2 | 04/3 | 05/1 | 05/2 | 05/3 | 06/1 | 06/2 | 06/3 | 07/1 | 07/2 | 07/3 | 4/1 | 4/2 | 4/3 | 5/1 | 5/2 | 5/3 | 6/1 | 6/2 | 6/3 | 7/1 | 7/2 |
| | | | январь | февраль | март | апрель | | | май | | | июнь | | | июль | | | апрель | | | май | | | июнь | | | июль | |
| 1 | Омский | Омск | 3,2 | 20,4 | 25,5 | 8,5 | 27,7 | 28,1 | 0,0 | 8,0 | 14,6 | 17,7 | 9,7 | 9,1 | 10,1 | 55,2 | 14,5 | 1,3 | 11,0 | 8,9 | 10,2 | 11,8 | 13,6 | 19,2 | 18,7 | 20,1 | 17,4 | 17,4 |
| 2 | Калачинский | Калачинск | 2,9 | 14,5 | 15,0 | 3,2 | 19,3 | 11,0 | 0,7 | 9,3 | 21,4 | 24,4 | 6,5 | 10,2 | 9,0 | 50,7 | 4,2 | 1,0 | 11,2 | 8,8 | 9,6 | 11,8 | 13,5 | 19,8 | 18,6 | 19,4 | 17,1 | 16,9 |
| 3 | Исилькульский | Исилькуль | 2,9 | 19,1 | 25,7 | 0,6 | 3,1 | 22,5 | 0,0 | 7,3 | 32,6 | 20,7 | 30,5 | 15,3 | 8,3 | 54,7 | 15,5 | -0,2 | 9,4 | 8,6 | 10,5 | 11,8 | 12,8 | 19,0 | 17,8 | 19,0 | 16,9 | 17,4 |
| 4 | Тавричинский | Тавричинск | 5,0 | 25,0 | 20,0 | 4,0 | 20,0 | 13,0 | 0,0 | 9,0 | 17,0 | 38,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 50,0 | 4,0 | 1,3 | 11,0 | 8,9 | 10,2 | 11,8 | 13,6 | 19,2 | 18,7 | 20,1 | 17,4 | 17,4 |
| 5 | Полтавский | Полтавка | 3,7 | 22,3 | 28,2 | 2,7 | 5,4 | 26,8 | 0,4 | 7,6 | 18,5 | 10,3 | 10,2 | 48,0 | 5,1 | 15,7 | 5,0 | 0,5 | 11,3 | 9,4 | 11,2 | 12,3 | 13,5 | 19,2 | 18,8 | 19,6 | 18,2 | 17,4 |
| 6 | Одесский | Одесское | 3,7 | 20,9 | 22,0 | 4,5 | 10,6 | 19,9 | 0,3 | 7,2 | 46,6 | 19,2 | 2,8 | 27,6 | 9,5 | 50,8 | 0,5 | 0,8 | 11,2 | 9,2 | 10,3 | 12,1 | 14,0 | 19,8 | 19,3 | 19,7 | 18,1 | 17,4 |
| 7 | Павлоградский | Павлоградка | 4,6 | 26,8 | 17,7 | 4,8 | 10,1 | 8,7 | 0,0 | 4,5 | 18,0 | 4,8 | 1,2 | 7,6 | 8,2 | 88,2 | 0,3 | 1,4 | 11,6 | 9,5 | 10,2 | 11,8 | 14,3 | 19,5 | 19,7 | 19,9 | 18,1 | 17,4 |
| 8 | Черлакский | Черлак | 6,4 | 16,2 | 16,9 | 6,8 | 6,7 | 6,0 | 0,0 | 3,3 | 18,0 | 22,6 | 5,2 | 3,0 | 5,5 | 61,0 | 5,0 | 2,3 | 12,5 | 10,0 | 10,0 | 12,0 | 14,9 | 20,0 | 20,1 | 20,6 | 18,4 | 18,4 |
| 9 | Нововаршавский | Нововаршавка | 6,0 | 20,0 | 22,0 | 9,0 | 6,0 | 8,0 | 0,0 | 2,0 | 15,0 | 15,0 | 0,0 | 4,0 | 8,0 | 60,0 | 4,0 | 2,3 | 12,5 | 10,0 | 10,0 | 12,0 | 14,9 | 20,0 | 20,1 | 20,6 | 18,4 | 18,4 |
| 10 | Русскополянск | Русская Поляна | 5,6 | 17,6 | 15,5 | 6,7 | 7,0 | 10,2 | 0,3 | 2,1 | 23,9 | 15,9 | 1,6 | 24,1 | 20,5 | 35,1 | 2,4 | 2,3 | 12,3 | 10,1 | 10,7 | 12,4 | 14,8 | 20,2 | 20,3 | 20,1 | 18,8 | 18,8 |
| Среднее по обл. | | | 4,4 | 20,3 | 20,9 | 5,1 | 11,6 | 15,4 | 0,2 | 6,0 | 22,6 | 18,9 | 7,4 | 15,5 | 9,0 | 52,1 | 5,5 | 1,3 | 11,4 | 9,3 | 10,3 | 12,0 | 14,0 | 19,6 | 19,2 | 19,9 | 17,9 | 17,9 |
| Введите фактическую урожайность и площадь посева | | | Желтым цветом выделены 5 лет для оценки | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Зерновые и зернобобовые культуры по районам Омской области | | | | | | | | | | | | | | Областные данные | | | | | | | | | | | | | | |
| 2011 | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | |
| | Омский | Калачинский | Исилькульский | Тавричинский | Полтавский | Одесский | Павлоградский | Черлакский | Нововаршавский | Русскополянск | пшеница по | з-боб по Омской | ячмень по Омской | овес по Омской | | | | | | | | | | | | | | |
| Год | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | урожай-ность | площ. посева | ср. обл урожай-ность | площ. посева | ср. обл урожай-ность | площ. посева | ср. обл урожай-ность | площ. посева | ср. обл урожай-ность | площ. посева |
| 2000 | 11,7 | | 13,4 | | 16,0 | | 6,8 | | 7,4 | | 8,2 | | 7,6 | | 7,9 | | 5,4 | | 4,5 | | 9,2 | | | | 11,0 | | | |
| 2001 | 24,0 | | 22,5 | | 23,9 | | 15,9 | | 17,7 | | 23,1 | | 21,4 | | 20,8 | | 17,2 | | 14,5 | | 19,2 | | | | 22,7 | | | |
| 2002 | 16,5 | | 13,4 | | 17,9 | | 11,1 | | 13,7 | | 13,2 | | 13,8 | | 13,5 | | 12,1 | | 10,1 | | 12,5 | | | | 16,9 | | | |
| 2003 | 13,3 | | 11,3 | | 18,0 | | 10,1 | | 15,5 | | 13,9 | | 13,8 | | 9,6 | | 10,9 | | 9,4 | | 11,9 | | | | 15,6 | | | |
| 2004 | 16,2 | | 14,5 | | 20,6 | | 12,3 | | 17,1 | | 15,9 | | 15,4 | | 10,4 | | 13,2 | | 7,7 | | 14,2 | | | | 16,5 | | | |
| 2005 | 16,3 | | 12,3 | | 18,9 | | 14,0 | | 13,3 | | 15,7 | | 17,1 | | 10,2 | | 12,8 | | 9,3 | | 13,5 | | | | 15,1 | | | |
| 2006 | 13,5 | | 12,5 | | 21,2 | | 13,9 | | 14,6 | | 17,8 | | 17,7 | | 9,2 | | 11,7 | | 10,3 | | 13,7 | | | | 15,5 | | | |
| 2007 | 18,1 | | 14,7 | | 15,3 | | 16,0 | | 12,1 | | 16,7 | | 15,3 | | 12,8 | | 16,3 | | 13,1 | | 15,0 | | 15,2 | 16,0 | 15,6 | 16,0 | 15,0 | |
| 2008 | 12,7 | | 12,9 | | 17,6 | | 9,8 | | 9,5 | | 8,0 | | 10,9 | | 8,9 | | 7,5 | | 6,6 | | 10,9 | | 11,2 | 17,0 | 11,7 | 17,0 | 10,9 | |
| 2009 | 20,7 | | 17,4 | | 21,7 | | 20,1 | | 14,7 | | 21,3 | | 17,8 | | 19,7 | | 14,6 | | 14,2 | | 18,5 | | 18,9 | 18,0 | 20,8 | 18,0 | 18,5 | |
| 2010 | 15,1 | | 11,4 | | 14,1 | | 10,7 | | 9,5 | | 10,7 | | 11,5 | | 12,4 | | 8,3 | | 7,9 | | 11,6 | | 11,8 | 19,0 | 12,0 | 19,0 | 11,6 | |
| 2011 | 19,1 | 1,0 | 18,0 | 2,0 | 20,6 | 3,0 | 16,4 | 4,0 | 17,0 | 5,0 | 18,9 | 6,0 | 14,4 | 7,0 | 14,9 | 8,0 | 9,7 | 9,0 | 11,7 | 10,0 | 16,8 | 10,0 | 17,3 | 40,0 | 20,4 | 20,0 | 16,8 | 30,0 |
| 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. Все прогнозы урожайности сведены в 3 таблицы и находятся на листе <Прогнозы> и занимают 1, 2, 3 страницы.

Первая страница:

Прогнозы урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам Омской области

срок составления 21-23 июля 2011 года

| Районы Омской области | Площадь посева в 2011 году (га) | Прогнозируемая урожайность (ц/га) Модель 1 | Валовый сбор (ц) Модель 1 | Прогнозируемая урожайность (ц/га) Модель 2 | Валовый сбор (ц) Модель 2 |
|------------------------------|--|---|----------------------------------|---|----------------------------------|
| Омский | 1,0 | 18,7 | 18,7 | 18,6 | 18,6 |
| Калачинский | 2,0 | 16,3 | 32,6 | 17,5 | 35,0 |
| Исилькульский | 3,0 | 22,9 | 68,8 | 22,7 | 68,1 |
| Тавриченский | 4,0 | 16,8 | 67,2 | 16,7 | 66,9 |
| Полтавский | 5,0 | 14,9 | 74,4 | 15,1 | 75,3 |
| Одесский | 6,0 | 19,6 | 117,6 | 20,5 | 122,9 |
| Павлоградский | 7,0 | 15,6 | 109,0 | 14,0 | 98,0 |
| Черлакский | 8,0 | 15,3 | 122,2 | 14,8 | 118,0 |
| Нововаршавский | 9,0 | 11,9 | 106,8 | 11,6 | 104,7 |
| Русскополянский | 10,0 | 10,9 | 109,4 | 11,4 | 113,5 |

Вторая страница:

**Прогнозы среднеобластной урожайности ячменя, овса
по Омской области 21-23 июня (1-й срок) в 2011 г.**

| Культура | Площадь посева в 2011 году (га) | Прогнозируемая урожайность (ц/га) Модель 1 | Валовый сбор (ц) Модель 1 | Прогнозируемая урожайность (ц/га) Модель 2 | Валовый сбор (ц) Модель 2 |
|-----------------|--|---|--|---|--|
| Ячмень | 20,0 | 18,5 | 369,8 | | |
| Овес | 30,0 | 17,9 | 537,3 | | |

Третья страница:

**Прогнозы среднеобластной урожайности ячменя, овса
по Омской области 21-23 июля (2-й срок) в 2011 г.**

| Культура | Площадь посева в 2011 году (га) | Прогнозируемая урожайность (ц/га) Модель 1 | Валовый сбор (ц) Модель 1 | Прогнозируемая урожайность (ц/га) Модель 2 | Валовый сбор (ц) Модель 2 |
|-----------------|--|---|--|---|--|
| Ячмень | 20,0 | 19,2 | 384,4 | 19,1 | 381,8 |
| Овес | 30,0 | 17,7 | 531,1 | 16,9 | 507,6 |

4. Все оценки прогнозов урожайности сведены в 3 таблицы и находятся на листе <Оценки> и занимают 3 страницы.

Первая страница:

Оценка прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам Омской области

срок составления 21-23 июля 2011 года

| Районы Омской области | Фактическая урожайность в 2011 году ц/га | Площадь посева в 2011 году (га) | Прогнозируемая урожайность Модель 1 (ц/га) | Абсолютная ошибка Модель 1 (ц/га) | Относительная ошибка Модель 1 (%) | Прогнозируемая урожайность Модель 2 (ц/га) | Абсолютная ошибка Модель 2 (ц/га) | Относительная ошибка Модель 2 (%) |
|-----------------------|--|---------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Омский | 19,1 | 1,0 | 18,7 | 0,4 | 2,5 | 18,6 | 0,5 | 2,9 |
| Калачинский | 18,0 | 2,0 | 16,3 | 1,7 | 11,3 | 17,5 | 0,5 | 3,4 |
| Исилькульский | 20,6 | 3,0 | 22,9 | -2,3 | 13,0 | 22,7 | -2,1 | 11,7 |
| Тавриченский | 16,4 | 4,0 | 16,8 | -0,4 | 2,8 | 16,7 | -0,3 | 2,2 |
| Полтавский | 17,0 | 5,0 | 14,9 | 2,1 | 16,9 | 15,1 | 1,9 | 15,4 |
| Одесский | 18,9 | 6,0 | 19,6 | -0,7 | 4,6 | 20,5 | -1,6 | 10,5 |
| Павлоградский | 14,4 | 7,0 | 15,6 | -1,2 | 8,3 | 14,0 | 0,4 | 2,9 |
| Черлакский | 14,9 | 8,0 | 15,3 | -0,4 | 2,7 | 14,8 | 0,1 | 1,1 |
| Нововаршавский | 9,7 | 9,0 | 11,9 | -2,2 | 19,2 | 11,6 | -1,9 | 17,2 |
| Русскополянский | 11,7 | 10,0 | 10,9 | 0,8 | 7,1 | 11,4 | 0,3 | 3,3 |

Вторая страница:

Оценка прогнозов урожайности овса, ячменя по Омской области 21-23 июня (1-й срок) в 2011г.

| Культура | Фактическая урожайность в 2011 году ц/га | Площадь посева в году (га) | Прогнозируемая урожайность Модель 1 (ц/га) | Абсолютная ошибка Модель 1 (ц/га) | Относительная ошибка Модель 1 (%) | Прогнозируемая урожайность Модель 2 (ц/га) | Абсолютная ошибка Модель 2 (ц/га) | Относительная ошибка Модель 2 (%) |
|----------|--|----------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Ячмень | 20,4 | 20,0 | 18,5 | 1,9 | 11,9 | | | |
| Овес | 16,8 | 30,0 | 17,9 | -1,1 | 7,6 | | | |

Третья страница:

Оценка прогнозов урожайности овса, ячменя по Омской области 21-23 июля (2-й срок) в 2011г.

| Культура | Фактическая урожайность в 2011 году ц/га | Площадь посева в году (га) | Прогнозируемая урожайность Модель 1 (ц/га) | Абсолютная ошибка Модель 1 (ц/га) | Относительная ошибка Модель 1 (%) | Прогнозируемая урожайность Модель 2 (ц/га) | Абсолютная ошибка Модель 2 (ц/га) | Относительная ошибка Модель 2 (%) |
|----------|--|----------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Ячмень | 20,4 | 20,0 | 19,2 | 1,2 | 7,3 | 19,1 | 1,3 | 8,1 |
| Овес | 16,8 | 30,0 | 17,7 | -0,9 | 6,2 | 16,9 | -0,1 | 0,8 |

5. Для детального просмотра и контроля прогнозов урожайности по районам области, прогнозы размещены на 10 листах (по названиям районов Омской области), лист <Ячменя ср.обл>-прогноз среднеобластной урожайности ячменя за 2 срока, и лист <Овес ср.обл>- прогноз среднеобластной урожайности овса за 2 срока.

Например:

**Прогноз урожайности зерновых и зернобобовых культур по Исилькульскому району Омской области
срок составления 21-23 июля 2011 г.**

| Наименование ГМС | | Сумма выпавших осадков, мм | | | | | | | | | | | Средняя температура воздуха С° | | | | | | ГТК V ₃ -VII ₂ | Тренд | | | |
|---------------------|---|----------------------------|--------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----------------------------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|---|-------|--------|------|---|
| | | Март | Апрель | Май | | | Июнь | | | Июль | | Сумма III-V ₂ | Сумма V-VI ₂ | Сумма V ₃ -VII ₂ | Май | | | Июль | | | Июль | | Сумма V ₃ -VII ₂ |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | | | | 1 | 2 | 2 | | | | 1 | 2 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Исилькуль | | 25,7 | 26,2 | 0,0 | 7,3 | 32,6 | 20,7 | 30,5 | 15,3 | 8,3 | 54,7 | 59,2 | 91,1 | 162,1 | 10,5 | 11,8 | 12,8 | 18,6 | 16,9 | 17,1 | 1038,8 | 1,56 | 54 |

| Ср. суточный дефицит насыщения воздуха, гПа | | | | | | Прогнозируемая урожайность зерновых и зернобобовых культур (ц/га) 1) и 2) модель | Валовый сбор (ц) |
|--|-----|-----|------|-----|---|---|------------------------|
| Июнь | | | Июль | | Сред- ний VI ₃ -VII ₂ | | |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | | 30 | 31 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 7,6 | 7,6 | 7,2 | 7,1 | 5,4 | 6,6 | 22,9 | 68,8 |
| | | | | | | 22,7 | 68,1 |

6. Для быстрого перехода по листам подведите мышь в левый нижний угол и нажмите правую клавишу. Высветится следующее меню:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table titled "Прогноз среднеобластной урожайности ячменя по Омской области 2-й срок 21-23 июля на 2011 год". The table includes columns for precipitation, temperature, and yield. A context menu is open in the bottom-left corner, listing various sheets: "Ввод данных", "Прогнозы", "Оценки", "Пшеница ср.обл", "Э-боб ср.обл", "Ячмень ср.обл" (selected), "Овес ср.обл", "Омский", "Калачинский", "Исилькульский", "Тавриченский", "Полтавский", "Одесский", "Павлоградский", "Черлакский", "Все листы...".

| Наименование ГМС | Сумма выпавших осадков, мм | | | | | | | Средняя температура воздуха С° | | | | | | | Тренд | Прогнозируемая урожайность ячменя (ц/га) 1) и 2) модель | Валовый сбор (ц) | | |
|------------------|----------------------------|------|-----|------|-------|-------------|--------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------|--------------|-------|---|------------------|-----------|------------|
| | Май | Июнь | | Июль | | Сумма v-v12 | Сумма v2-v12 | Май | Июнь | | | Июль | Сумма v-v12 | Сумма v2-v12 | | | | ГТК v-v12 | ГТК v2-v12 |
| | | 3 | 1 | 2 | 4 | | | | 5 | 6 | 7 | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 48 | 19 | 20 |
| Средне- | 28,8 | 15,5 | 9,0 | 52,1 | 131,6 | 76,7 | 12,1 | 19,6 | 19,2 | 19,9 | 17,9 | 17,5 | 1316,0 | 533,3 | 1,00 | 1,39 | 54 | 19,2 | 384,4 |
| областные данные | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19,1 | 381,8 |

Выберите переход на нужный лист.

7. Каждый лист можно распечатать на принтере.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a print dialog box open. The spreadsheet in the background contains a forecast table for grain yield in the Omsk region for 2011. The print dialog is open, showing printer settings for 'HP LaserJet 5P'.

Print Dialog Settings:

- Принтер: HP LaserJet 5P
- Состояние: Свободен
- Тип: HP LaserJet 5P
- Порт: LPT1:
- Заметки:
- Печать в файл:
- Печатать: все, страницы с: [] по: []
- Вывести на печать: выделенный диапазон, всю книгу, выделенные листы, список
- Копии: Число копий: 1
- Разобрать по копиям:

Spreadsheet Data (Forecast Table):

| Наименование ГМС | Сумма выпавших осадков, мм | | | | | Средняя температура воздуха С° | | | | | Сумма v-v/2 | Сумма v2-v/2 | ГТК v-v/2 | ГТК v2-v/2 | Тренд | Прогнозируемая урожайность ячменя (ц/га) 1) и 2) модель | Валовый сбор (ц) | | |
|------------------|----------------------------|------|------|------|-------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------|--------------|-----------|------------|-------|---|------------------|------|-------|
| | Май | | Июль | | | Май | | Июль | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | |
| Средне- | 28,8 | 15,5 | 9,0 | 52,1 | 131,6 | 76,7 | 12,1 | 19,6 | 19,2 | 19,9 | 17,9 | 17,5 | 1316,0 | 553,3 | 1,00 | 1,39 | 54 | 19,2 | 384,4 |
| областные данные | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19,1 | 381,8 |

8. Закройте Excel

5 Методы прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам Омской области с использованием наземной и спутниковой информации

В данном разделе рассмотрены и разработаны модели прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур для десяти муниципальных районов Омской области. Модели включают наряду со стандартными агрометеорологическими параметрами (осадки, температура и дефицит насыщения воздуха) новые спутниковые данные дистанционного зондирования.

Функционирование сельскохозяйственного производства в силу своей природы подвержено значительным рискам. По мере развития производства минимизация этих рисков требует все более эффективного инструментария. Важной составляющей такого рационального землепользования необходимой на всех этапах от разработки и внедрения программ страхования до применения эффективных технологий внесения удобрений, является информация. Источником такой информации стали в последнее десятилетие новые модули спутникового зондирования поверхности земли способные измерять и обрабатывать различные участки спектра. Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности, показатель количества активной биомассы и самый распространенный среди подобных ему индексов, используется, как в исследовательских, так и коммерческих проектах, связанных с дистанционным зондированием поверхности земли и растительного покрова. Данные по этому индексу, получаемые по всей территории России с реальной регулярностью 3-4 раза в неделю и разрешением 250 м были накоплены и архивированы с 2000 года и дали начало новому направлению исследований. В [17] дается краткий обзор теоретических и прикладных разработок этого направления, проводимых в Институте космических исследований РАН. Методом поиска аналогов временного хода вегетационных индексов разработаны автоматизированные

методы мониторинга и анализа состояния посевов в любом регионе России и оперативной и объективной оценки последствий воздействия на посевы негативных факторов. Технология представления данных позволяет строить карты отклонений вегетационного индекса от среднемноголетних значений для любого административного района. Возможно построение графиков временной изменчивости значений индекса для указанной точки земной поверхности. Приводятся конкретные примеры использования спутникового мониторинга состояния посевов на уровне страны и отдельных субъектов РФ.

Еще одно направление применения вегетационного индекса вместе со стандартными данными агрометеорологических наблюдений рассматривается в статье [18], в которой получена новая технология оценки урожайности озимых культур с помощью регрессионных моделей. Ежедекадный расчет урожайности проводился по нескольким областям Северо-Кавказского, Приволжского и Центрально-Черноземного регионов. В среднем ошибка расчета не превышала 10 %. Как утверждают авторы, данная технология будет использоваться во ВНИИСХМ и УГМС Росгидромета при оперативном обеспечении сельского хозяйства.

В обзорной работе [19] для обнаружения и предсказания засухи рассматриваются методы, основанные на данных дистанционного зондирования. По этим данным строятся индексы и сравниваются возможности их применения для различных регионов мира. В обзоре дана оценка методам предсказания засух, в которых используются и традиционные данные приземных агрометеорологических измерений. Особое внимание уделяется методам, в которых состояние растительности определяется путем комбинирования данных тепловых и отражательных спектральных каналов и в конечном итоге делается вывод, что использование индексов, в том числе и ночных тепловых съемок, обеспечивает непосредственное распознавание засухи, не требует наземных метеорологических данных и является экономически выгодным.

В [20] используется вегетационный индекс для прогнозирования урожайности зерновых культур по модели [21] EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator), разработанной и примененной для оценки влияния эрозии на продуктивность почв более чем в 60 странах Азии, Южной Америки и Европы. Модель, состоящая из большого количества компонент и имитирующая прирост биомассы в процессе фотосинтеза в зависимости от поступления питательных веществ и погоды, была адаптирована к условиям Западной Сибири и Урала. Согласно тексту статьи данная технология предполагает использование архивных снимков поверхности земли за предыдущие годы для определения в различных агроклиматических зонах региона тестовых полей достаточной площади и конфигурации для расчета на период вегетации зерновых культур в текущий год вегетационного и листового индексов. Выполняются ежедневные расчеты биопродуктивности яровых зерновых культур по модифицированной методике EPIC с корректировкой расчетных значений листового индекса (LAI) на основе спутниковой оценки вегетационного индекса. Периодичность коррекции не менее 2-х раз неделю с учетом разреженной облачности на период до начала спада листового индекса связанного с естественным увяданием листового покрова зерновых культур. На основании метеоданных и космического мониторинга по модифицированной модели рассчитывают основные параметры культуры (биомасса, листовый индекс, вес корня, высота растений) и прогнозируют сроки биологического созревания зерновых культур и оптимальные сроки начала уборки. Прогноз урожайности для различных зерновых культур выдается за месяц до начала уборки с точностью до 1-2 ц/га.

В [22] также используют модифицированную модель [20] в которую введены климатические характеристики, включающие такие параметры как максимальную и минимальную температуру воздуха, суммарные суточные осадки, относительную влажность воздуха, среднюю скорость ветра, суммарную солнечную радиацию, полученные за 23 года по 32

метеостанциям Новосибирской области. К ним были добавлены усредненные значения NDVI в рамках отдельных полей яровой пшеницы 15-ти административных районов Новосибирской области. Подтверждение прогноза урожайности яровой пшеницы в хозяйствах Новосибирской области в 2005 году составило – 88 %, в 2006 г. – 82 % , в 2007 г. – 97 %, в 2008 – 84 %, а среднерайонной урожайности в 2008 г. – 85 %. Интересным является вывод о том, что методом сравнительного анализа по индексу вегетации, можно идентифицировать зерновые культуры, однолетние и многолетние травы, поля под паром и степень их засоренности.

В работе [23] авторы заменили в своей динамической модели прогноза урожайности рассчитанную относительную площадь листьев посевов на значения измеренного вегетационного индекса NDVI, получив усовершенствованную модель, с помощью которой сделали следующие выводы – величина NDVI достаточно адекватно отражает ход фотосинтеза всех сельскохозяйственных культур; использование NDVI в блоке расчета фотосинтеза в действующей модели прогнозирования урожайности яровой пшеницы дало положительные результаты; замена теоретической кривой сезонного хода фотосинтеза на измеренные значения вегетационного индекса, привела к повышению оправдываемости в годы с экстремальными условиями. Полученные результаты дают основание утверждать, что вегетационный индекс NDVI может быть использован как во вновь создаваемых динамических моделях прогнозирования урожайности, так и в действующих моделях для их усовершенствования.

В [24-25] подробно описана созданная в ИКИ РАН технология построения автоматизированной системы хранения спутниковой информации с общим объём архива 8 терабайт. В качестве исходных данных в архиве используются ежедневные данные TERRA/MODIS, содержащие, как правило, достаточно большое количество пикселей, непригодных для анализа состояния растительности. К ним относятся в первую очередь пиксели, в которых поверхность закрыта облачностью или снежным покровом, а также

пиксели, расположенные на краях скана и имеющие достаточно большие геометрические искажения. Решение данной проблемы найдено путем осреднения данных за некоторый промежуток времени. На базе такого архива в [24] рассмотрена система дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса СДМЗ АПК, созданная для информационной поддержки Министерства сельского хозяйства РФ. Система предоставляет возможность сравнением динамики состояния растительности в различные годы находить год аналог текущему году и по его данным давать оценку ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур в нужном сезоне. Дополнительно для поиска года аналога можно привлекать архив климатических данных.

В [26] проводилось подспутниковое обследование тестовых полей для накопления информации необходимой для определения эмпирической зависимости связывающей спектральные характеристики полей с их ожидаемой урожайностью. Оказалось, что спектральные характеристики трансформируются к одному из вегетационных индексов, а тестирование ряда вегетационных индексов на данных по потенциальной биологической урожайности тестовых полей яровой пшеницы в Северном Казахстане показало наличие существенной прогностической зависимости урожайности от выбранного вида вегетационного индекса. Делается вывод об актуальности наземного обследования зерновых полей для уточнения оптимальных видов вегетационных индексов, для правильного соответствия между спектральными характеристиками пшеницы и ее состоянием. Наилучшие результаты в рамках наземных спектрометрических обследований были получены с Relation Vegetation Index (RVI), Difference Vegetation Index (DVI) и Weighted Difference Vegetation Index (WDVI).

В [27] приведен пятилетний опыт применения спутниковой съемки при оперативном мониторинге зернового производства в Северном Казахстане на территории 10 млн. гектар посевов яровых зерновых культур с помощью данных EOS/MODIS и наземных обследований. Для прогноза

урожайности, тесно связанного с фитосанитарным состоянием пшеницы, проводилась дополнительная калибровка спутниковой информации. Для этого из данных наземного обследования выделялись параметры, влияющие на ожидаемую продуктивность (плотность продуктивных стеблей, размер колоса, число колосков, их озерненность и др.), и проводился корреляционный анализ основных типов вегетационных индексов (NIR, DVI, RVI, PVI, WdVI, IPVI, NDVI, SAVI, GEMI). Вегетационный индекс, оптимальный для условий текущего года, использовался для прогноза урожайности. При этом учитывалась оценка степени засоренности и ее влияние на продуктивность зерновых культур.

В качестве примера использования вегетационного индекса NDVI в ЕС можно привести материалы регулярного бюллетеня [28], издающегося по проекту Европейской комиссии MARS (Monitoring Agricultural ResourceS), в котором регулярно публикуются точные и своевременные прогнозы ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур по территории союза и других стратегических регионов мира. Технология системы AGRI4CAST, оперативно работающая с 1992 года, в состоянии контролировать весь вегетационный период таких культур как, зерновые, масличные, белковые, сахарной свеклы, картофеля, рис, пастбища, способна реагировать на эффекты краткосрочного метеорологического воздействия. Эффективность системы обеспечивают данные дистанционного зондирования и метеорологических наблюдений, агрометеорологическое моделирование и статистический анализ.

5.1 Описание данных

Два спутника, запущенные на полярные орбиты в 1999 году Terra и Aqua с установленным на борту модулем MODIS с периодичностью не более 2 дней и разрешением не лучше 250 м сканируют всю поверхность земли в 36 спектральных диапазонах. В числе прочих характеристик рассчитывается вегетационный индекс по формуле

$$ndvi = \frac{nir-red}{nir+red},$$

где nir - отражение в ближней инфракрасной области спектра (диапазон волн 0,7-1,0 мкм), red - отражение в красной области спектра (диапазон волн 0,6-0,7 мкм). Выбор этих спектральных каналов обусловлен тем, что в красном диапазоне спектра растительность имеет наименьшее отражение, а в ближнем ИК-диапазоне спектра – самое высокое отражение по сравнению с другими природными объектами. То есть, для растительности в хорошем состоянии характерно падение спектральной кривой в красном диапазоне и резкий подъем в ближнем ИК-диапазоне. Процессы фотосинтеза высших растений таковы, что поглощение хлорофиллом солнечной радиации максимально в красной области спектра, а максимум отражения листьями растений находится в инфракрасной области.

Сезонный ход вегетационного индекса отражает фазы вегетации яровых зерновых культур. Максимальная скорость роста кривой функции вегетационного индекса приходится на фазы кущение и выход в трубку-23 неделя, нижний узел соломины-24 неделя, колошение и цветение-27 неделя. Далее фазы молочная спелость-29 неделя, восковая спелость и полная спелость-32 неделя и уборка-37 неделя. Максимум среднего многолетнего хода кривой ndvi приходится на 29 неделю. Между фазами кущения и колошения происходит максимальное поступление азота в растения яровой пшеницы, за 25 – 30 дней накапливается 50 – 60 % азота [29]. Всего к колошению растения формируют 50 – 60 % сухой массы, азота накапливается 70 – 80 %. В этот период происходит формирование генеративных клеток, дифференциация органов колоса, в частности цветков в колосе. Потребление воды по фазам развития яровой пшеницы распределяется следующим образом. В фазе кущения - 5-7 % общего потребления воды за весь вегетационный период, в фазе выхода растений в трубку и колошения 50-60, молочного состояния зерна 20-30 и восковой спелости 3-5 %. Этими биологическими особенностями продиктован выбор

агрометеорологических параметров и интервалов их временного суммирования при построении моделей прогноза урожайности.

Введем новую характеристику $Pndvi$. Пусть функция $v=v(t)$ описывает изменение индекса по времени, тогда определим новый признак как

$$Pndvi = \int_{t_1}^{t_2} v(x) dx,$$

где t_1, t_2 время начала фаз кущения и колошения, соответственно. Предполагается, что этот признак более точно учитывает как значение индекса и скорость его изменения, так и продолжительность межфазных переходов.

Отметим, что вся информация по вегетационному индексу была взята из архива данных ИКИ РАН.

5.2 Постановка задачи, метод решения

Пусть $f(x,w)$ — параметрическое семейство функций, задающее отображение

$$f : W \times X \rightarrow Y,$$

где w — принадлежит W — пространство параметров, x — принадлежит X — пространство свободных переменных, Y — пространство зависимых переменных. Регрессионную модель зададим в предположении, что функция f зависит линейно от вектора $w = \{w_{1j}, \dots, w_{Nj} \mid w \text{ принадлежит } R^J\}$,

$$y = f(x,w) = \sum_{j=1}^J w_j g_j(x),$$

где J — размерность вектора параметров, а N — длина ряда наблюдений. Зависимость функций g_j от вектора свободной переменной x может быть нелинейной. Обучение модели проходит на заданной выборке $y = \{y_1, \dots, y_N \mid y \text{ принадлежит } R\}$, $x = \{x_{1j}, \dots, x_{Nj} \mid x \text{ принадлежит } R^J\}$. Параметры регрессионных моделей находились с помощью метода наименьших квадратов, среда программирования MATLAB.

Для оценки связей между случайными величинами и оценки качества разработанных моделей использовались некоторые стандартные характеристики:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2, \sigma = \sqrt{D},$$

$$r = \frac{1}{N\sigma_1\sigma_2} \sum_{i=1}^N (y_{1i} - \bar{y}_1)(y_{2i} - \bar{y}_2),$$

где \bar{y} - среднее арифметическое значение выборки, N - длина ряда выборки,

y_i - значения ряда выборки, D - дисперсия, σ - стандартное (или среднее

квадратичное) отклонение, r - коэффициент корреляции, σ_1, σ_2 -

стандартные отклонения первой и второй переменных соответственно, y_{1i} ,

y_{2i} - значения переменных первой и второй выборки, \bar{y}_1, \bar{y}_2 - средние

значения переменных первой и второй выборки.

Выборочное значение (по данным наблюдений) критерия Стьюдента t^*

$$t^* = \frac{|r|}{\sigma_r}, \quad \sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}}$$

где σ_r - средняя квадратичная погрешность расчета коэффициента корреляции r.

5.3 Разработка и оценка полученных моделей прогноза

Нововаршавский район

Для построения модели в качестве независимых параметров среди агрометеорологических данных были выбраны осадки (временной интервал I - 20VII, коэффициент корреляции $r=0,80$) и дефицит насыщения воздуха (временной интервал I - 20VII, коэффициент корреляции $r=-0,71$). Выборка этих данных вместе с данными Pndvi показана на рисунке 3.13.

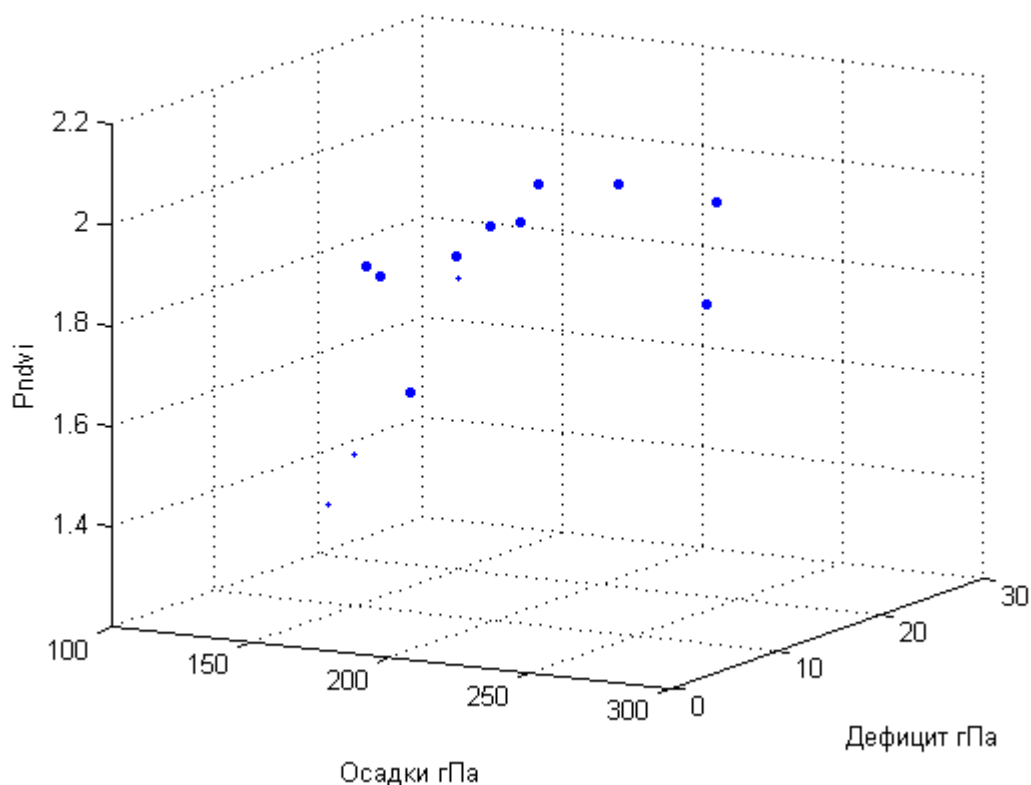


Рисунок 3.13 - Выборка агрометеорологических данных и значений Pndvi

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак осадки) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$7.29 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от осадков

$$y = 0.05x_2 + 1.91.$$

График этой зависимости представлен на рисунке 3.14. Коэффициент детерминации модели равен 0.64, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($19.3 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.001 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

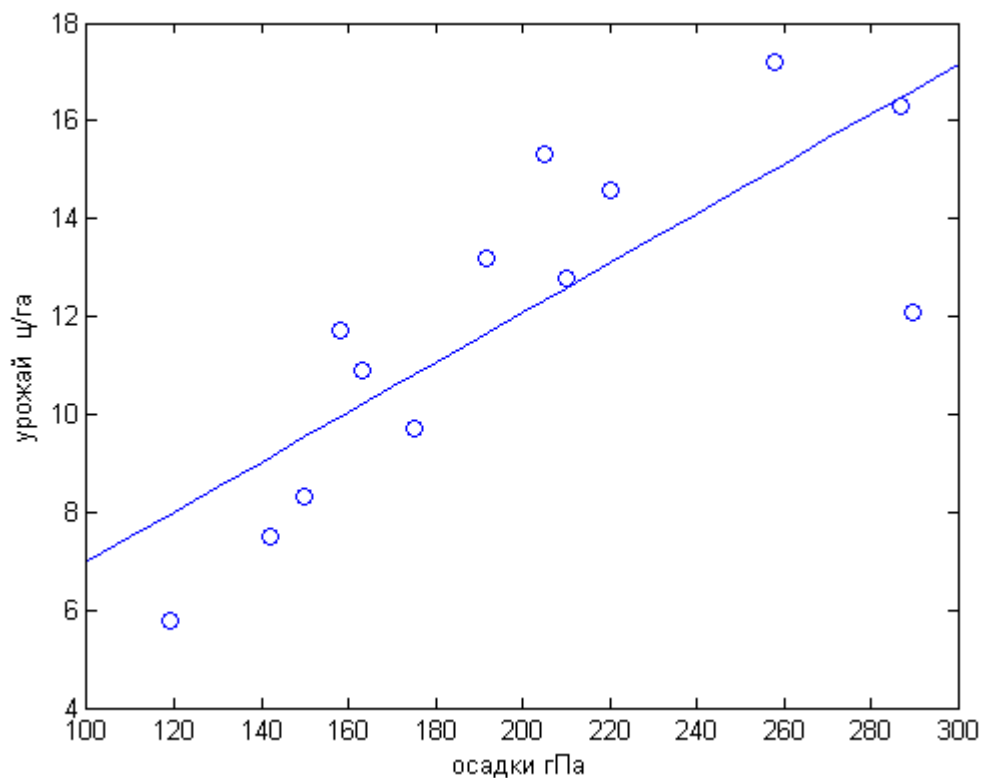


Рисунок 3.14 - Линейная регрессионная модель зависимости урожайности от осадков в Нововаршавском районе

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от осадков и дефицита насыщения воздуха

$$y = 0.04x_2 - 0.24x_3 + 6.92.$$

График этой зависимости представлен на рисунке 3.15.

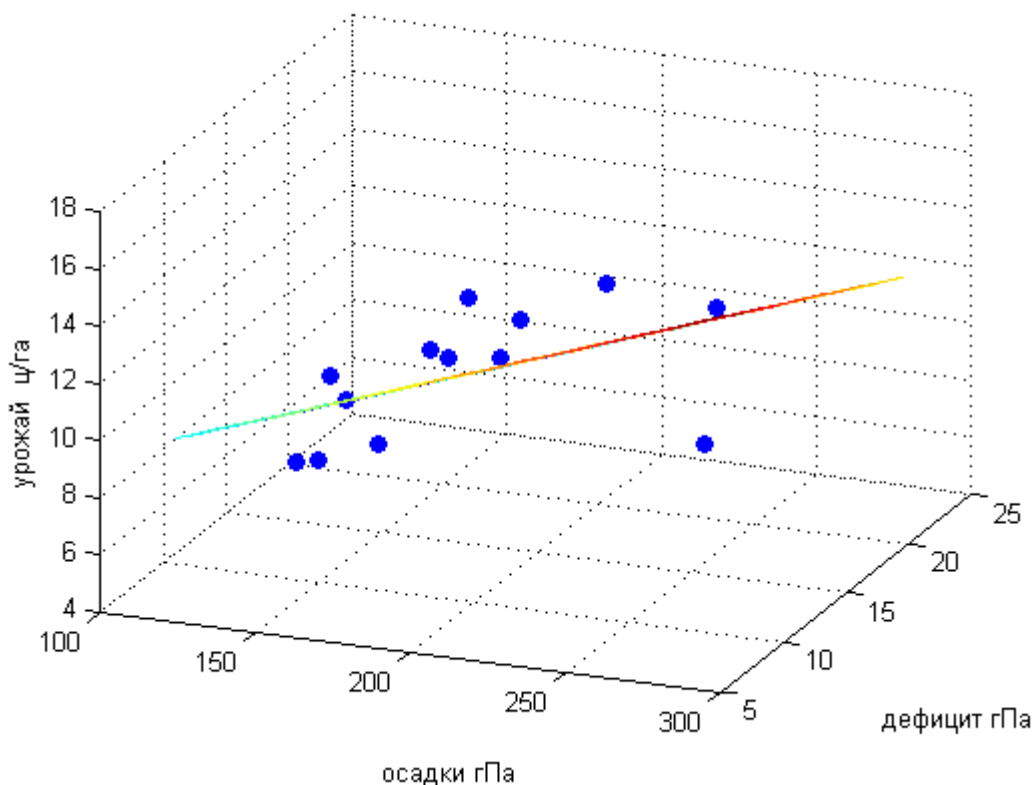


Рисунок 3.15 - Линейная регрессионная модель зависимости урожайности от осадков и дефицита насыщения воздуха в Нововаршавском районе

Коэффициент детерминации модели равен 0.69, что практически приближается к требуемой границе 0.70. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($11.3 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.002 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. И, наконец, включим в модель еще один параметр интегральный индекс P_{ndvi} , рассчитываемый по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров осадков, дефицита и индекса P_{ndvi} будет следующей

$$y = 0.01x_2 - 0.22x_3 + 10.45x_4 - 6.29.$$

Поскольку качество модели резко возросло, остановимся на ней подробнее. Коэффициент детерминации вырос до 0.92, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Можно сказать и по - другому - это единица минус доля необъяснённой дисперсии (дисперсии случайной ошибки модели, или условной по факторам дисперсии зависимой переменной) в дисперсии зависимой переменной. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($35.5 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассчитываемой статистике Фишера равен 0.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев [8]. Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |5.42 - 5.8| = 0.38 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.5$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |14.86 - 15.3| = 0.44 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.5.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{0.38}{10.7} 100 + \frac{0.44}{10.7} 100 \right) = \frac{1}{2} (3.5 + 4.1) = 3.8 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 9.7 ц/га и 5.8 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 63 %. Такая ошибка объяснима с учетом

аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз) дает на эти два года 10.4 ц/га и 10.0 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 46 %.

Черлакский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем температуру (временной интервал VI - 20VII, коэффициент корреляции $r = -0,83$) и дефицит насыщения воздуха (временной интервал VI - 20VII, коэффициент корреляции $r = -0,69$). К ним добавим данные по вегетационному индексу $Pndvi$.

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак температура) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$8.97 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая обратная связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры

$$y = -2,4x_2 + 59,3.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.69, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($24.7 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень

значимости 0.0004 значительно меньший задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и дефицита насыщения воздуха

$$y = - 2.71x_2 + 0.26x_3 + 62.35.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.70, что совпадает с требуемой границей. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($11.4 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.002 значительно меньший задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. И, наконец, включим в модель еще один параметр интегральный индекс Pndvi, рассчитываемый по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, дефицита и индекса Pndvi будет следующей

$$y = - 0.91x_2 + 0.26x_3 + 13.99x_4 + 0.41.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу привело к повышению качества модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.82, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($13.9 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассматриваемой статистике Фишера равен 0.001.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^e|$ с контрольной выборкой $\{y_i^e, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |5.74 - 7.8| = 2.06 < 0.67\sigma = 0.67 \cdot 4.2 = 2.8$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |18.19 - 17.2| = 1.0 < 0.67\sigma = 0.67 \cdot 4.2 = 2.8.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{2.06}{14.4} 100 + \frac{1.0}{14.4} 100 \right) = 10 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 14.9 ц/га и 7.8 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 63 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз) дает на эти два года 12.8 ц/га и 12.7 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 33 %.

Полтавский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем также как и для Черлакского района температуру (временной интервал I - 20.VII, коэффициент корреляции $r = -0,76$) и дефицит насыщения воздуха (временной интервал 21.VI - 20.VII, коэффициент корреляции $r = -0,80$). К ним добавим данные по вегетационному индексу P_{ndvi} .

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак температура) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости

α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$7.6 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая обратная связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = - 1.12x_2 + 24.13.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.65, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($20.2 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.0009 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и дефицита насыщения воздуха

$$y = - 0.58x_2 - 0.75x_3 + 32.10.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.70, что совпадает с требуемой границей. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($11.2 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.003 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Далее включим в модель еще один параметр интегральный индекс $Pndvi$, рассчитываемый по

вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, дефицита и индекса Pndvi будет следующей

$$y = -0.31x_2 - 0.39x_3 + 12.5x_4 - 0.30.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило значимость модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.92, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($35.8 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассчитываемой статистике Фишера равен 0.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^e|$ с контрольной выборкой $\{y_i^e, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^e| = |7.003 - 7.0| = 0.003 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.3 = 2.2$$

$$|y_i^f - y_i^e| = |15.84 - 15.7| = 0.143 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.2 = 2.2.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{0.003}{12.8} 100 + \frac{0.143}{12.8} 100 \right) = 0.6 \%$$

Отметим, что это самая лучшая относительная ошибка среди 10 районов области. Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 17.0 ц/га и 7.0 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 79 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = - 0.355x + 726.021$$

дает на эти два года 11.8 ц/га и 11.7 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 36 %.

Павлоградский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем также как и для Полтавского района температуру (временной интервал I - 20.VII, коэффициент корреляции $r = -0,65$) и дефицит насыщения воздуха (временной интервал 21.VI - 20.VII, коэффициент корреляции $r = -0,75$). К ним добавим данные по вегетационному индексу P_{ndvi} .

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак температура) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$5.63 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая обратная связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = - 1.09x_3 + 24.37.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.56, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($20.2 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.01 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Как видим статистические показатели по Фишеру получилась намного хуже чем для модели предыдущего района и это должно повлиять на среднюю относительную ошибку конечной многофакторной модели.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и дефицита насыщения воздуха

$$y = - 0.50x_2 - 0.83x_3 + 31.79.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.59, что ниже требуемой границей 0.70 и указывает на недостаточность числа независимых переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($7.2 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.01 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Как видим, включение еще одного параметра не улучшило статистику Фишера, она осталась такой же низкой как и в модели с одним параметром. Далее включим в модель еще один параметр интегральный индекс Pndvi, рассчитываемый по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, дефицита и индекса Pndvi будет следующей

$$y = - 0.62x_2 + 0.19x_3 + 18.3x_4 - 10.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.82, а это доля дисперсии зависимой

переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($18.6 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассматриваемой статистике Фишера равен 0.0003. Статистика модели от трех независимых переменных стала значительно лучше по сравнению с моделью от двух переменных.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |7.38 - 7.9| = 0.52 < 0.67\sigma = 0.67 \cdot 3.5 = 2.3$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |14.98 - 16.2| = 1.22 < 0.67\sigma = 0.67 \cdot 3.2 = 2.2.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{0.52}{13.6} 100 + \frac{1.22}{13.6} 100 \right) = 6.4 \%$$

Средняя относительная ошибка возросла на порядок (0.6 % и 6.4 %) по сравнению с результатом. Как видим, по уровню оценок статистик Фишера для одно и двух параметрических моделей можно, по крайней мере качественно, давать оценку относительной ошибки трех параметрической модели. Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 14.4 ц/га и 7.9 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 54 %. Такая ошибка объяснима с

учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = - 0.4143x + 846.333$$

дает на эти два года 12.8 ц/га и 12.3 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 36 %.

Русско-Полянский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем температуру (временной интервал I - 20.VII, коэффициент корреляции $r=-0,79$) и коэффициент ГТК (временной интервал VI - 20.VII, коэффициент корреляции $r=0,69$). К ним добавим данные по вегетационному индексу $Pndvi$.

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак температура) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$6.9 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая обратная связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = - 1.26x_2 + 34.83.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.62, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($18.1 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.001 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и коэффициента ГТК

$$y = - 0.99x_2 + 1.35x_3 + 28.25.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.65, что ниже требуемой границей 0.70 и указывает на недостаточность числа независимых переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($9.2 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.006 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Далее включим в модель еще один параметр интегральный индекс Pndvi, рассчитываемый по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, коэффициента ГТК и индекса Pndvi будет следующей

$$y = - 0.34x_2 - 0.36x_3 + 10.53x_4 - 1.30.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.85, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($16.8 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассчитываемой статистике Фишера равен 0.0005. Статистика модели от трех независимых переменных стала значительно лучше по сравнению с моделью от двух переменных.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012г.) и второго (2013г.) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |5.31 - 6.0| = 0.69 < 0.67\sigma = 0.67 * 2.9 = 2.0$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |12.35 - 14.0| = 1.65 < 0.67\sigma = 0.67 * 2.9 = 2.0.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{0.69}{10.8} 100 + \frac{1.65}{10.8} 100 \right) = 10.8 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 11.7 ц/га и 6.0 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 64 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = -0.0418x + 94.178$$

дает на эти два года 10.1 ц/га и 10.0 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 37 %.

Таврический район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем осадки (временной интервал I - 20VII, коэффициент корреляции $r=0,78$) и дефицит насыщения (временной интервал 11-20VII, коэффициент корреляции $r=-0,61$). К ним добавим данные по вегетационному индексу $Pndvi$.

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак осадки) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$6.7 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = 0.10x_2 + 8.32.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.61, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($17.5 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.001 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от осадков и дефицита насыщения

$$y = 0.08x_2 - 0.21x_3 + 10.98.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.66, что ниже требуемой границей 0.70 и указывает на недостаточность числа независимых переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($9.6 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.005 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Далее включим в модель еще один параметр интегральный индекс Pndvi, рассчитываемый по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, дефицита насыщения и индекса Pndvi будет следующей

$$y = 0.02x_2 - 0.045x_3 + 16.15x_4 - 19.05.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.82, а это доля дисперсии зависимой

переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($13.9 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассматриваемой статистике Фишера равен 0.001.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |6.76 - 7.1| = 0.34 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.7 = 2.5$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |15.85 - 17.5| = 1.64 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.7 = 2.5.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{0.34}{14.4} 100 + \frac{1.64}{14.4} 100 \right) = 6.9 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 16.4 ц/га и 7.1 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 68 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = 0.0995x - 186.143$$

дает на эти два года 14.0 ц/га и 14.15 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 36 %.

Исилькульский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем температуру (временной интервал I - 20.VI, коэффициент корреляции $r = - 0,65$) и дефицит насыщения (временной интервал 21.VI - 20.VII, коэффициент корреляции $r = - 0,65$). К ним добавим данные по вегетационному индексу P_{ndvi} .

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак температура) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$3.7 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = 1.24x_2 + 42.85.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.42, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($8.0 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.01 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и дефицита насыщения

$$y = - 0.71x_2 - 0.64x_3 + 38.17.$$

Коэффициент детерминации модели равен 0.48, что ниже требуемой границей 0.70 и указывает на недостаточность числа независимых

переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($4.6 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.005 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05 . Как видим, данные статистики Фишера близки к границам доверительного интервала. Отметим, что в этом эксперименте получилась самая слабая статистика Фишера, посмотрим, сможет ли ее поправить включение в модель спутниковых данных и как это скажется на средней относительной ошибке при прогнозе на контрольных данных. Далее включим в модель еще один параметр интегральный индекс Pndvi, рассчитываемый по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, дефицита насыщения и индекса Pndvi будет следующей

$$y = - 0.429x_2 + 0.068x_3 + 20.586x_4 - 16.015.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.88 , а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($22.3 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассчитываемой статистике Фишера равен 0.0002 . Включение спутниковых данных резко улучшило статистику Фишера.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |13.73 - 15.1| = 1.36 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.6 = 2.4$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |18.27 - 19.9| = 1.62 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.6 = 2.4.$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{1.36}{19.5} 100 + \frac{1.62}{19.5} 100 \right) = 7.6 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 26.6 ц/га и 15.1 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 42 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = -0.1159x + 251.972$$

дает на эти два года 18.7 ц/га и 18.6 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 13 %.

Одесский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем температуру (временной интервал I - 20.VI, коэффициент корреляции $r = -0,65$) и дефицит насыщения (временной интервал 21.VI - 20.VII, коэффициент корреляции $r = -0,73$). К ним добавим данные по вегетационному индексу $Pndvi$.

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак дефицит насыщения) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$5.1 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = - 1.45x_2 + 28.38$$

Коэффициент детерминации модели довольно низкий 0.53, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($12.5 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.005 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и дефицита насыщения

$$y = - 0.39x_2 - 1.19x_3 + 33.71.$$

Коэффициент детерминации модели практически остался таким же низким 0.54, что намного ниже требуемой границей 0.70 и указывает на недостаточность числа независимых переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($5.8 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.02 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Как видим, данные статистики Фишера близки к границам доверительного интервала. Посмотрим, что даст включение в модель еще одного параметра интегрального индекса $Pndvi$, рассчитываемого по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, дефицита насыщения и индекса $Pndvi$ будет следующей

$$y = - 0.532x_2 + 0.206x_3 + 21.423x_4 - 18.823.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения.

Коэффициент детерминации вырос до 0.84, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($15.83 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости в рассматриваемой статистике Фишера равен 0.0006.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012г.) и второго (2013г.) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |4.66 - 6.9| = 2.24 < 0.67\sigma = 0.67 * 4.8 = 3.2$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |18.99 - 17.6| = 1.39 < 0.67\sigma = 0.67 * 4.8 = 3.2$$

Тогда оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{2.24}{15.1} 100 + \frac{1.39}{15.1} 100 \right) = 12.0 \%$$

Отметим, что это самая большая относительная ошибка из проведенных 10 серий прогнозов. Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 18.9 ц/га и 6.9 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 75 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = - 0.3225x + 662.674$$

дает на эти два года 13.8 ц/га и 18.6 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 36 %.

Калачинский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем температуру (временной интервал

VI-20VII, коэффициент корреляции $r = -0,61$) и осадки (временной интервал IV - 20VII, коэффициент корреляции $r = -0,63$). К ним добавим данные по вегетационному индексу Pndvi.

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак осадки) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$3.5 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = 0.06x_2 + 6.16.$$

Коэффициент детерминации модели самый низкий 0.40, что указывает на недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($7.4 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.02 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и осадков

$$y = 0.04x_2 - 0.88x_3 + 25.30.$$

Коэффициент детерминации модели увеличился 0.50, но остался низким и намного ниже требуемой границы 0.70 и, тем самым, указывает на недостаточность числа независимых переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($4.9 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.03 значительно меньше задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Как видим, данные статистики Фишера близки к границам доверительного интервала. Посмотрим, что даст включение в модель еще одного параметра интегрального индекса $Pndvi$, рассчитываемого по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, осадков и индекса $Pndvi$ будет следующей

$$y = 0.005x_2 + 0.190x_3 + 16.052x_4 - 23.712.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.81, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($12.4 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости Фишера равен 0.001.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |9.96 - 12.3| = 2.34 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.4 = 2.2$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |17.43 - 18.2| = 0.76 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.4 = 2.2$$

Впервые получаем неоправдавшийся прогноз на 2012год, ошибка превысила нормативную величину 0.67σ . Оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 50 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \left(\frac{0.76}{15.5} 100 \right) = 5.0 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 18.0 ц/га и 12.3 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 38 %. Такая ошибка объяснима с учетом

аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = - 0.0176x + 50.011$$

дает на эти два года 14.6 ц/га и 14.6 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 19 %.

Омский район

В качестве независимых параметров модели среди агрометеорологических данных выберем температуру (временной интервал VI-20VII, коэффициент корреляции $r = - 0,74$) и осадки (временной интервал I - IV, коэффициент корреляции $r = - 0,74$). К ним добавим данные по вегетационному индексу P_{ndvi} .

Вначале построим однофакторную модель (независимый признак осадки) и оценим ее качество. Проверку значимости r проведем с помощью критерия Стьюдента, выборочное значение t^* которого, рассчитаем по формулам (2) и сравним с $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5 %, а число степеней свободы $\nu = N-2$, где N длина выборки. Так как

$$5.5 = t^* > t_{кр} = 2.20,$$

то коэффициент корреляции r значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от дефицита насыщения

$$y = 0.10x_2 + 8.67.$$

Коэффициент детерминации модели достаточно низкий 0.55, что указывает на явную недостаточность числа независимых переменных для описания ряда. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($13.6 = F > F_{кр} = 4.8$) и его уровень значимости 0.004 по прежнему значительно меньший задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05.

Далее усложним модель включением еще одного параметра. Расчет коэффициентов модели дает следующую зависимость урожайности от температуры и осадков

$$y = 0.06x_2 - 1.12x_3 + 32.78.$$

Коэффициент детерминации модели увеличился до 0.64 и приблизился к требуемой границы 0.70, но по-прежнему, указывает на недостаточность числа независимых переменных. При этом статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($9.0 = F > F_{кр} = 4.1$) и его уровень значимости 0.006 значительно меньший задаваемого при расчете коэффициентов модели 0.05. Посмотрим, что даст включение в модель еще одного параметра интегрального индекса Pndvi, рассчитываемого по вегетационному индексу NDVI. В этом случае зависимость урожайности от трех параметров температуры, осадков и индекса Pndvi будет следующей

$$y = -0.001x_2 - 0.784x_3 + 21.213x_4 - 14.959.$$

Включение спутниковых данных по вегетационному индексу значительно повысило качество модели. Рассмотрим подробнее изменения. Коэффициент детерминации вырос до 0.87, а это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. Статистическую значимость или адекватность построенной модели подтверждает величина критерия Фишера ($20.5 = F > F_{кр} = 3.9$), причем уровень значимости Фишера равен 0.0002.

Проверим модель на двухлетней контрольной выборке. Прогноз $\{y_i^f, x_i\}$ считается оправдавшимся, если его ошибка $|y_i^f - y_i^c|$ с контрольной выборкой $\{y_i^c, x_i\}$ меньше $0,67\sigma$ при заблаговременности не более двух месяцев (см. формулы [8]). Имеем для первого (2012) и второго (2013) года соответственно

$$|y_i^f - y_i^c| = |11.50 - 12.5| = 1.00 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.6 = 2.4$$

$$|y_i^f - y_i^c| = |21.08 - 20.8| = 0.28 < 0.67\sigma = 0.67 * 3.6 = 2.4.$$

На этот раз модель справилась с прогнозом для аномального 2012 года и он оправдался. В сумме оправдываемость метода γ (см. формулы [8]) для двух контрольных годов равна 100 %. И средняя относительная ошибка оправдавшихся прогнозов \bar{P} , считаемая по формулам [8] равна

$$\bar{P} = \left(\frac{1.00}{17.6}100 + \frac{0.28}{17.6}100 \right) = 3.6 \%$$

Для сравнения приведем еще два прогноза. Инерционный прогноз дает на эти два года 19.1 ц/га и 12.5 ц/га, не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 42 %. Такая ошибка объяснима с учетом аномального по агроклиматическим параметрам 2012 года. Прогноз по тренду (или климатический прогноз)

$$y = -0.0621x + 141.4412$$

дает на эти два года 16.4 ц/га и 16.4 ц/га, также не оправдывается и в результате получается средняя относительная ошибка 24 %.

Таким образом, основной вывод проведенного исследования - включение в линейную регрессионную модель данных дистанционного зондирования, а именно, вегетационного индекса NDVI, приводит к значительному повышению качества модели. Испытание моделей в 10 разных по техническому оснащению муниципальных районах Омской области на двухлетнем временном периоде с двумя климатически аномальными годами показало их практическую применимость. Из 20 проведенных контрольных прогнозов только один не оправдался, средняя относительная ошибка изменялась по районам от 0.6 % до 12 %, в том числе 4 прогноза меньше 5 % и 3 прогноза больше 10 %. Инерционный и климатический прогнозы в этих же условиях давали соответственно 59 % и 32 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства значительная роль отводится агрометеорологическим прогнозам урожайности зерновых и зернобобовых культур. В связи с большой зависимостью урожайности зерновых культур от условий погоды и значительных колебаний валового сбора зерна в Омской области разработана современная технология, позволяющая заблаговременно прогнозировать урожайность и валовой сбор зерновых и зернобобовых культур по административным районам, ярового ячменя и овса по Омской области.

Предлагаемая методика разработана с использованием данных метеорологических наблюдений на гидрометеорологических станциях и с учетом статистических сведений об урожайности с 1958 по 2008 годы. Методы прогнозов базируются на физико-статистических моделях, отражающих связи между урожайностью и ее основными факторами.

Средняя ошибка методических прогнозов урожайности ярового ячменя на 21-23 июня составила 19,1 %, на 21-23 июля – 11,1 - 11,6 %; овса – на 21-23 июня - 16,9 %, на 21-23 июля 8,1-15,9 %. Средняя ошибка методических прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам Омской области, в основном, колеблется от 6,3 % до 14,0 %. Средние ошибки инерционного и климатологического прогнозов по ячменю 55,7 и 31,7 % соответственно, по овсу – 38,0 и 22,7 % соответственно; по муниципальным районам колеблется от 35,9 до 69,7 %, что значительно выше ошибок методических прогнозов.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов по новому методу по величине допустимой погрешности ($\Delta\sigma$) позволила выявить число оправдавшихся методических, инерционных и климатологических прогнозов. По муниципальным районам Омской области все методические прогнозы зерновых и зернобобовых культур оправдались. Оправдываемость

методических прогнозов составила 100 %, инерционных прогнозов – от 0 до 33,3 % и климатологических прогнозов от 0 до 66,7 %.

Анализ результатов выявил преимущество нового метода. Оправдываемость методических прогнозов урожайности ярового ячменя и овса составила 100 %, инерционных и климатологических прогнозов по ячменю 0 - 33,3 %, по овсу – 33,3 %.

Таким образом, большинство представленных моделей за период авторских испытаний обеспечены хорошими результатами. Оправдываемость методических прогнозов значительно выше оправдываемости климатологических и инерционных прогнозов, а средние ошибки методических прогнозов ниже ошибок инерционных и климатологических прогнозов.

На основании этого можно сделать заключение, что разработанные нами методы прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур, ярового ячменя и овса имеют явные преимущества и могут быть рекомендованы для производственного испытания в прогностическом подразделении Обь - Иртышского УГМС.

Для выполнения расчетов предлагается использовать разработанную технологию, включающую пакет программ для персонального компьютера и материалы информационного обеспечения: программу расчета прогноза урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области и программу оценки прогнозов.

По отдельным муниципальным районам Омской области методы прогнозов урожайности зерновых и зернобобовых культур разработаны с использованием наземной и первый опыт применения наземной и спутниковой информации.

Для прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам Омской области разработана еще одна группа моделей в параметры которых помимо традиционных метеорологических

данных включается вегетационный индекс NDVI ((Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности, показатель количества активной биомассы и самый распространенный среди подобных ему индексов, получаемый дистанционным зондированием поверхности земли и растительного покрова. Данные по этому индексу, получаемые с реальной регулярностью 3-4 раза в неделю и разрешением 250 м (размеры одного пикселя), накоплены и архивированы с 2000 года. Они позволяют строить модели регрессионного типа со средней относительной ошибкой 10-15 %.

Основной вывод проведенного исследования – включение в линейную регрессионную модель данных дистанционного зондирования, а именно, вегетационного индекса NDVI приводит к значительному повышению качества модели. Испытание моделей в 10 разных по техническому оснащению муниципальных районах на двухлетнем временном периоде с двумя климатически аномальными годами показало их практическую применимость. Из 20 проведенных контрольных прогнозов только один не оправдался, средняя относительная ошибка изменялась по районам от 0,6 % до 12 %, в том числе 4 прогноза меньше 5 % и 3 прогноза больше 10 %.

Таким образом, новые модели и технологии с применением персональных компьютеров обеспечивают повышение точности, устойчивости и оперативности получения результатов прогноза; способствуют улучшению качества обслуживания агрометеорологической информацией и повышению эффективности агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем.- Л.:Гидрометеоздат,1981. -167с.
- 2 Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. Об использовании динамических моделей для оценки агрометеорологических условий формирования Урожаев // Метеорология и гидрология.-1982. – Вып.8. - С.95-101.
- 3 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 урожаев в аридной зоне // Труды ВНИИСХМ. -1985. - Вып.10. - С.43-61.
- 4 Набока В.В. О развитии в ГУ «СибНИГМИ» прикладного динамико-статистического моделирования для агрометеорологического обеспечения земледелия Урало-Сибирского региона // Труды СибНИГМИ.-2011.- Вып.106. - С.112-129.
- 5 Набока В.В., 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. - Обнинск: ИГ - СОЦИН, 2011. - С.115-130.
- 6 Решение участников Международной научно-практической конференции «Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата» // Труды ВНИИСХМ. - 2007.- Вып.36. - С437-440.
- 7 Агрометеорологический ежегодник. Вып.20 за 1971-2011 гг. – Новосибирск, 1972-2013 годы.
- 8 Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91.- М.:Гидрометеоздат,1991.- С.98-107.

- 9 Костюков В.В., Костюкова Н.И., Старостина Т.В. Динамика урожайности яровой пшеницы на территории юго-востока Западной Сибири во второй половине XX века // Материалы XXXIII междунар. Конф. IT+SE06, майская сессия. – Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, май 2006 г. – С.299-300.
- 10 Костюков В.В., Старостина Т.В. Влияние агрометеорологических факторов на урожайность овса в Курганской области // Зерновое хозяйство, 2005, № 2.- С.26-28.
- 11 Методы и технологии прогноза валового сбора яровых зерновых культур по отдельным субъектам Сибирского федерального округа, а также прогнозов урожайности и валового сбора яровой пшеницы по основным хлебопекарным районам Омской области (10 районов): отчет о НИР (заключ.):03201050698 / ГУ «СибНИГМИ» Росгидромета; рук. Т.В.Старостина; исполн. И.Г.Ковригина [и др.] - Новосибирск, 2009. - 94 с.
- 12 Старостина Т.В. Методы агрометеорологического прогноза средней областной (краевой) урожайности ярового ячменя в земледельческой зоне Западной Сибири // Тр. ЗапСибНИИ. – 1983. – Вып.58. – С.24–36.
- 13 Старостина Т.В. Метод расчета валового сбора ярового ячменя в Новосибирской области и Алтайском крае // Тр. ЗапСибНИИ. – 1985. – Вып.71. – С.62–68.
- 14 Старостина Т.В. Агрометеорологические условия и изменчивость урожайности ярового ячменя на территории Урала и Сибири // Тр. ЗапСибНИИ. – 1987. – Вып.78. – С.36–46.
- 15 Уланова Е.С. Методы агрометеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 280 с.
- 16 Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 242 с.
- 17 Савин И.Ю., Лупян Е.А., Барталев С.А. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России // Геоматика.- 2011.- Вып.2.- С.69-76.

18 Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Технология ежедекадной оценки урожайности зерновых культур по спутниковой и наземной агрометеорологической информации - Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011, т.8, № 1, с.178-182.

19 Щербенко Е.В. Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи.- Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Сб. научных статей.- М.: ООО Азбука, 2000, 2007.- Вып. 4, Т. II.- С.408-419.

20 Брыксин В.М., Евтюшкин А.В. Использование модели биопродуктивности EPIC и космоснимков MODIS для прогнозирования урожайности зерновых культур. - Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов // Сборник научных статей. - М.: ООО Азбука, 2000, 2007. - Вып. 4, том II.- С. 189-196.

1 Williams } Williams~J.R., Dyke~P.T., Jones~C.A., 1983, EPIC: a model for assessing the effects of erosion on soil productivity.,--- In Analysis of Ecological Systems: State-of-the-Art in Ecological Modeling. Eds. W.K. Laurenroth et al.. Elsevier, Amsterdam, pp.553-572.

22 Антонов В.Н., Сладких Л.А. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным дистанционного зондирования Земли.- Геоматика.- Вып.4.- 2009.

23 Клещенко А.Д., Найдина Т.А. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования физиологических процессов растений в динамических моделях прогнозирования урожая.- Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011.- т.8, № 1.- С. 170- 177.

24 Толпин В.А., Барталев С.А., Матвеев А.М., Лупян Е.А. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных

земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК).- Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2006.- т.6, Вып. 2.- С.560-571.

25 Бурцев М.А., Мазуров А.А., Нейштадт И.А., Прошин А.А. Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности. - Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов // Сб. научных статей. – М. : ООО Азбука.-2000, 2007, т. I.- С.170-174.

26 Терехов А.Г., Кауазов А.М. Подспутниковый MODIS-ориентированный анализ информативности вегетационных индексов в задаче описания состояния яровой пшеницы Северного Казахстана.- Четвёртая всероссийская открытая конференция: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Москва.: ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г.

27 Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных культур Северного Казахстана с помощью спутниковых данных.- Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса // Сб. научных статей.- Вып. 4, т. II, М.: ООО Азбука. -2000, 2007.- С.277-283.

28 SPOT Vegetation satellite analysis, MARS Bulletin., 2011, Vol.19, No. 22 (Web Version).

29 Животков Л.А., Бирюков С.В., Степаненко А.Я. Пшеница / Под ред. Животкова Л.А., сост. Медведовский А.К. : Урожай, 1989.- С.320.

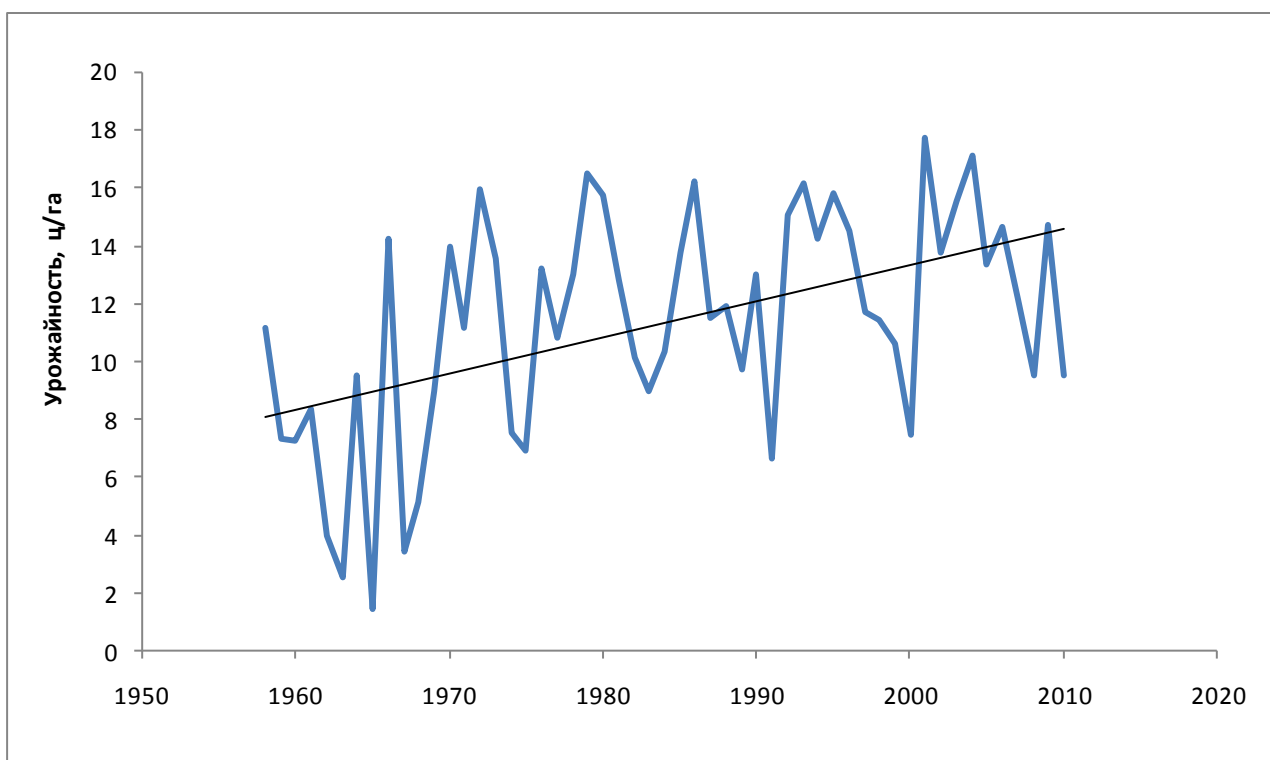
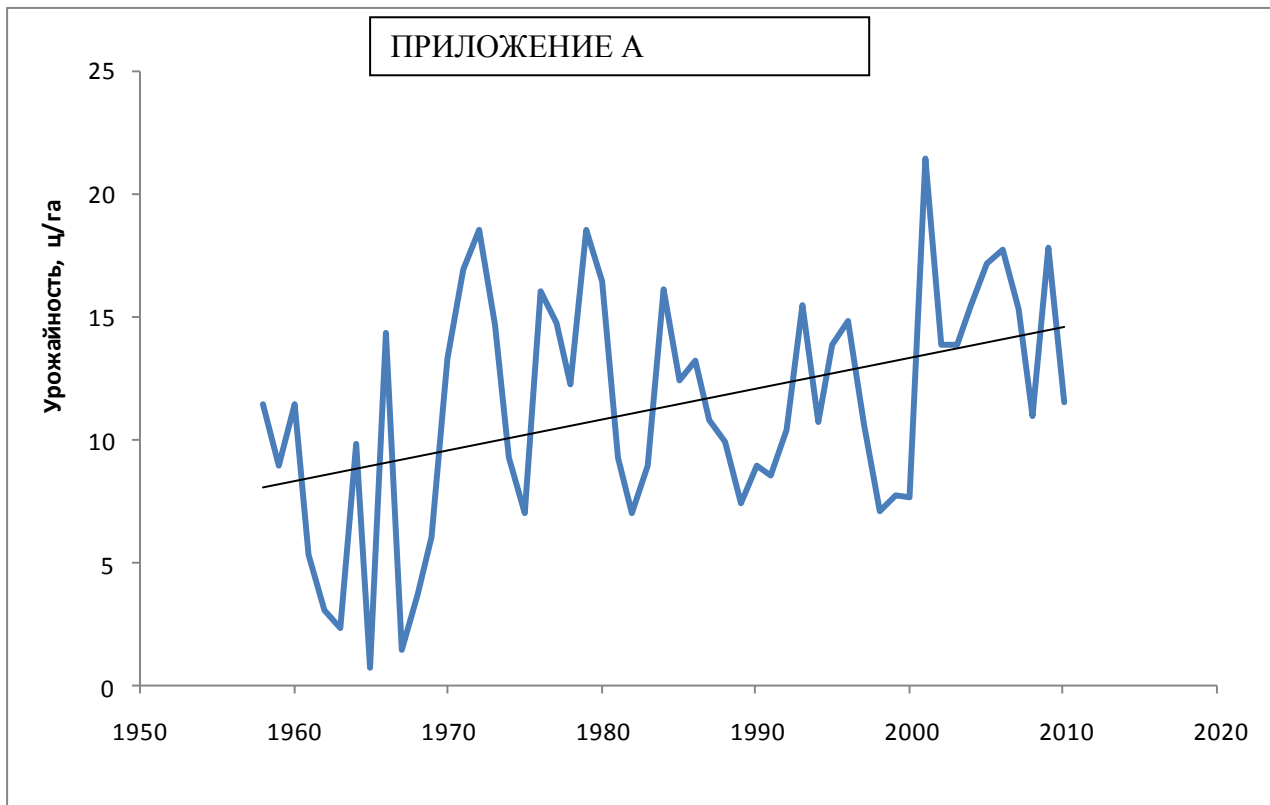


Рисунок А.1 – Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по Павлоградскому (А) и Полтавскому (Б) районам

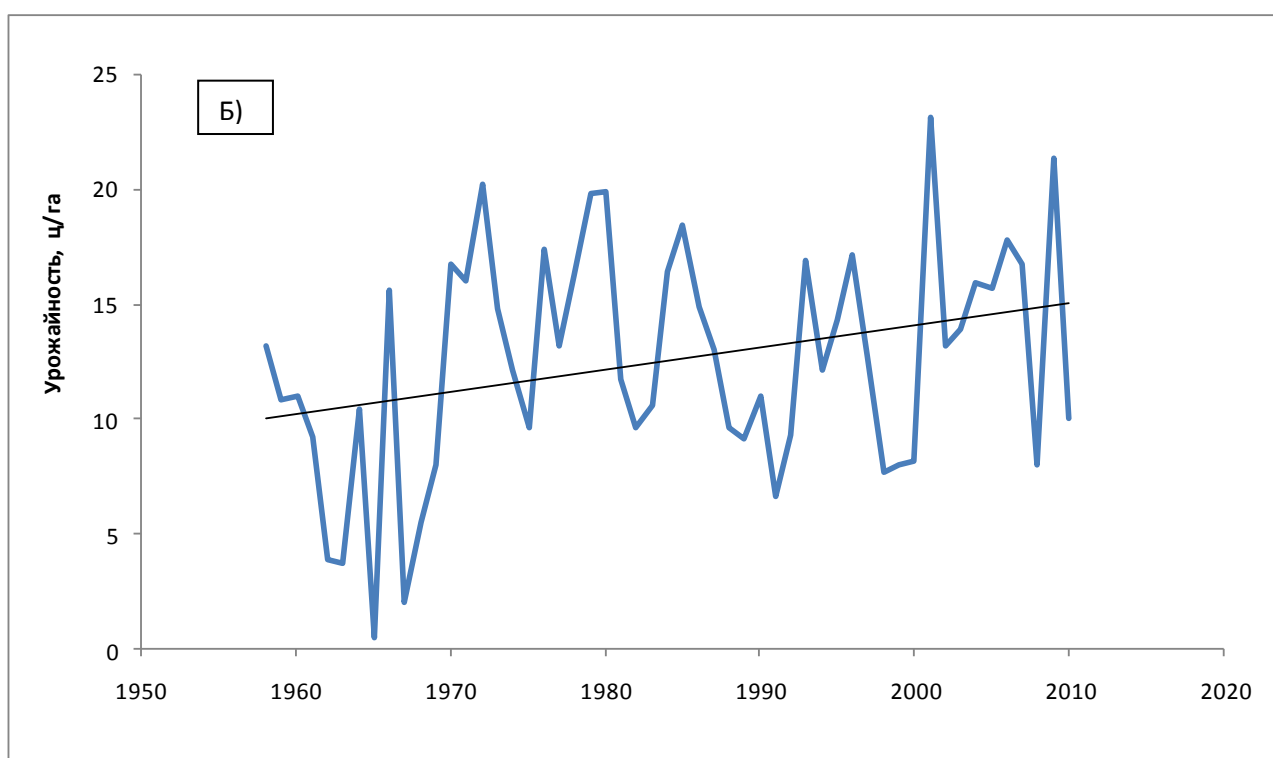
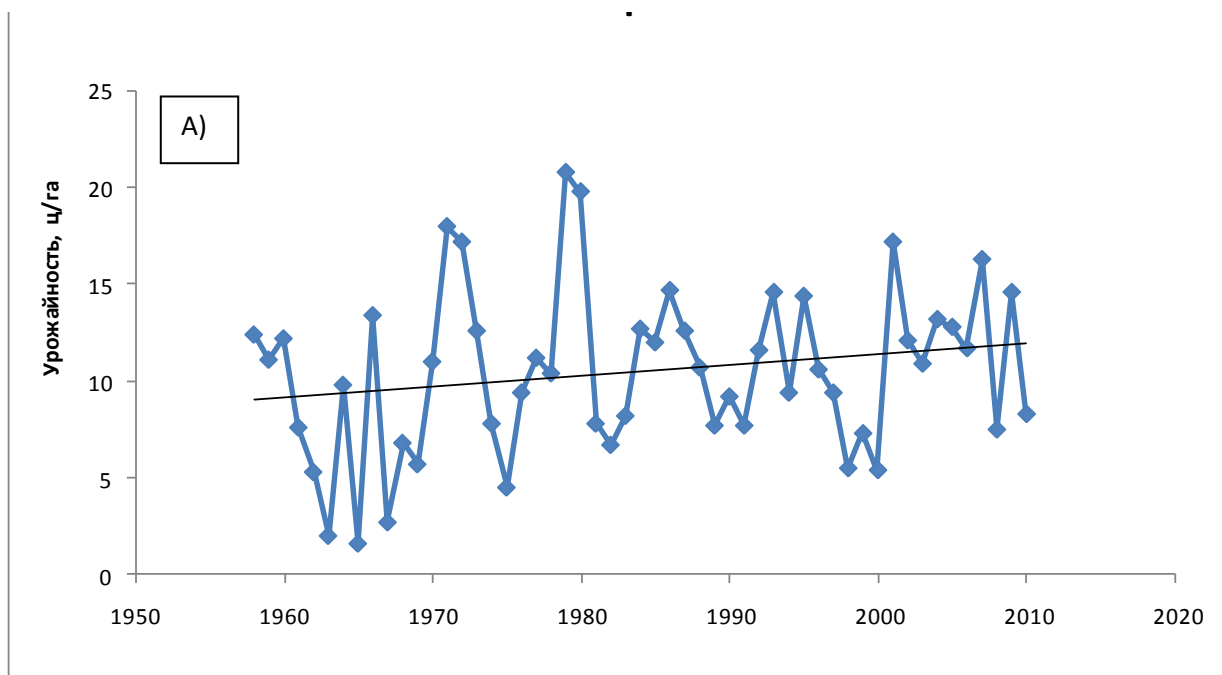


Рисунок А.1 – Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по Нововаршавскому (А) и Одесскому (Б) районам

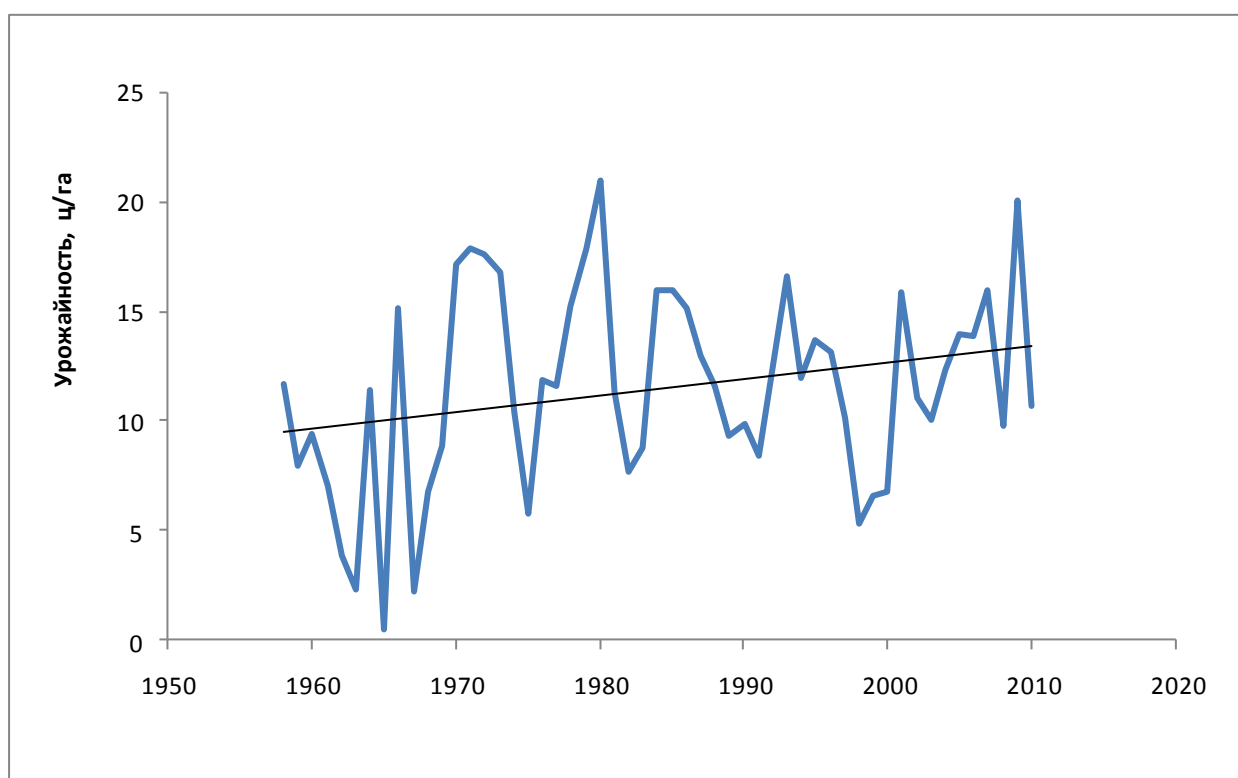
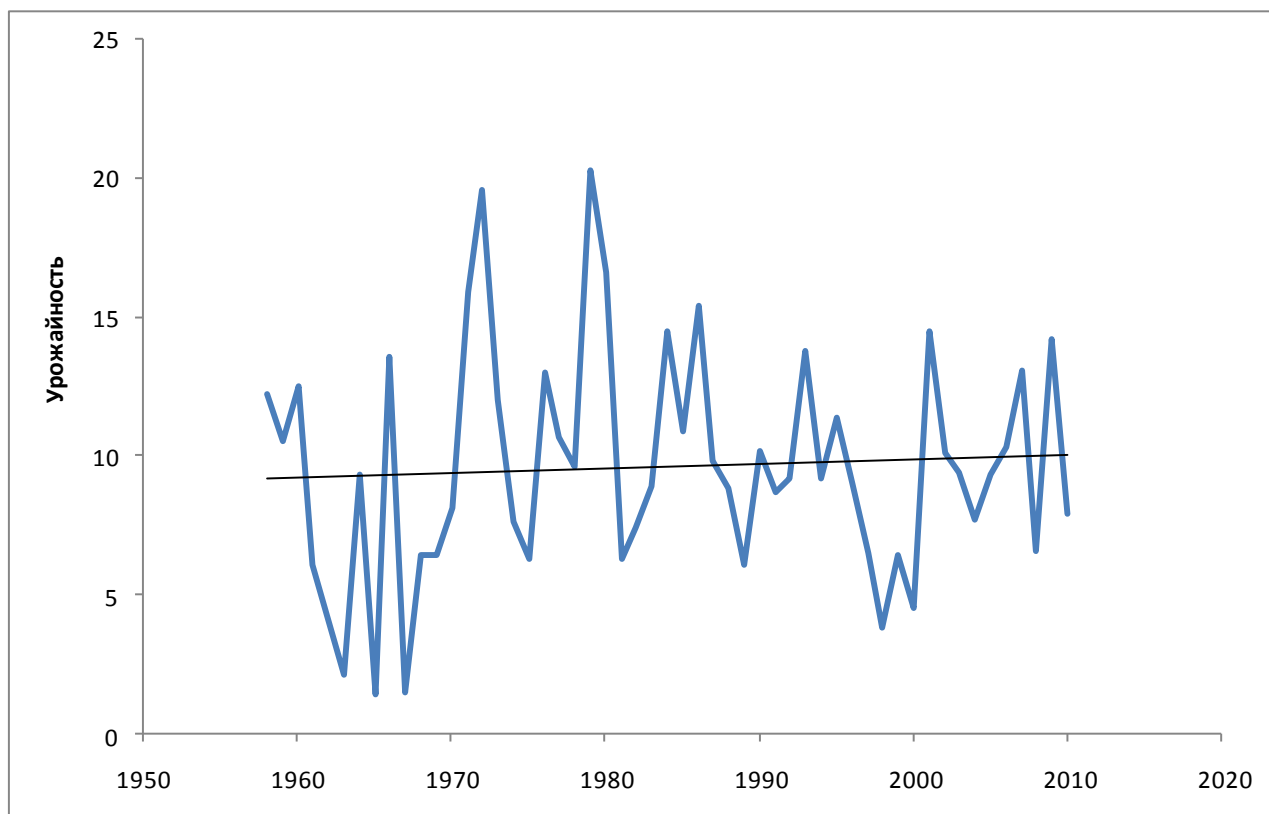


Рисунок А.3 – Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по Русско-Полянскому (А) и Таврическому (Б) районам

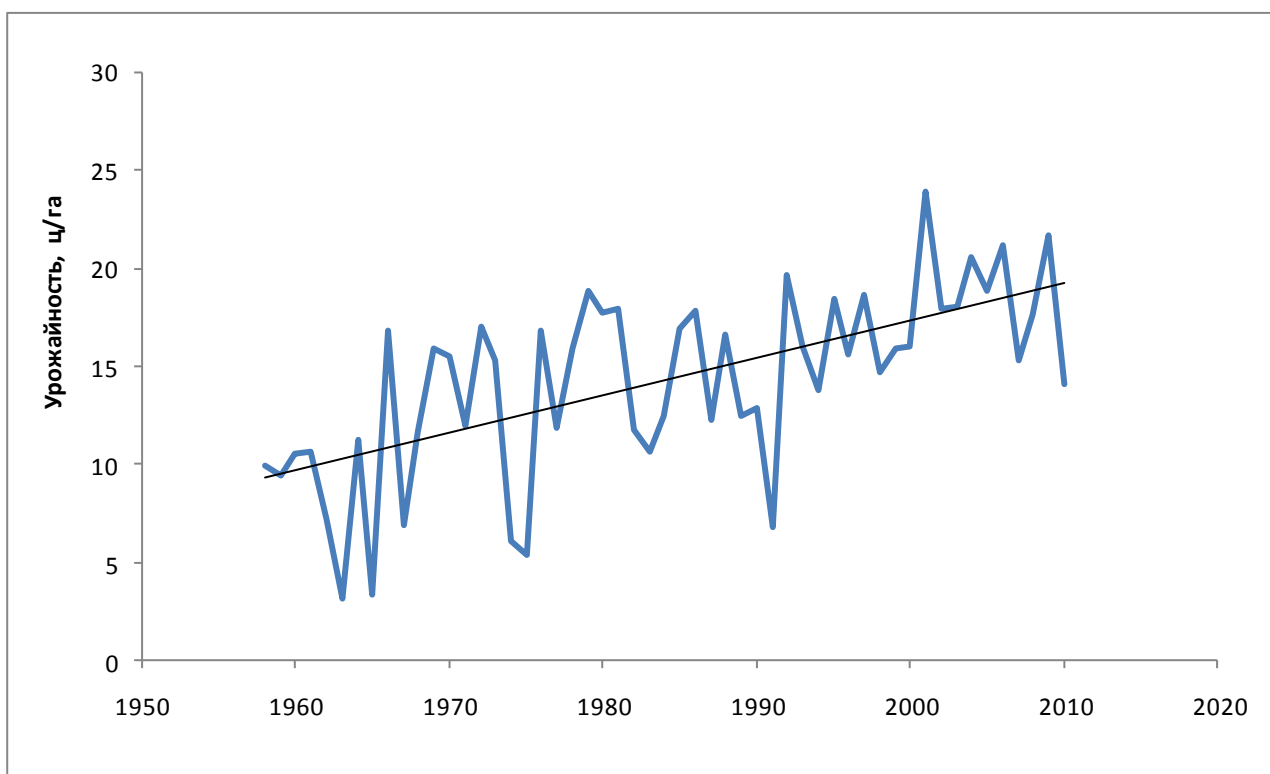
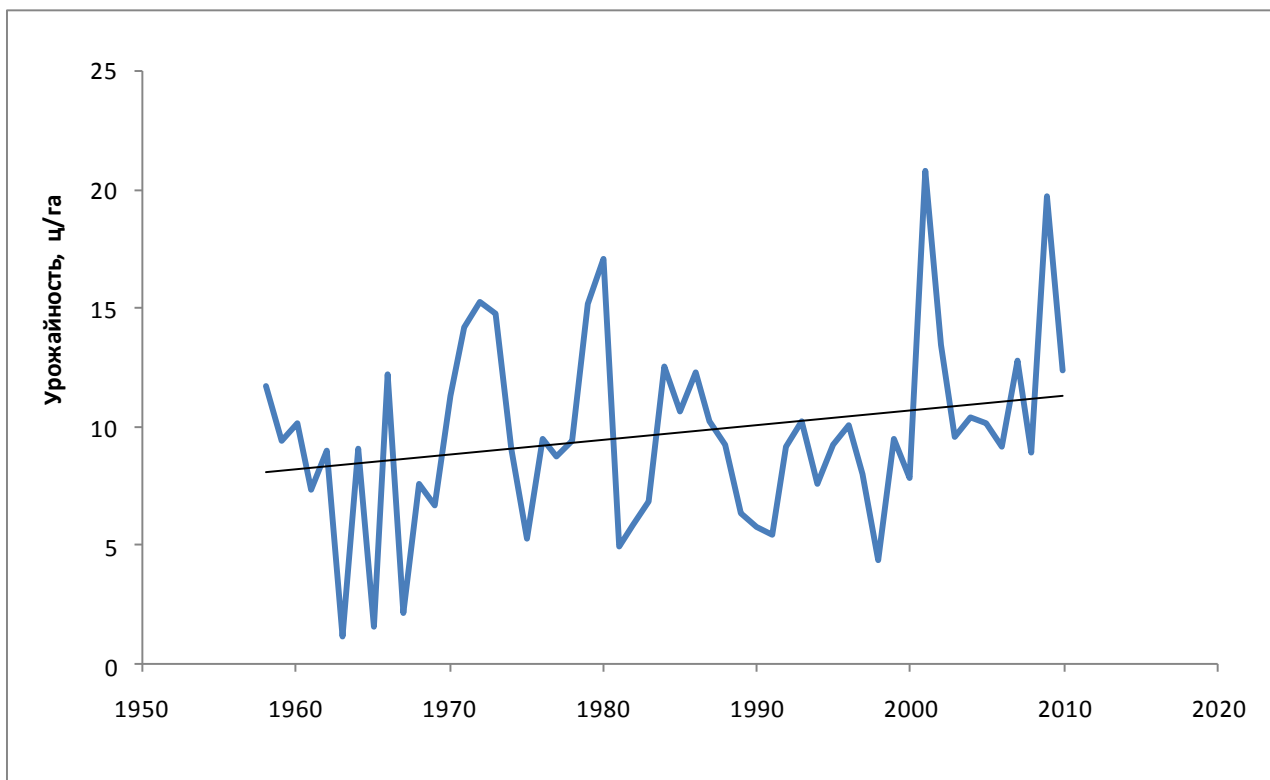


Рисунок А.4 – Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по Черлакскому (А) и Исилькульскому (Б) районам

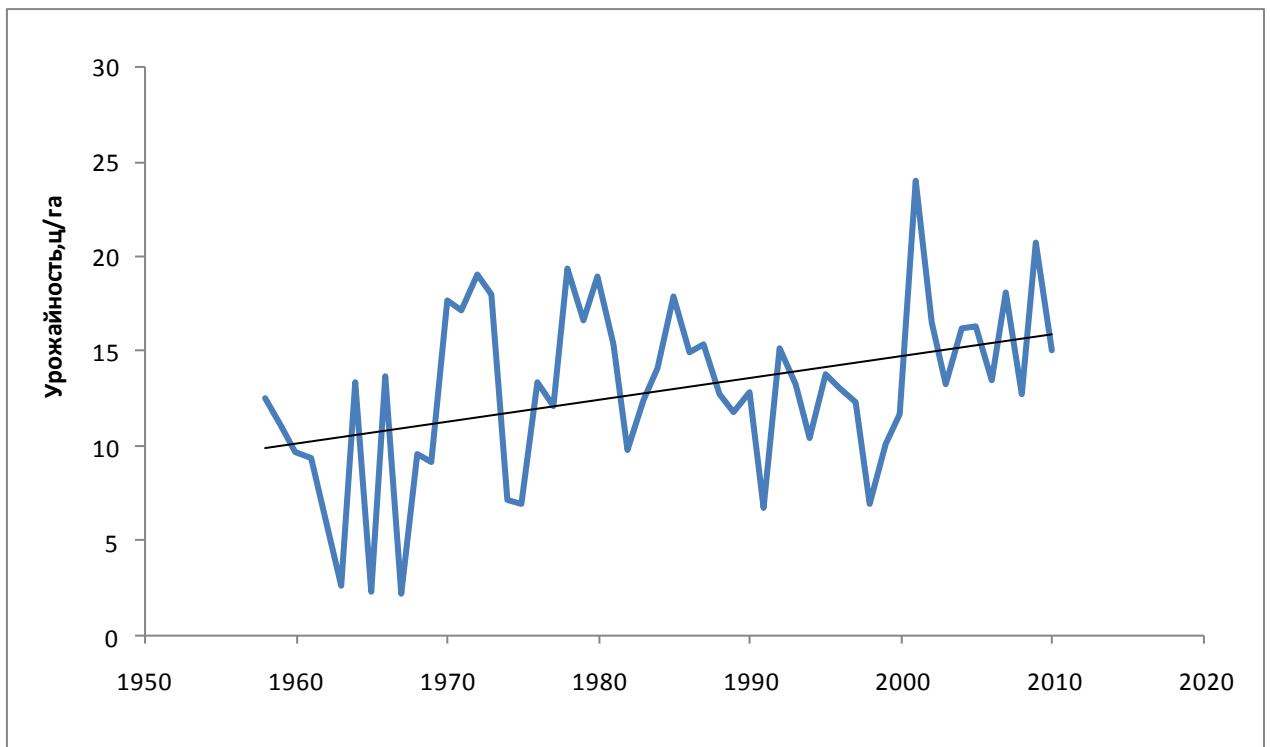
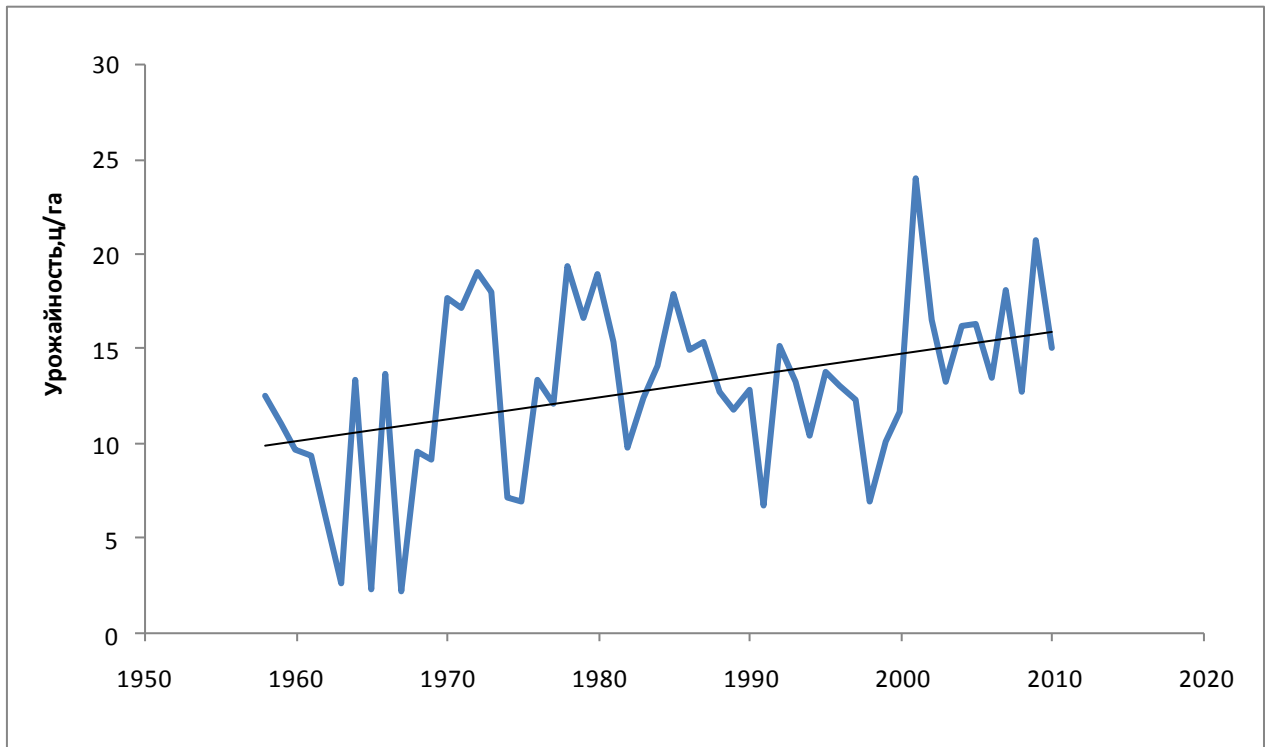


Рисунок А.5 – Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по Калачинскому (А) и Омскому (Б) районам

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| Введение..... | 3 |
| 1 Методические аспекты и обоснование структуры модели..... | 4 |
| 2 Основы метода прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур..... | 6 |
| 2.1 Метод прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области..... | 6 |
| 3 Результаты авторских испытаний..... | 20 |
| 4 Технология расчета прогнозов урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам, ярового ячменя и овса по Омской области..... | 30 |
| 5 Методы прогнозирования урожайности зерновых и зернобобовых культур по отдельным муниципальным районам Омской области с использованием наземной и спутниковой информации..... | 37 |
| 5.1 Описание данных..... | 42 |
| 5.2 Постановка задачи, метод решения..... | 44 |
| 5.3 Разработка и оценка полученных моделей прогноза..... | 45 |
| Заключение..... | 73 |
| Список использованных источников..... | 76 |
| Приложение А Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур по муниципальным районам Омской области..... | 80 |

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ответственный исполнитель

к.с.-х.н.



Т.В.Старостина

Исполнители



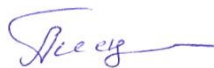
С.М.Кононенко



В.А.Коробцов



Т.М.Пахомова



О.И.Пищимко

Нормоконтролер



Т.П.Панькова