

УДК 631.587:633.1:631.559:58.056«5»

UDC 631.587:633.1:631.559:58.056«5»

**ЦИКЛИЧНОСТЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ В ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ
УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА
ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**

**CYCLICAL NATURE OF CLIMATIC
FACTORS IN ESTIMATION OF DYNAMICS
OF THE YIELDS OF CROPS ON IRRIGATED
LANDS**

Васильев Сергей Михайлович
д.т.н., доцент

Vasilyev Sergey Mikhaylovich
Dr. Sci. Tech., associate professor

Акопян Александра Васильевна
аспирантка
*Федеральное государственное научное учрежде-
ние «Российский научно-исследовательский ин-
ститут проблем мелиорации», Новочеркасск,
Россия*

Akopyan Alexandra Vasilyevna
graduate student
*Federal State Scientific Establishment «The Russian
scientific research institute of land improvement
problems», Novocherkassk, Russia*

Приводятся метод и результаты прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур в Ростовской области на мелиорируемых землях. Метод основан на использовании зависимости урожая сельскохозяйственных культур от агрометеорологических факторов. Приведены результаты расчетов по планированию урожая озимой пшеницы при орошении

The method and results of forecasting of crops of agricultural crops in the Rostov region on reclaimed lands are resulted. The method is based on use of dependence of crops of agricultural crops from agro meteorological factors. Results of calculation on planning crops of winter wheat at irrigation are shown

Ключевые слова: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ,
УРОЖАЙНОСТЬ,
АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ,
ОРОШЕНИЕ, МОДЕЛЬ

Keywords: FORECASTING, PRODUCTIVITY,
AGROMETEOROLOGICAL FACTORS,
IRRIGATION, MODEL

Производство зерновых – базовая и определяющая отрасль сельского хозяйства и, в значительной степени, – экономики в целом. Достаточный уровень производства зерновых создает необходимую сырьевую базу и предпосылки развития отраслей, обладающих, помимо прочего, большим инновационным потенциалом и наукоемкостью.

С другой стороны, сельское хозяйство и, в частности, производство зерновых аккумулирует достижения целого ряда других отраслей. Очевидно, что неясность нынешней ситуации и будущего экономики в целом относится и к производству зерновой продукции. При этом здесь, помимо общеэкономического, присутствует и климатический фактор неопределенности.

За период с 1980 по 2010 гг. отмечается нестабильность валовых сборов и урожайности зерновых культур. Анализ производства зерновых культур по Ростовской области свидетельствует об экстенсивном исполь-

зовании мелиорируемых земель. Для более рационального использования этого ресурса необходимо увеличение урожайности с учетом сохранения почвенного плодородия, путем соблюдения научно-обоснованных рекомендаций возделывания сельскохозяйственных культур. Решить эту проблему возможно только с помощью мелиорации. В Ростовской области засуха 2010 г. остро поставила проблему посевов озимой пшеницы, и, несмотря на усилия сельхозтоваропроизводителей, не удалось не только расширить посевы этой культуры, но и сохранить уровень прошлого года.

Мелиорация – это экономическая форма страхования урожая от засухи. И такой инструмент эффективнее финансового страхования [3].

Орошаемое земледелие, в отличие от неорошаемого, имеет несравненно больше возможностей управления важнейшими факторами, определяющими плодородие почвы – водным, воздушным и питательным режимами. Это главное, с точки зрения борьбы с засухой и придания сельскому хозяйству характера устойчивого динамически развивающегося производства [7].

Среди множества показателей, описывающих деятельность сельскохозяйственных организаций, особого внимания заслуживает урожайность сельскохозяйственных культур. Это комплексный показатель. С одной стороны, он является исходной информацией для построения планов, прогнозов и принятия управленческих решений, с другой стороны, – это один из основных результирующих показателей сельскохозяйственного производства. Получение достоверного прогноза урожая позволит корректно решать вопросы формирования резервных фондов продовольствия, наличия необходимых мощностей для хранения полученного урожая, строить адекватную и эффективную политику внешней торговли. Кроме того, заблаговременный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур является основой для своевременной и эффективной корректировки структуры сельскохозяйственного производства, его размещения и перераспреде-

ления ресурсов.

Такой подход является весьма актуальным в аспекте намеченных Правительством решений по восстановлению мелиоративного комплекса.

Урожайность сельскохозяйственных культур является показателем очень сложным с точки зрения прогнозирования, поскольку формирование урожая связано как с действием производственных факторов, так и погодных условий.

Проведя корреляционный анализ влияния различных факторов на динамику урожайности, мы сделали вывод, что метеорологические условия оказывают наибольшее влияние. Это показывает остаточная дисперсия ($D = 8,06$), которая характеризует вариацию урожайности, обусловленную причинами, не зависящими от человека, а также коэффициент случайной дисперсии ($K = 0,85$), характеризующий степень зависимости урожайности от случайных факторов, т.е. не зависящих от человека причин.

Вышесказанное обуславливает необходимость более детального учета динамики агрометеорологических факторов при решении задач, связанных с прогнозированием урожаев культур и регулированием производства продукции растениеводства.

В настоящей работе для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур предложен подход, основанный на прогнозировании на первом этапе динамики агрометеорологических факторов, и определении на втором этапе значений урожайности культур на интервале упреждения с использованием ее зависимости от этих факторов. В дальнейшем это позволит определить размеры сельскохозяйственных угодий, требующих ускоренного восстановления оросительных мелиораций (регулярное, циклическое, периодическое орошение) и площади, на которых достаточно только провести другие мелиоративные мероприятия (фитомелиорация, химмелиорация и др.).

Модели прогнозирования агрометеорологических факторов были <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/01.pdf>

построены с использованием данных об аномалиях температуры и осадков на юге Европейской территории РФ, по данным ИГКЭ Росгидромета и РАН [1] за последние 50 лет. Исходя из того, что все основные метеорологические элементы, из которых составляется вся сложная совокупность климата (температура, давление, осадки и т. д.), характеризуются явно выраженной циклическостью в процессе их периодического изменения [2, 5], то наши исследования проводились с помощью математического метода периодических функций – ряды Фурье – в программной среде «MathCad». Исходя из этого, была составлена следующая тригонометрическая сумма:

$$S_r(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^r a_k \cos \frac{2\pi kx}{T} + \sum_{k=1}^r b_k \sin \frac{2\pi kx}{T}, \quad (1)$$

где $\frac{a_0}{2}$ – среднее значение температуры или осадков за период;

a_k, b_k – коэффициенты циклических составляющих в динамике агроклиматического фактора $S(x)$;

T – период циклических составляющих.

Поиск обозначенных параметров проводился по следующей схеме. На первом этапе методом анализа фазовых портретов агрометеорологических факторов (с помощью интерполирования временных рядов кубическими сплайн-функциями) определялись скрытые во временных рядах их значений периоды T , на втором этапе методом наименьших квадратов находились остальные коэффициенты.

Далее, вычислив все коэффициенты, мы получили в упрощенном виде тригонометрическую функцию аномалии температуры воздуха за определенный временной ряд с периодом 11 лет:

$$f_1(x) \approx \frac{-45,3298}{2} + 0,2413 \cos \frac{\pi x}{11} - 0,055 \sin \frac{\pi x}{11}. \quad (2)$$

Тригонометрическая функция аномалии осадков за определенный временной ряд с периодом 11 лет имеет следующий вид:

$$f_2(x) \approx \frac{1,77}{2} - 2,135 \cos \frac{\pi x}{11} + 0,6041 \sin \frac{\pi x}{11}. \quad (3)$$

Для более детального анализа изучаемых явлений и их прогнозирования мы совместили графики полученных функций аномалий температуры приземного слоя воздуха (2) и осадков (3) на Европейской территории РФ (рис. 1).

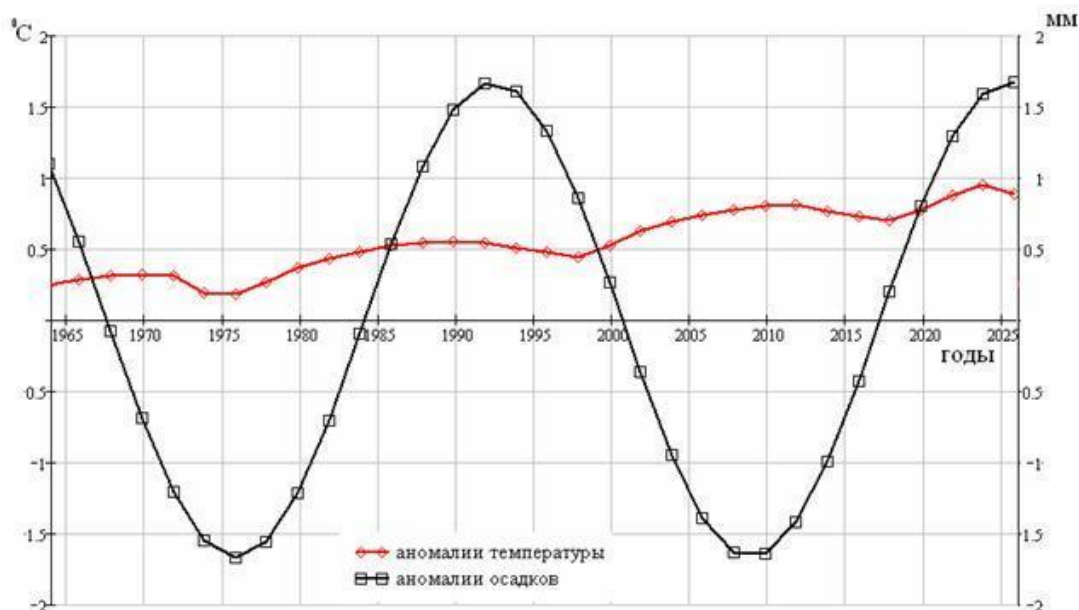


Рисунок 1 – График функций аномалий температуры приземного слоя воздуха и осадков на Европейской территории РФ

Эффективность построенных таким образом моделей прогнозирования динамики агрометеорологических факторов была исследована с помощью различных тестовых задач, и все они показали достаточно высокую их точность.

Теперь, на основании вышеизложенных фактов, наблюдений, моделей, теоретических и практических выводов проанализируем динамику урожайности на примере озимой пшеницы, выращенной на орошении и без орошения, усредненную по административным районам Ростовской области (рис. 2). Оценим максимальные и минимальные ее значения за 20 лет наблюдений. Определим оптимальные интервалы показателей температуры и осадков для получения максимальных урожаев. Исходные ре-

зультаты взяты из работы [4] и материалов статистики Министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области [6].

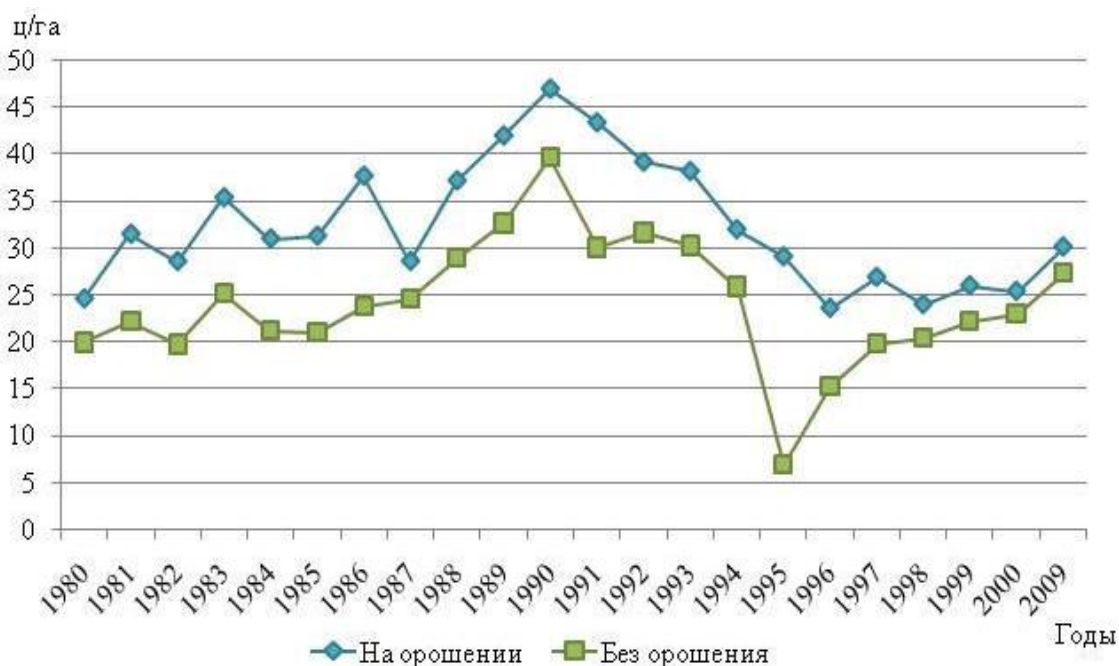


Рисунок 2 – Динамика урожайности озимой пшеницы в Ростовской области

Динамика урожайности свидетельствует о нелинейном характере развития сельскохозяйственного производства, который объективно определяется изменениями природно-климатических условий. В связи с этим возникает вопрос о возможности надежного прогнозирования погодных условий для избегания экономических потерь сельхозтоваропроизводителей.

Выявленная закономерность – среднесрочная цикличность повторения неблагоприятных природно-климатических условий позволяет методами экстраполяции сложившихся в прошлом тенденций (с учетом результатов практического опыта и наблюдений) построить ожидаемую осредненную динамику урожайности сельскохозяйственных культур на любой прогнозируемый период.

Установим зависимость урожайности озимой пшеницы от температуры (x) и осадков (y) на Европейской территории РФ при условиях орошения (G) и богарного выращивания (T). Искомые зависимости рассматриваются как регрессионные уравнения, зависящие от двух переменных.

Для их составления применяли компьютерные программы, написанные в среде «MathCad» и «Statistica». Ниже приведен порядок нахождения коэффициентов уравнений регрессии для орошаемых и неорошаемых режимов использования земельных участков, которые сначала представлены в виде матриц I и h :

$$I = COrder(N \text{ var } s, \text{deg}), h = submatrix(R, 3, rows(R) - 1, 0, 0),$$

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 2 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}, \quad h = \begin{pmatrix} 381,765 \\ -10,862 \\ -185,524 \\ -459,861 \\ 2,042 \cdot 10^3 \\ -2,118 \cdot 10^3 \end{pmatrix}$$

При этом столбцы матрицы I соответствуют степеням переменной x и y , элементы матрицы h ставятся в соответствие строкам матрицы I , являются коэффициентами переменных и их произведений.

В общем виде искомая зависимость (функция) $g(x, y)$ будет иметь вид:

$$g(x, y) = \sum_{i=0}^{last(h)} (h_i x^{I_{i,0}} y^{I_{i,1}}). \quad (4)$$

Таким образом, в развернутом виде зависимость (4) урожайности исследуемой культуры от температуры и осадков при условии орошения (G) примет следующий вид:

$$G_{\text{оз.ни.}}(x, y) = -577,05x^2 + 703,03x - 52,99y + 3,52y^2 + 76,86xy - 169,56, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,78,$$

где x – аномалия среднегодовой температуры приземного слоя воздуха за определенный год, °С;

y – аномалия средней за год месячной суммы осадков за определенный год, мм.

Выводы исследуемого нами процесса построим в виде графиков поверхности и линий уровня полученной зависимости (5) (рис. 3).

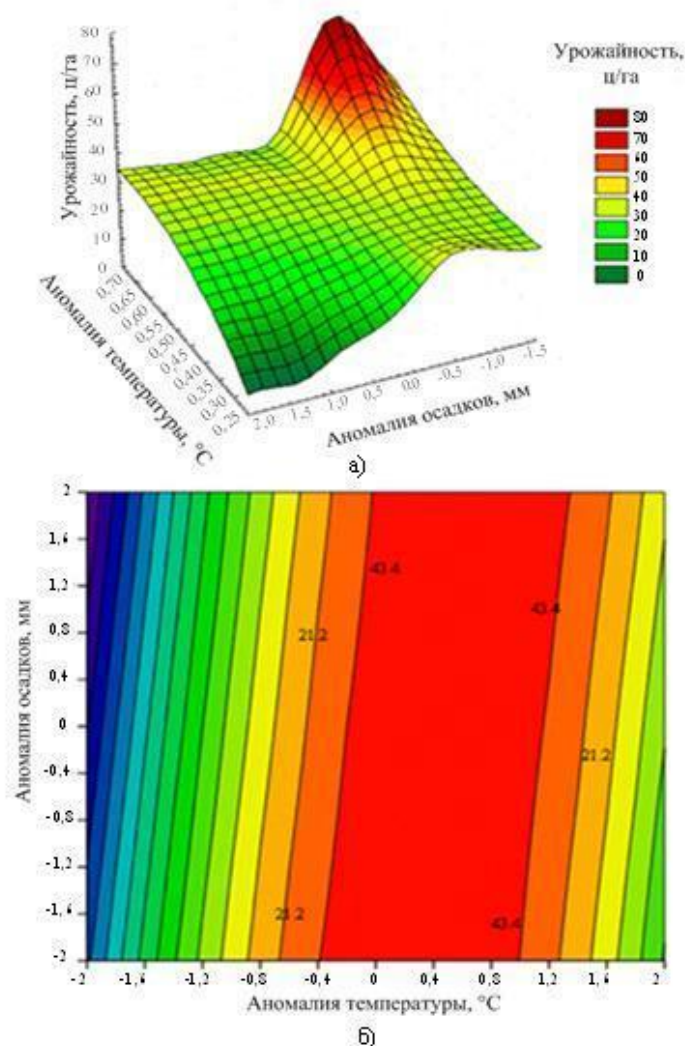


Рисунок 3 – График зависимости (а) и линии уровня поверхности (б) урожайности озимой пшеницы от температуры и количества осадков при орошении

Как видно из рисунка 3, при орошении максимальная урожайность (граница окрашена ярко-красным цветом) может быть достигнута при отклонении температуры от среднего 11-летнего цикла в пределах $-0,4 \leq x \leq 1$, при этом влияние осадков остается относительно постоянным.

Зависимость урожайности озимой пшеницы при выращивании без орошения (Т) от температуры (Х) и осадков (У) имеет следующий вид (6):

$$T_{оз.пш.}(x, y) = -322,64x^2 + 428,15x - 39,56y + 1,2y^2 + 59,11xy - 105,2, \quad (6)$$

$$R^2 = 0,79.$$

На рисунке 4 полученная зависимость (6) представлена графически.

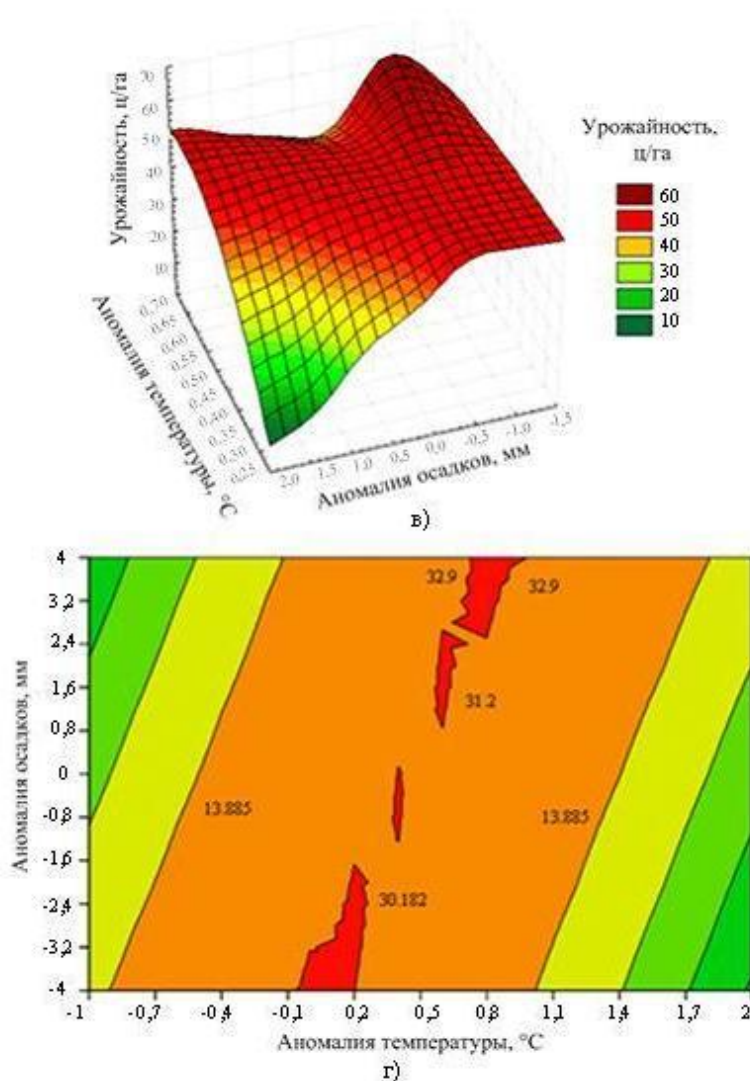


Рисунок 4 – График зависимости (в) и линии уровня поверхности (г) урожайности озимой пшеницы от температуры и количества осадков без орошения

Анализ линий уровня графика поверхности (рис. 4) зависимости урожайности озимой пшеницы без орошения от температуры (X) и осадков (Y) позволяет сделать вывод о том, что максимальная урожайность как функция имеет разрывы. При этом большое влияние на урожайность ока-

зывают как осадки, так и температура. Максимальная урожайность озимой пшеницы, выращенной без орошения, достигается в пределах, приведенных в таблице.

Таблица – ПРЕДЕЛЫ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ БЕЗ ОРОШЕНИЯ

Границы температуры	Границы осадков	Максимальная урожайность, ц/га
$-0,1 \leq X \leq 0,3$	$-4 \leq Y \leq -1,6$	30,182
$0,3 \leq X \leq 0,4$	$-1,2 \leq Y \leq 0$	30,9
$0,6 \leq X \leq 0,75$	$0,8 \leq Y \leq 2,9$	31,2
$0,8 \leq X \leq 1,1$	$3 \leq Y \leq 4$	32,9

Кривая вековых природных циклов в первом приближении может быть построена на основе линии тренда данных об урожайности озимой пшеницы не менее чем за 100 лет. К сожалению, отсутствие соответствующих статистических данных пока сдерживает реализацию этой задачи. Но и выявленная закономерность – среднесрочная цикличность повторения природно-климатических факторов позволяет методом экстраполяции сложившихся в прошлом тенденций (с учетом результатов практического опыта и наблюдений) построить ожидаемую осредненную динамику урожайности озимой пшеницы на любой прогнозируемый период (рис. 5).

Как можно заметить из рисунка 5, фактические урожайности культуры при орошении и без орошения достаточно хорошо согласуются с вычисленными значениями по формулам (5) и (6). Можно также заключить, что на интервале упреждения изменение урожайности озимой пшеницы носит неустойчивый характер.

Очевидно, что такой характер изменения агроклиматических ресурсов данной территории потребует проведения определенных мероприятий для поддержания урожаев озимой пшеницы на требуемых уровнях, что может быть связано с большими финансовыми затратами.



Рисунок 5 – Фактическая и прогнозируемая урожайность озимой пшеницы за период 1980-2014 гг.

Для исследования этой стороны проблемы предположим, что урожайность озимой пшеницы необходимо поддерживать на уровне 30 ц/га. Рассмотрим изменение во времени отклонения прогнозных значений урожайности от этого уровня (рис. 6).

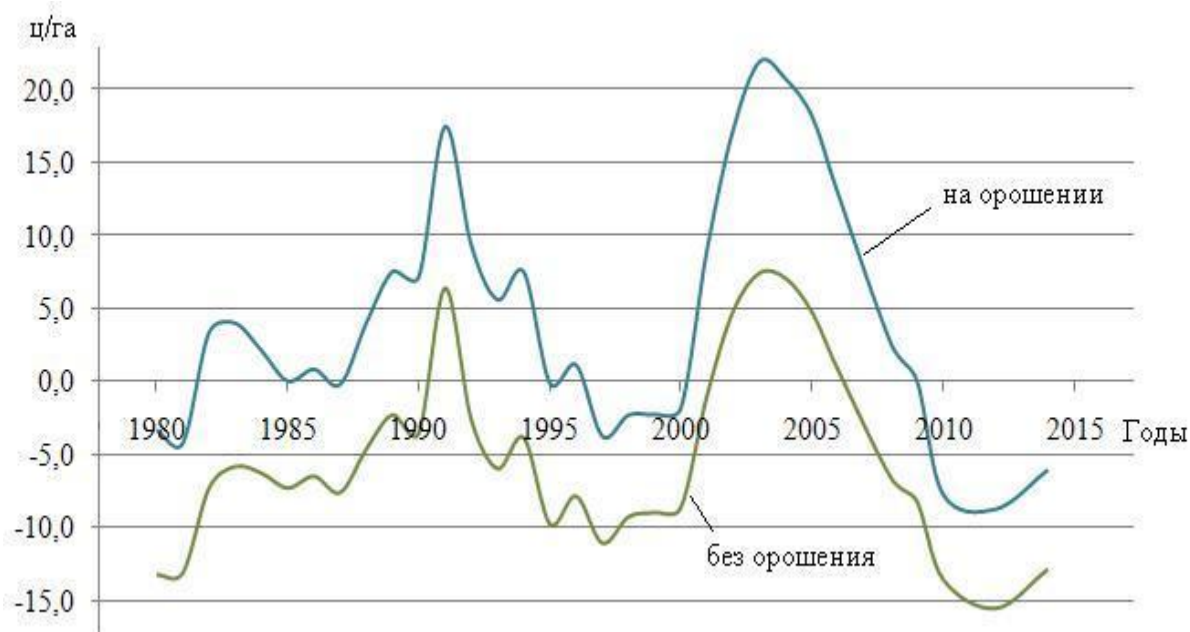


Рисунок 6 – Отклонения значений урожайности озимой пшеницы от требуемого уровня

На основании данных рисунка 6, легко сделать вывод о том, что при выращивании озимой пшеницы на орошении изменение отклонения значений урожайности в разы меньше, чем при выращивании без орошения. При орошении отклонение существенно с 2009 г. Наибольшее значение достигается в 2011 г. и будет немногим меньше 8 ц/га.

Что касается выращивания озимой пшеницы без орошения, то начиная с 2007 г. урожайность заметно отличается от требуемого значения. Наибольшее значение урожайности, как можно заметить на рисунке 6, будет иметь место в 2011 году, и оно ориентировочно составит 16 ц/га.

Это еще раз доказывает, что особое внимание в Ростовской области должно быть уделено увеличению эффективности использования имеющихся оросительных систем и расширению орошаемых площадей.

Учет природной цикличности и укрепление ее математическими рас-

четами, в равной мере, как и интеграция прогнозных исследований в смежных областях, могли бы дать сельхозтоваропроизводителю мощный инструмент в прогнозировании стихийных бедствий, в правильном планировании хозяйственных стратегий. «Откат» в сторону снижения урожайности в ближайшие годы представляется статистически вероятным, тем более что побочным эффектом роста урожайности является истощение почвы на фоне низких доз комплексных удобрений.

Выводы:

1. Анализ сложившегося положения в области показывает, что наряду с хорошим производственным потенциалом, урожайность озимой пшеницы в Ростовской области недостаточно высока и сильно колеблется по годам. Связано это как с природно-климатическими, так и с экономическими причинами.

2. Большое влияние на урожайность оказывают метеорологические условия, особенно отмеченные в последние годы перепады температуры (очень жаркое лето и суровая зима) и весенние заморозки, губящие весенние всходы.

3. Разработанная математическая модель для условий Ростовской области позволяет произвести краткосрочный прогноз урожайности озимой пшеницы.

4. Успешное развитие сельского хозяйства неразрывно связано с правильным использованием земельного фонда сельскохозяйственного назначения. Для обеспечения в будущем производства зерна в необходимых объемах требуются существенные усилия по повышению урожайности и важнейшим фактором интенсификации, на наш взгляд, является мелиорация.

Литература

1. Изменения климата 2004. Бюллетень «Обзор состояния и тенденций изменения климата России». – Москва, 2005. – 20 с.
2. Минасов М.Ш. Стабилизация сельскохозяйственного производства с учетом

циклических изменений климатических условий // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 55-56.

3. Решетняк В.И. Справедливая цена зерна и миссия России в XXI веке // Агро-аналитика. – 2010. – № 47. – С. 16-21.

4. Свисюк И.В. [и др.] Погода, климат, почва, удобрения и урожай. – Ростов-на-Дону: Литера-Д, 2005. – 220 с.

5. Циклические процессы в природе и обществе: Материалы I Междунар. конф. «Циклические процессы в природе и обществе» / Под ред. В.Д. Чурсина. Ставрополь: СГУ, 1993. – 271 с.

6. Итоги развития АПК за 2009 год [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области: [сайт]. URL: <http://www.don-agro.ru> (дата обращения: 23.10.2010).

7. Дегтярев К.С. Производство зерновых в России [Электронный ресурс] // Энциклопедия маркетинга: [сайт]. [1998-2010]. URL: <http://www.marketing.spb.ru/mr/food/cereals.htm> (дата обращения: 25.10.2010).