

Спектр вариаций есть набор амплитуд гармонических составляющих, которые получаются спектральным разложением флуктуирующей величины на конкретном временном отрезке. Периоды гармоник (или обратные им величины – частоты) на СВАН-диаграммах откладываются на вертикальной оси; время, отвечающее середине окна, – на горизонтальной оси. Глубина тона (степень зачерненности) отвечает соответствующей амплитуде. Более сильная зачерненность на диаграмме соответствует большей амплитуде спектра. Метод используется для анализа многих временных рядов.

Повторяемость доминирующих циклов выражается в виде более или менее продолжительных зачерненных полос. Этот признак показывает продолжительность существования ритмических изменений. Об интенсивности процессов можно судить по прилагаемым справа от СВАН-диаграммы легендам.

Определение параметра хаотизации тоже представляет собой вид спектрально-временного анализа. На оси абсцисс откладывается календарное время, а на оси ординат – степень «заполненности» спектра. Монохроматическому процессу соответствует нулевой уровень, а белому шуму – единица.

Результаты математического моделирования требуют всестороннего осмысления и принятия решения, что является сложной, со многими неизвестными задачей. В ряде работ нами затрагивался вопрос оптимизации эколого-адаптивного природопользования [52, 53, 618].

Таким образом, можно констатировать, что проблема анализа и оценки закономерностей многолетних колебаний урожайности и их долгосрочного прогноза была и остается одной из актуальных и сложных проблем сельского хозяйства.

5.2.3. Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области

Урожайность определяется наследственными свойствами растений и влиянием энергетического, водного и пищевого режимов почвы и атмосферы. Потребность сельскохозяйственной культуры в тепле, влаге и питании в каждый период вегетационного цикла обусловлена эволюцией и проявляется в виде собственных оптимумов элементов среды. Если комплекс условий среды находится в оптимуме, то растения формируют максимум урожая.

Факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур, можно условно разделить на две группы: к первой группе относятся плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки и т. д.; ко второй – климатические условия. Тогда урожайность можно представить как

$$Y(t) = Y_{\phi}(t) \pm \Delta Y(t), \quad (5.36)$$

где $Y(t)$ – планируемая урожайность в расчетном календарном году, ц/га; $Y_{\phi}(t)$ – фоновая урожайность в том же году; $\pm \Delta Y$ – отклонение фактической урожайности от фоновой, ц/га.

Влияние технологических факторов, таких как плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки, с достаточной для практики точностью можно описать многочленом второй степени

$$Y_{\phi}(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \quad (5.37)$$

где t – календарный год, ц/га; a, b, c – эмпирические коэффициенты.

Уравнение (5.37) описывает фоновую урожайность, а разность между фактической урожайностью и фоновой составит отклонения, которые определяются, в основном, погодными условиями.

На рисунке 5.19 представлена динамика средней урожайности по Брестской области за период с 1954 по 2005 год (урожайность картофеля с 1960 по 2005 год).

В урожайности озимой ржи явно прослеживается тренд. Для всех районов выявлена устойчивая тенденция ее возрастания до 1990 г., что обусловлено переходом сельского хозяйства на интенсивный путь развития, совершенствованием технологий, посевного материала и удобрений. В 90-е годы во всех районах начинается постепенный спад урожайности. При этом средняя урожайность по области составляла 19,2 ц/га, а максимальная, равная 37 ц/га, наблюдалась в 1987 г. (рис. 5.19).

Невысокие урожайности сельскохозяйственных культур по Брестской области в начале 60-х годов прошлого столетия были обусловлены отсутствием высокопродуктивных сортов, недостаточным внесением удобрений в послевоенные годы и т. п. Сочетание благоприятных климатических (количество и равномерность осадков в вегетационный период, сумма активных температур) и агротехнических факторов в середине 80-х способствовало получению высоких урожаев. С повышением уровня агротехники, улучшением водно-воздушного и питательного режима почв, с использованием новых сортов урожайность повысилась, и пик ее пришелся на 1986 г. Так, урожайность картофеля в среднем по области составила 252 ц/га. Меньше всего – в Барановичском районе (214 ц/га), максимум

картофеля с 1 га было собрано в Лунинецком районе (311 ц/га). Однако с конца 80-х и до 2000 г. включительно наблюдается устойчивая тенденция снижения урожайности сельскохозяйственных культур. Главными причинами такой тенденции были: ухудшение агротехнического обеспечения вследствие снижения уровня развития экономики республики (внесение минеральных удобрений под картофель к 1999–2000 гг. по отношению к середине 80-х снизилось на 83 %, органических – на 13 %; были сведены к минимуму механизированные и профилактические обработки в технологическом цикле); деградация мелиоративных систем и мелиорированных земель (вследствие ухудшения функционирования существующей мелиоративной сети, больших потерь органического вещества на мелиорированных и прилегающих к ним землях понизился бонитет почв, что не могло не отразиться на урожайности); увеличение случаев экстремальных климатических факторов во время интенсивной вегетации (поздневесенние и летние заморозки, продолжительные засушливые периоды) и другие причины.

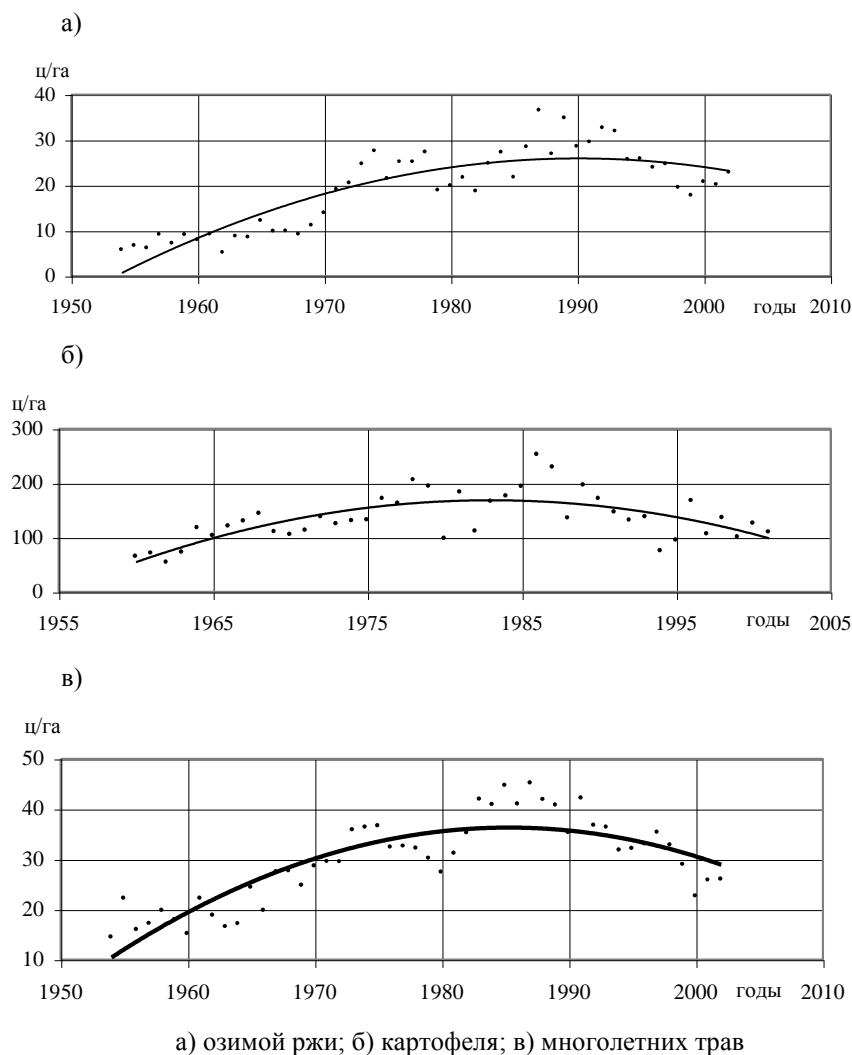


Рисунок 5.19 – Динамика урожайности по Брестской области

Динамика урожайности многолетних трав сходна с другими культурами, ее пик пришелся на 1987 г. и составил 37,2 ц/га, затем постепенно стал падать: в 1989 г. – 34,8 ц/га, 1992 г. – 31,2 ц/га.

В таблице 5.3 представлены коэффициенты уравнения (5.37) линии тренда фактической урожайности по рассматриваемым культурам для средней областной урожайности, а в таблице 5.4 – аналогичные данные по районам области.

Таблица 5.3 – Коэффициенты уравнения линии тренда (5.37) средней областной урожайности

Культура	Коэффициенты регрессии			Коэффициент корреляции R
	a	b	c	
Озимая рожь	-0,0194	1,4377	-0,7448	0,87
Картофель	-0,2152	10,329	44,547	0,71
Многолетние травы	-0,027	1,709	8,729	0,85

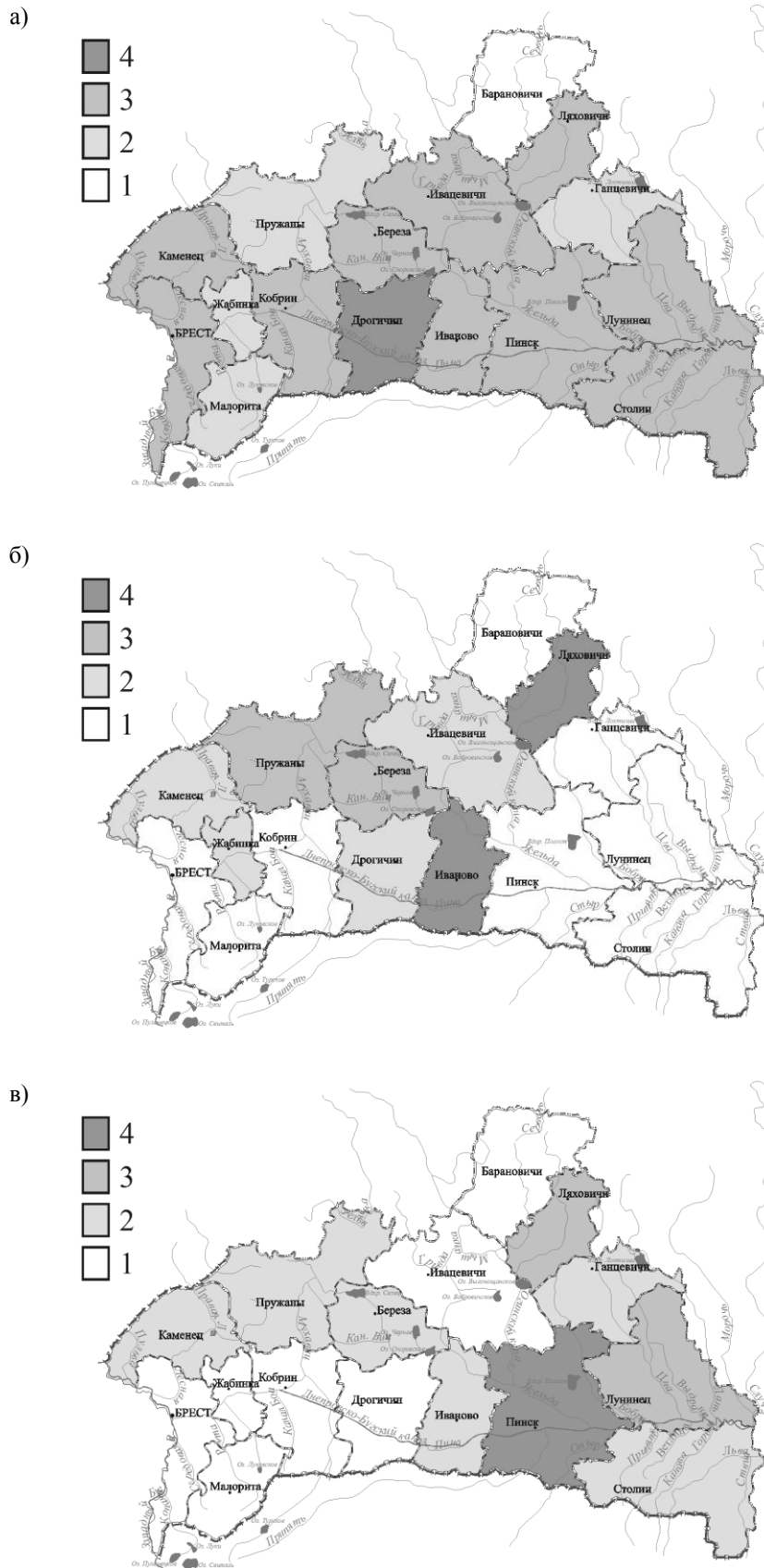
Таблица 5.4 – Коэффициенты уравнения линии тренда (5.37) средней районной урожайности

Район	Коэффициенты регрессии			Коэффициент корреляции R
	a	b	c	
Озимая рожь				
Барановичский	-0,0217	1,4478	3,405	0,83
Березовский	-0,0247	1,5922	3,0146	0,86
Брестский	-0,0233	1,587	1,7251	0,86
Ганцевичский	-0,0262	1,5076	3,2545	0,75
Дрогичинский	-0,0247	1,6904	1,073	0,89
Жабинковский	-0,0281	1,7461	0,2755	0,87
Ивановский	-0,0204	1,4431	4,1177	0,83
Ивацевичский	-0,0228	1,4464	2,9628	0,81
Каменецкий	-0,0278	1,691	1,4503	0,85
Кобринский	-0,0239	1,5491	2,1312	0,85
Лунинецкий	-0,0298	1,6941	3,3767	0,8
Ляховичский	-0,0241	1,5545	3,9225	0,85
Малоритский	-0,0237	1,4482	2,1195	0,8
Пинский	-0,0261	1,5893	3,605	0,84
Пружанский	-0,027	1,5722	2,437	0,85
Столинский	-0,024	1,5672	5,3775	0,81
Картофель				
Барановичский	-0,1627	8,6347	44,482	0,72
Березовский	-0,1948	10,317	34,787	0,7
Брестский	-0,1398	7,795	47,412	0,58
Ганцевичский	-0,1762	7,934	65,339	0,64
Дрогичинский	-0,1509	8,5373	42,934	0,69
Жабинковский	-0,2183	11,262	21,034	0,69
Ивановский	-0,2046	10,276	62,451	0,68
Ивацевичский	-0,1688	7,9752	80,787	0,65
Каменецкий	-0,1546	8,4628	52,496	0,59
Кобринский	-0,1345	7,8802	48,434	0,6
Лунинецкий	-0,1637	7,7314	73,093	0,51
Ляховичский	-0,2188	11,072	36,492	0,71
Малоритский	-0,1531	7,9869	37,812	0,58
Пинский	-0,1077	4,6126	110,23	0,43
Пружанский	-0,174	9,5462	50,09	0,62
Столинский	-0,1722	8,1997	62,84	0,62
Многолетние травы				
Барановичский	-0,0284	1,588	12,339	0,75
Березовский	-0,0347	1,8552	11,509	0,79
Брестский	-0,0316	1,8713	8,973	0,89
Ганцевичский	-0,0436	2,2726	8,5934	0,67
Дрогичинский	-0,0166	1,163	14,943	0,71
Жабинковский	-0,0292	1,758	9,5022	0,74
Ивановский	-0,0496	2,3529	9,8655	0,84
Ивацевичский	-0,0306	1,5178	19,696	0,69
Каменецкий	-0,0401	2,1494	9,9632	0,82
Кобринский	-0,0319	1,7466	12,335	0,82
Лунинецкий	-0,0393	2,1891	8,52	0,7
Ляховичский	-0,0521	2,4823	11,216	0,82
Малоритский	-0,0302	1,57	15,139	0,52
Пинский	-0,0573	2,9248	11,816	0,81
Пружанский	-0,0378	1,8197	14,022	0,83
Столинский	-0,0358	1,8687	14,263	0,66

Пространственная изменчивость исследовалась с помощью карт, построенных для максимальной фоновой урожайности. Максимальная фоновая урожайность определялась путем дифференцирования функции (5.37) для отыскания ее максимума. В результате максимальная фоновая урожайность определялась как

$$y_{\phi}^{max} = c - \frac{b^2}{2 \cdot a}, \quad (5.38)$$

На основании этих данных построена карта максимальной фоновой урожайности (рис. 5.20).



а) озимой ржи: 1 – менее 40, 2 – 50–40, 3 – 60–50, 4 – более 60; б) картофеля: 1 – менее 300, 2 – 300–320, 3 – 320–340, 4 – более 340; в) многолетних трав: 1 – менее 60, 2 – 60–70, 3 – 70–80, 4 – более 80

Рисунок 5.20 – Карта максимальной фоновой урожайности основных сельскохозяйственных культур Брестской области, ц/га

Для установления градации деления районов по максимальной фоновой урожайности сельскохозяйственных культур использовался статистический критерий Стьюдента, с помощью которого установлена наименьшая существенная разница для средних величин урожайности по районам. Затем эта величина округлялась до целых величин.

Как видно на рисунке 5.20, Брестская область располагает благоприятными агроклиматическими и почвенными условиями для выращивания озимой ржи. Максимальная фоновая урожайность в большинстве районов области находится в пределах 50–60 ц/га, а в Дрогичинском районе она даже превышает 60 ц/га. Несколько меньшая урожайность (40–50 ц/га) имеет место в Ганцевичском, Жабинковском и Малоритском районах. Выделяется Барановичский район, где максимальная фоновая урожайность не достигает 40 ц/га.

Максимальная фоновая урожайность картофеля по районам Брестской области имеет более пестрый характер. В Ивановском и Ляховичском районах она превышает 340 ц/га, в Березовском и Пружанском районах – 320–340 ц/га, несколько меньшая максимальная фоновая урожайность (300–320 ц/га) имеет место в Дрогичинском, Жабинковском, Ивановском и Каменецком районах, в остальных районах она менее 300 ц/га.

В Пинском районе наблюдается наибольшая фоновая урожайность многолетних трав, которая превышает 80 ц/га. Это обусловлено большим удельным весом мелиорированных земель в районе и наличием больших пойменных территорий. Высокая урожайность характерна также для Лунинецкого и Ляховичского районов и колеблется в пределах 70–80 ц/га. Для Березовского, Ганцевичского, Ивановского, Каменецкого, Пружанского и Столинского районов максимальная фоновая урожайность колеблется в пределах 60–70 ц/га, в остальных она менее 60 ц/га.

По полученным уравнениям тренда находим отклонения от средней областной фактической урожайности. Результаты для области в целом представлены на рисунке 5.21.

Временные ряды отклонений фактической урожайности от фоновой подчиняются нормальному закону распределения вероятностей, что наглядно видно из представленных диаграмм (рис. 5.22), а также подтверждено специальным анализом.

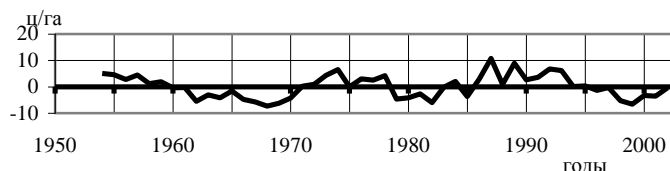
Динамика погодной составляющей урожайности $\pm \Delta V(t)$ может быть представлена в виде аддитивной функции

$$\Delta V(t) = u(t) \pm \eta(t), \quad (5.39)$$

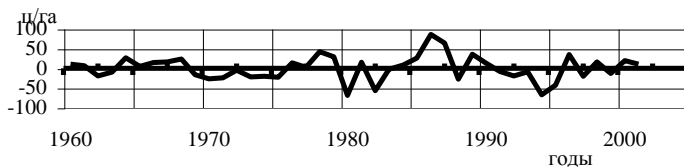
где $u(t)$ – детерминированная функция, $\eta(t)$ – случайная составляющая.

Функцию $u(t)$ часто удается подобрать так, что процесс $\eta(t)$ оказывается значительно более простым, чем $\Delta V(t)$, и тогда решение задач, связанных с этими процессами, существенно упрощается.

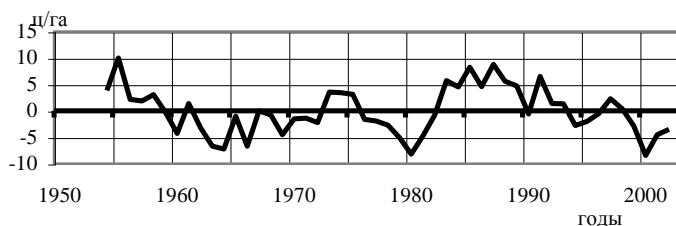
а)



б)

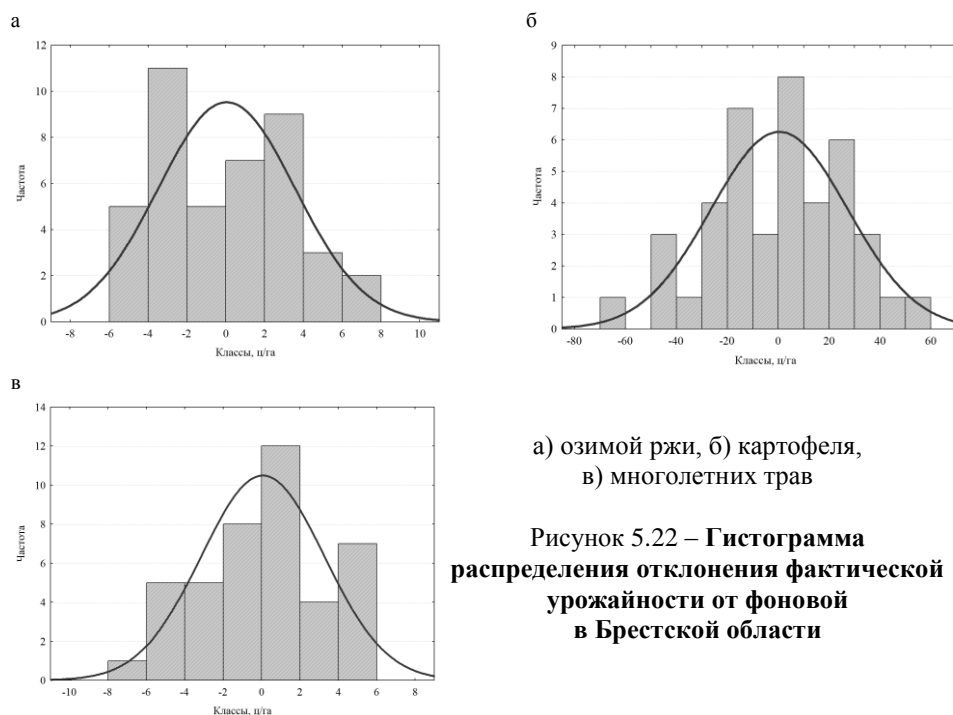


в)



а) озимой ржи, б) картофеля, в) многолетних трав

Рисунок 5.21 – Отклонение фактической урожайности от фоновой в Брестской области



а) озимой ржи, б) картофеля,
в) многолетних трав

Рисунок 5.22 – Гистограмма
распределения отклонения фактической
урожайности от фоновой
в Брестской области

Периодическая составляющая или тренды погодной составляющей урожайности могут быть описаны с помощью различных статистических методов, а в частности

$$u(t) = f(\Delta P_i, \Delta T_i, \Delta W_i), \quad (5.40)$$

где ΔP_i – отклонение атмосферных осадков от нормы в i -тый интервал времени; ΔT_i – отклонение температуры воздуха в i -тый интервал времени; ΔW_i – отклонение влагозапасов 50 см почвы в i -тый интервал времени.

Проведенный регрессионный анализ позволил описать погодную составляющую средней урожайности анализируемых сельскохозяйственных культур уравнением (5.40) полиномом первой степени, средние областные показатели приведены в таблице 5.5, средние районные – в таблице 5.6.

Таблица 5.5 – Уравнения детерминированной функции средней областной урожайности

Культура	Уравнение	R
Озимая рожь	$u = 0,61 \cdot \Delta T_3 - 0,89 \cdot \Delta T_4 - 0,87 \cdot \Delta T_6 - 0,08 \Delta P_{12} - 0,038$	0,52
Картофель	$u = -0,9 \cdot \Delta W_5 + 5,8 \cdot \Delta T_5 - 7,32 \cdot \Delta T_8 - 0,4$	0,54
Многолетние травы	$u = 0,48 \cdot \Delta T_3 - 0,71 \cdot \Delta T_4 + 0,09 \cdot \Delta P_5 + 0,05 \Delta P_6 - 0,076$	0,56

Примечание: ΔT – отклонение месячной температуры воздуха от нормы того месяца; ΔP , ΔW – соответственно атмосферные осадки и влажность 50 см слоя почвы; индекс обозначает номер месяца начиная с января.

Рассмотрим влияние различных факторов на примере озимой ржи, картофеля и трав.

Рост и развитие озимой ржи проходят в исключительно жестких условиях, причем высокая температура воздуха и почвы ведет к ограничению ростовых процессов, уменьшению листовой поверхности, неправильному формированию генеративных органов, а также к замедлению или, наоборот, резкому ускорению физиологических процессов, что в конечном счете нарушает водный режим и обмен веществ и приводит к снижению продуктивности растений. Продуктивность озимых культур обеспечивается, как правило, за счет осенних побегов, а слабо развитые растения дают невысокий урожай даже в случае благоприятной перезимовки.

Как видно из таблиц 5.5 и 5.6, оказывают влияние на урожайность озимой ржи осадки декабря, которые обуславливают перезимовку растений, а также температуры марта, апреля и июня, определяющие наступление фазы цветения. В это время сильная засуха может привести обмен веществ к стерильности цветочной пыльцы и задержке образования эндосперма, поэтому в уравнении они имеют знак « \leftarrow ». Как видно из уравнений отклонения урожайности озимой ржи для выбранных районов Брестской области, наибольшее влияние на этот процесс оказывают холодные месяцы, когда определяются условия перезимовки. В более теплое время происходит образование генеративных органов и определяется полная спелость культуры.

Таблица 5.6 – Уравнения детерминированной функции средней районной урожайности

Район	Культуры		
	озимая рожь	картофель	многолетние травы
Барановичский	$u(t) = -0,39 + 0,42\Delta T_2 - 1,5\Delta T_6 + 0,46\Delta T_{11} - 0,02\Delta P_7$ R = 0,58	$u(t) = -0,34 + 7,18\Delta T_5 - 6,77\Delta T_8 - 0,69\Delta W_4$ R = 0,55	$u(t) = 0,23 - 0,65\Delta T_{11} - 0,07\Delta P_1 - 0,07\Delta P_2$ R = 0,45
Березовский	$u(t) = -0,37 + 0,45\Delta T_2 - 1,43\Delta T_6 + 0,98\Delta T_9 - 0,02\Delta P_7$ R = 0,6	$u(t) = -1,73 + 1,74\Delta T_3 + 7,19\Delta T_5 - 1,21\Delta W_4$ R = 0,58	$u(t) = 0,53 + 0,39\Delta T_{10} + 0,09\Delta P_6 - 0,05\Delta P_9$ R = 0,54
Брестский	$u(t) = 0,02 + 0,83\Delta T_6 + 0,54\Delta T_8 - 0,94\Delta T_9$ R = 0,39	$u(t) = 0,15 + 8,59\Delta T_5 - 8,58\Delta T_8 - 8,28\Delta T_9 - 0,58\Delta W_4$ R = 0,59	$u(t) = -0,24 + 0,43\Delta T_3 + 0,12\Delta P_5 + 0,06\Delta P_6$ R =
Ганцевичский	$u(t) = -0,36 + 0,42\Delta T_2 - 1,5\Delta T_6 - 1,6\Delta T_9 - 0,02\Delta P_7$ R = 0,59	$u(t) = -1,11 - 3,12\Delta T_1 - 2,5\Delta T_2 + 3,24\Delta T_3 + 4,65\Delta T_4$ R = 0,39	$u(t) = -0,28 - 1,02\Delta T_8 + 0,14\Delta P_3 + 0,13\Delta P_6 + 0,09\Delta P_{10}$ R = 0,59
Дрогичинский	$u(t) = -0,35 + 0,49\Delta T_2 - 1,26\Delta T_6 - 1,28\Delta T_9 - 0,03\Delta P_7$ R = 0,6	$u(t) = 0,05 + 8,02\Delta T_5 - 6,44\Delta T_8 - 9,48\Delta T_9 - 0,37\Delta W_7$ R = 0,64	$u(t) = -0,08 + 0,9\Delta T_5 - 1,57\Delta T_{10} - 0,04\Delta P_8$ R = 0,43
Жабинковский	$u(t) = 0,02 + 0,46\Delta T_3 - 0,62\Delta T_4 - 0,91\Delta T_9 - 0,07\Delta P_4$ R = 0,52	$u(t) = -0,23 - 4,91\Delta T_2 + 6,91\Delta T_3 + 10,43\Delta T_5 - 11,02\Delta T_8 - 6,6\Delta T_9 - 0,79\Delta W_4 + 0,6\Delta W_8$ R = 0,75	$u(t) = -0,18 + 1,29\Delta T_{10} + 0,11\Delta P_5 - 0,05\Delta P_7$ R = 0,5
Ивановский	$u(t) = -0,14 + 0,47\Delta T_3 - 0,93\Delta T_4 - 1,05\Delta T_6 - 1,21\Delta T_9 + 0,04\Delta P_{10}$ R = 0,66	$u(t) = -0,09 + 9,81\Delta T_5 - 9,06\Delta T_8 - 0,93\Delta W_4$ R = 0,58	$u(t) = -0,33 + 0,44\Delta T_3 + 0,69\Delta T_5 + 0,41\Delta T_{12} + 0,12\Delta P_3$ R = 0,51
Ивацевичский	$u(t) = -0,06 + 0,45\Delta T_2 - 0,98\Delta T_4 - 1,05\Delta T_6 - 1,06\Delta T_9$ R = 0,63	$u(t) = 0,15 - 4,88\Delta T_9 - 0,91\Delta W_5 + 0,8\Delta W_6 - 1,00\Delta W_7$ R = 0,47	$u(t) = 8,19 + 2,44\Delta T_8 - 1,65\Delta T_9 - 1,16\Delta T_{11} + 0,14\Delta P_3 + 0,12\Delta P_5$ R = 0,64
Каменецкий	$u(t) = -0,29 + 0,43\Delta T_3 - 1,1\Delta T_6 - 0,07\Delta P_1 - 0,04\Delta P_{12}$ R = 0,5	$u(t) = -1,17 + 4,08\Delta T_3 + 7,79\Delta T_5 - 11,01\Delta T_8 - 10,10\Delta T_9$ R = 0,57	$u(t) = -0,51 - 0,43\Delta T_1 + 1,08\Delta T_5 + 0,85\Delta T_7 - 1,29\Delta T_9 + 0,08\Delta P_4 + 0,09\Delta P_5 + 0,07\Delta P_7$ R = 0,69
Кобринский	$u(t) = -0,29 + 0,43\Delta T_2 - 0,98\Delta T_6 - 1,28\Delta T_9 + 0,48\Delta T_{12} - 0,04\Delta P_7$ R = 0,56	$u(t) = -0,24 + 9,05\Delta T_5 - 7,24\Delta T_8 - 8,87\Delta T_9$ R = 0,53	$u(t) = -0,23 + 0,34\Delta T_3 + 0,08\Delta P_3 + 0,06\Delta P_6$ R = 0,51
Лунинецкий	$u(t) = -0,14 + 0,58\Delta T_2 - 0,9\Delta T_4 - 1,37\Delta T_6 + 1,73\Delta T_9 - 0,06\Delta P_7$ R = 0,69	$u(t) = 0,22 - 9,89\Delta T_9 + 0,87\Delta W_9 - 1,25\Delta W_7$ R = 0,38	$u(t) = 0,24 - 0,95\Delta T_{10} - 0,12\Delta P_1 - 0,16\Delta P_2 - 0,06\Delta P_7$ R = 0,44
Ляховичский	$u(t) = -0,29 + 0,46\Delta T_3 - 1,93\Delta T_6 - 0,07\Delta P_5$ R = 0,64	$u(t) = -1,85 - 2,81\Delta T_1 + 7,44\Delta T_4 + 7,39\Delta T_5 - 8,19\Delta T_8 - 0,92\Delta W_4$ R = 0,63	$u(t) = -0,2 + 0,7\Delta T_3 - 1,16\Delta T_6 - 0,1\Delta P_1 - 0,13\Delta P_2 - 0,06\Delta P_7$ R = 0,64
Малоритский	$u(t) = -0,2 + 0,41\Delta T_3 - 0,87\Delta T_6 - 1,16\Delta T_9 - 0,03\Delta P_7$ R = 0,45	$u(t) = -0,5 + 0,18\Delta T_3 + 10,1\Delta T_5 - 7,14\Delta T_8 - 0,89\Delta W_4$ R = 0,54	$u(t) = -0,6 + 1,14\Delta T_3 - 2,12\Delta T_8 + 0,19\Delta P_5 - 0,14\Delta P_8$ R = 0,65
Пинский	$u(t) = -0,32 + 0,42\Delta T_2 - 1,09\Delta T_6 - 1,41\Delta T_9 - 0,04\Delta P_7$ R = 0,58	$u(t) = -0,29 + 1,63\Delta T_3 - 9,5\Delta T_9 - 0,87\Delta W_7$ R = 0,47	$u(t) = -0,33 - 0,6\Delta T_{11} + 0,12\Delta P_5$ R = 0,35
Пружанский	$u(t) = -0,16 + 0,31\Delta T_2 - 1,03\Delta T_6 - 1,04\Delta T_9 - 0,03\Delta P_9$ R = 0,55	$u(t) = -0,67 - 4,5\Delta T_2 + 8,34\Delta T_3 + 8,84\Delta T_5 - 9,0\Delta T_8 - 7,92\Delta T_9 - 0,99\Delta W_4$ R = 0,73	$u(t) = 0,16 + 0,39\Delta T_3 - 0,44\Delta T_{11} + 0,1\Delta P_5$ R = 0,47
Столинский	$u(t) = -0,5 + 0,7\Delta T_2 - 1,33\Delta T_6 - 1,61\Delta T_9 + 0,64\Delta T_{11} + 0,63\Delta T_{12} - 0,06\Delta P_7$ R = 0,73	$u(t) = 0,31 - 11,72\Delta T_9 + 0,38\Delta W_6 - 0,85\Delta W_7$ R = 0,48	$u(t) = -0,8 + 0,15\Delta T_3 + 0,13\Delta P_6 + 0,07\Delta P_{10}$ R = 0,61

Результаты расчета показали, что наиболее эффективны продуктивные влагозапасы мая и температура воздуха в мае и августе для картофеля. Температура воздуха играет немаловажную роль в

формировании урожая. Прорастание почек клубней в почве начинается при 5–8 °С, всходы и молодые растения повреждаются при заморозках –2 °С. Оптимальная ночная температура для образования клубней 10–13 °С. При 20 °С в почве и выше наступает тепловое вырождение картофеля: удлиняются стебли и боковые побеги, сужаются листовые пластинки, уменьшается содержание хлорофилла в листьях, сокращается урожай и ухудшается его качество. Поэтому в уравнении температура воздуха в августе находится со знаком «←».

Материнские клубни играют существенную роль в водном режиме растений картофеля на первых этапах их роста и развития. Запасы влаги материнского клубня, а при дальнейшем росте и молодых клубней играют роль страхового водного фонда, которым покрывается недостаток почвенной влаги в наиболее напряженные часы суток. Значит, наряду с питательными веществами погода в период вегетации картофеля является важнейшим фактором развития. Дефицит почвенной влаги и недостаток питательных веществ тормозят ростовые процессы, листья прекращают рост. Увлажненность почвы в мае, как правило, достигает и превышает оптимум для картофеля, следовательно, избыток отрицательно сказывается на урожайности. Температура воздуха в мае в значительной мере определяет длину и массу стебля. Положительная взаимосвязь существует между скоростью роста и конечной продуктивностью сортов и гибридов. Эти показатели используются для контроля за ходом формирования урожая и прогнозирования продуктивности растений. В жаркую погоду происходит тепловое вырождение картофеля: удлиняются стебли и боковые побеги, сужаются листовые пластинки, уменьшается содержание хлорофилла в листьях, сокращается урожай и ухудшается его качество, поэтому в уравнении для определения отклонения урожайности картофеля от нормы температура воздуха в августе находится со знаком «←». Урожайность многолетних трав напрямую зависит от осадков и температуры в теплый период. Сильная жара не способствует высокой продуктивности растений, осадков требуется больше, что подтверждает уравнение.

Полученные уравнения позволяют описать урожайность озимой ржи в указанных районах. На рисунке 5.23 приведены наблюдаемые и рассчитанные по уравнениям значения средней областной урожайности. Согласие приведенных на рисунке 5.23 кривых приемлемо, хотя экстремальные значения фактической урожайности озимой ржи описываются не всегда удовлетворительно.

Ошибки расчета урожайности озимой ржи в Пинском районе показали достаточную достоверность полученных результатов: так, в 10 % ошибки попало 41,7 % рассчитанных лет, в 35 % ошибки – 91,7 % лет. Расчет урожайности озимой ржи в Брестском районе показал, что в 10 % ошибки попало 39,6 % рассчитанных лет, в 35 % ошибки – 89,6 % лет. Результаты расчета урожайности в Барановичском районе также имеют допустимую точность: так, в 10 % ошибки попало 24,4 % рассчитанных лет, а в 35 % ошибки – 77,8 % лет.

Проверка предложенной методики на реальном материале показала хорошую сходимость фактической и рассчитанной урожайности, что можно увидеть в таблице 5.7.

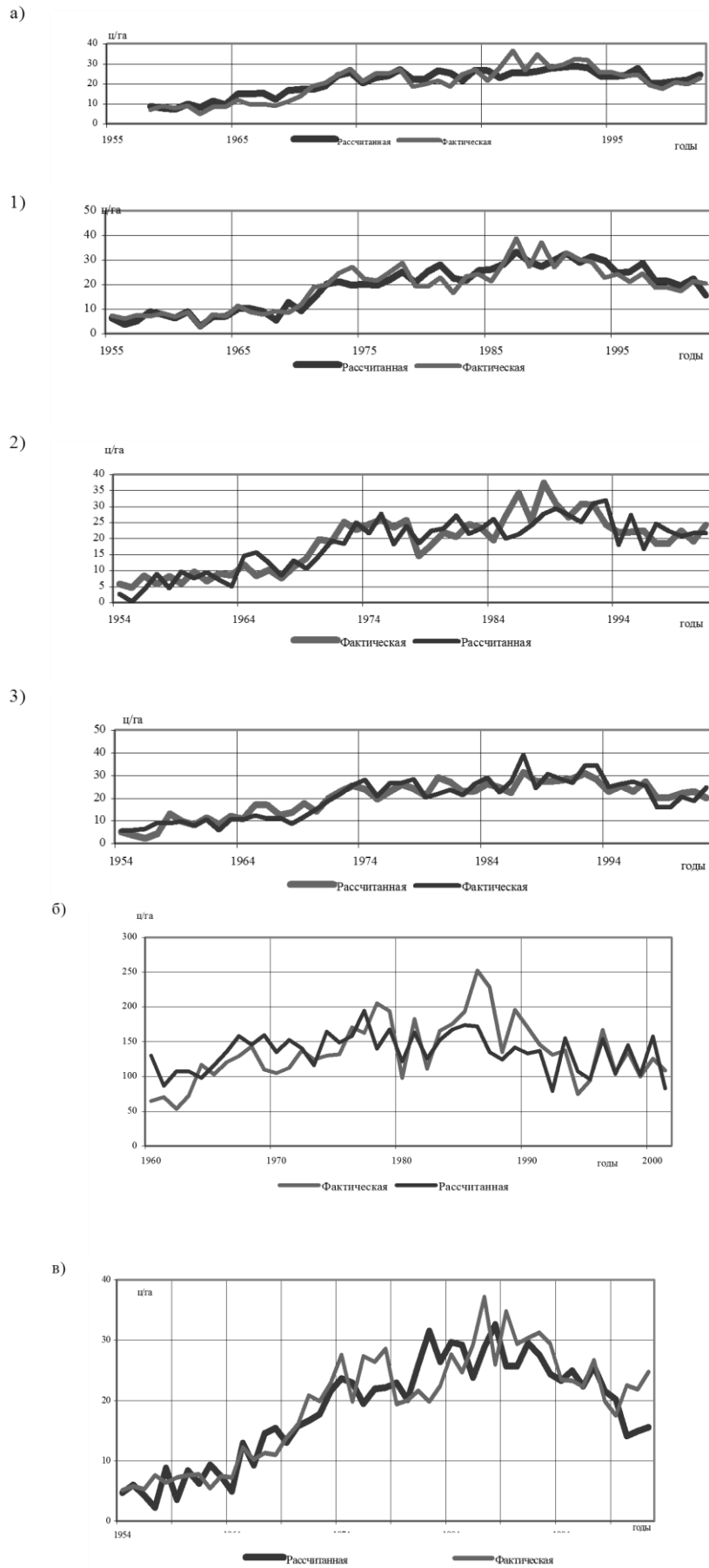
Таблица 5.7 – Ошибки расчета урожайности основных культур в Брестской области

% отклонения расчетной и фактической урожайности	Озимая рожь		Картофель		Многолетние травы	
	Количество лет, %	Нарастающий итог, %	Количество лет, %	Нарастающий итог, %	Количество лет, %	Нарастающий итог, %
0–5	22,22	22,22	9,52	9,52	32,65	32,65
5–10	22,22	44,44	21,43	30,95	22,45	55,10
10–15	15,56	60,0	23,81	54,76	12,24	67,35
15–20	8,89	68,89	23,81	78,57	22,45	89,80
20–35	17,78	86,67	19,05	97,62	6,12	95,92
35–55	8,89	95,56	2,38	100,0	4,08	100,0
55–65	4,44	100,0				

Итак, можно констатировать, что полученная модель адекватно отражает реальную картину урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области. Смоделированные таким образом ряды урожайности отличаются от фактических меньшей изменчивостью, поэтому при моделировании необходимо в погодные данные вводить случайную составляющую $\eta(P)$. Случайную составляющую урожайности сельскохозяйственных культур определяем вероятностным методом, т. е.

$$\pm \eta(P_{\%}) = \pm \bar{\eta}(\Phi_{P_{\%}} \cdot C_v + 1), \quad (5.41)$$

где $\bar{\eta}$ – среднее значение случайной составляющей урожайности, ц/га; $\Phi_{P_{\%}}$ – числа Фостера расчетной обеспеченности; C_v – коэффициент вариации.



а) озимой ржи (1 – Брестский район, 2 – Барановичский район, 3 – Пинский район), б) картофеля, в) многолетних трав

Рисунок 5.23 – Фактическая и рассчитанная динамика урожайности в Брестской области

Используя стандартные статистические методы, находят значения средней величины случайной составляющей ($\bar{\eta}$), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s). Причем случайную составляющую находят как для благоприятных по урожайности ($P < 50\%$), так и для неблагоприятных ($P > 50\%$) лет. По найденным параметрам строят теоретическую кривую обеспеченности. Далее, используя таблицу случайных чисел, путем розыгрыша моделируют значения обеспеченности (P_i). Таким образом, имея некоторый ограниченный объем информации, можно получить, при принятом законе распределения, временной ряд урожайности практически неограниченной длины.

Представление о величине случайной составляющей и ее статистических характеристиках, полученной как разности между фактической урожайностью и фоновой и погодной составляющими, можно получить по данным таблицы 5.8.

Таблица 5.8 – Статистические характеристики случайной составляющей урожайности

Сельскохозяйственная культура	Обеспеченные величины, ц/га				
	5	10	25	75	95
Озимая рожь	7,7	3,6	1,5	-3,0	-5,6
Картофель	57,6	30,5	16,7	-18,9	-42,9
Многолетние травы	46,2	42,9	36,0	4,8	-21,4

Интересно проследить изменение погодных условий. Исходя из физиологических особенностей сельскохозяйственных культур наиболее благоприятным считается теплый с повышенной влажностью год. Благоприятным по урожайности год рассматриваемых культур за исследуемый период наблюдения был 1986–1987 гг. Как видно из таблицы 5.9, в зимний период выпало осадков ниже нормы, но повышенные осадки в марте, мае и июне обеспечили оптимальные влаготзапасы в почве, что благоприятно сказалось на урожайности, хотя по температуре воздуха год был менее благоприятен.

Таблица 5.9 – Климатические параметры за период с октября 1986 по сентябрь 1987 г.

Месяцы	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
атмосферные осадки												
Значение	19,6	33,0	28,4	34,2	20,9	48,5	24,4	73,2	94,5	59,6	55,5	49,2
P, %	79,5	72,7	81,8	40,9	70,5	13,6	84,1	13,6	20,5	68,2	52,3	50,0
температура												
Значение	6,8	3,29	-2,9	-5,6	-3,2	-5,0	5,2	12,7	16,3	17,7	14,7	11,6
P, %	65,9	22,7	61,4	97,7	47,7	93,2	90,9	65,9	54,5	52,3	95,5	68,2

Случайные составляющие вносят определенный вклад в урожайность сельскохозяйственных культур и в ряде случаев должны учитываться при ее моделировании.

Анализ взаимосвязи урожайности и климатических параметров проводился в два этапа. На первом этапе находили отклонения фактической урожайности от фоновой, на втором – анализ полученных временных рядов и агроклиматических показателей.

На второй стадии выполняли исследование статистической структуры полей фактической урожайности с помощью ПКФ.

Пространственно-временные колебания урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области исследовались с помощью ПКФ, которые аппроксимированы линейными уравнениями (5.25), параметры приведены в таблице 5.10 (рис. 5.24). Величина $R(0)$, которой определяется значение ПКФ, при $\rho = 0$ меньше единицы. Это обусловлено наличием в данных наблюдений случайных ошибок, а также микроклиматических различий в расположении сельскохозяйственных полей. Хотя эти различия на каждом поле вызывают систематическое расхождение, при рассмотрении статистического поля урожайности на большой территории они выступают как случайные. Именно этими различиями в основном и определяется имеющий место значительный разброс коэффициентов корреляции относительно средних величин. При отсутствии ошибок в определении урожайности и сходстве микроклиматических и почвенно-гидрологических характеристик сельскохозяйственных полей имело бы место $R(0) = 1$. Таким образом, при $R(0) < 1$ можно оценить, какая доля изменчивости урожайности определяется естественной изменчивостью, вызванной природно-климатическими условиями, а какая возникает за счет индивидуальных свойств сельскохозяйственных полей, приемов и способов обработки и выращивания сельскохозяйственной культуры, погрешностей в определении урожайности.

Как видно на рисунке 5.24, урожайность озимой ржи на территории области колеблется достаточно синхронно. Это обусловлено географическим положением области, ее вытянутостью в широтном направлении, а почвенные условия слабо различимы по территории. Иная картина по урожайности

сти картофеля и многолетних трав. Существенный вклад в асинхронность этих культур вносит влажностный режим, который в большей степени влияет на колебания урожайности.

Таблица 5.10 – Параметры ПКФ урожайности сельскохозяйственных культур Брестской области

Сельскохозяйственная культура	Параметры ПКФ		
	$R(0)$	α	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	0,96	0,000005	0,01
Картофель	0,79	0,0002	0,01
Многолетние травы	0,74	0,0005	0,003

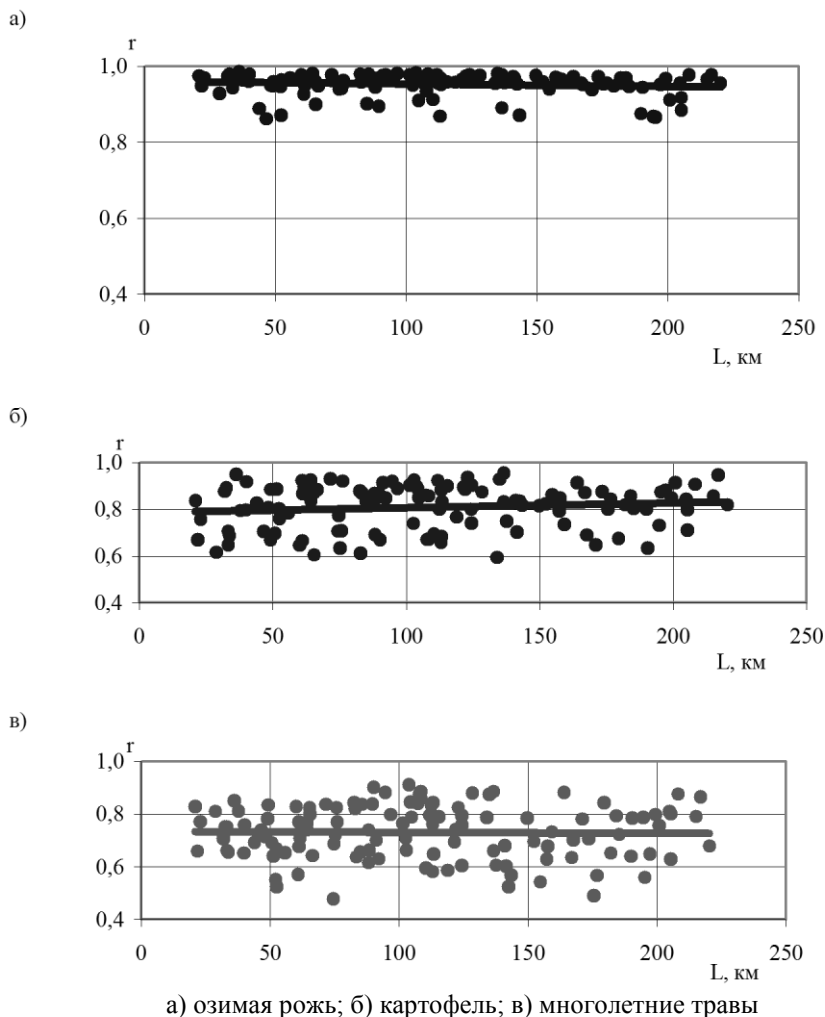


Рисунок 5.24 – Пространственные корреляционные функции урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области

Количественная оценка асинхронности урожайности рассматриваемых культур между Брестским и Лунинецким районами (наиболее удаленные друг от друга районы Брестской области) в различные по погодным условиям годы приведены на рисунке 5.25.

Как видно на рисунке 5.25, асинхронность в урожайности имеет место только в неблагоприятные по климатическим условиям годы. Коэффициент асинхронности достигает 1,2, что соответствует увеличению урожайности на 20 %, поэтому данный факт необходимо учитывать при прогнозировании урожайности. ФПА аппроксимированы полиномом второй степени с коэффициентами, представленными в таблице 5.11.

Для оценки влияния изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур расчетный период был разбит на два интервала: с 1960 по 1984 год и с 1985 по 2005 год, для которых построены регрессионные модели. В результате регрессионного анализа были получены полиномы первой степени для описания погодной составляющей урожайности рассматриваемых сельскохозяйственных культур, структура которых для средней областной урожайности представлена в таблице 5.12, а для средних районных урожайностей – в таблице 5.13.

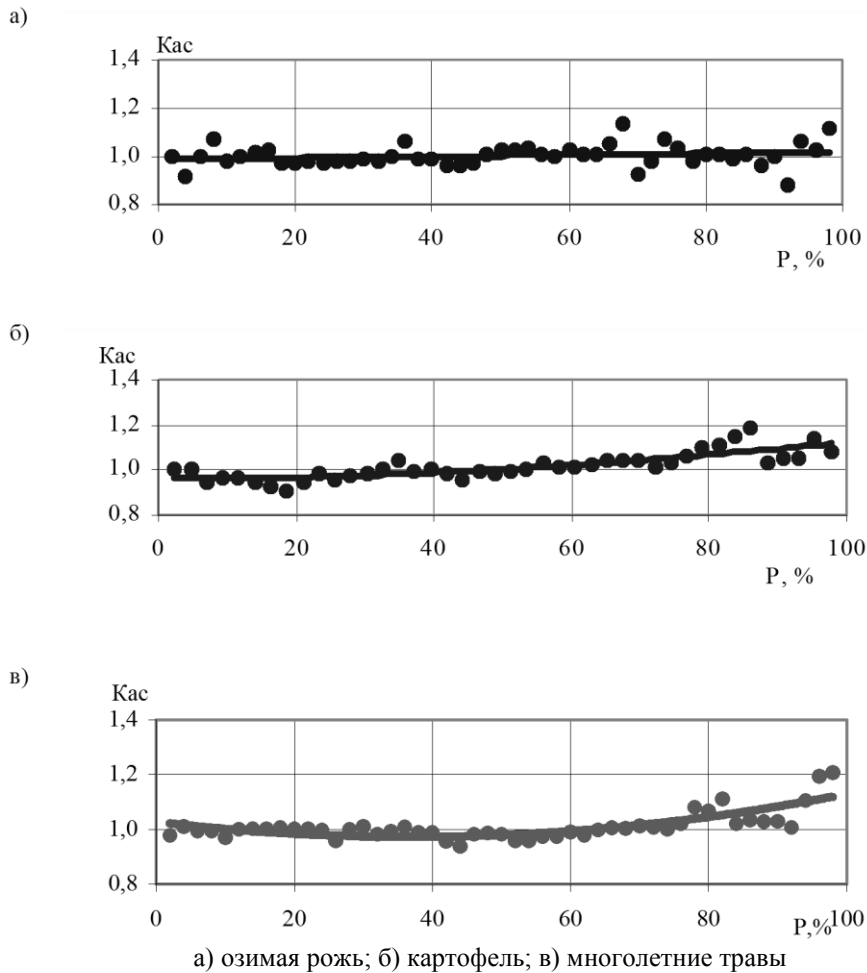


Рисунок 5.25 – Зависимость коэффициентов асинхронности погодной составляющей урожайности между Брестским и Лунинецким районами от обеспеченности

Таблица 5.11 – Параметры функций пространственной асинхронности

Сельскохозяйственная культура	Параметры ФПА			
	a	b	c	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	0,07	0,0003	0,989	0,04
Картофель	0,05	0,0001	0,960	0,67
Многолетние травы	0,0005	-0,003	1,027	0,62

Таблица 5.12 – Модели погодной составляющей средней областной урожайности сельскохозяйственных культур за различные периоды

Сельскохозяйственная культура	Период осреднения	Модель	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	1960 – 1984	$u(t) = -0,89 \cdot \Delta T_7 - 1,32 \cdot \Delta T_{10} - 0,07 \cdot \Delta P_1 + 0,06 \cdot \Delta W_4 - 0,62$	0,67
	1985 – 2005	$u(t) = -0,27 \cdot \Delta T_3 + 0,74 \cdot \Delta T_{12} - 0,15 \cdot \Delta P_2 - 0,06 \cdot \Delta W_4 + 1,10$	0,72
Картофель	1960 – 1984	$u(t) = 6,86 \cdot \Delta T_6 - 5,47 \cdot \Delta T_7 - 4,60 \cdot \Delta T_8 - 0,25 \cdot \Delta P_7 - 4,24$	0,59
	1985 – 2005	$u(t) = 14,60 \cdot \Delta T_4 + 23,92 \cdot \Delta T_6 - 21,33 \cdot \Delta T_7 - 2,90 \cdot \Delta P_4 + 1,43 \cdot \Delta P_5 + 0,28 \cdot \Delta P_7 - 0,44 \cdot \Delta P_8 + 2,19 \cdot \Delta W_4 - 2,24 \cdot \Delta W_5 - 2,51 \cdot \Delta W_7 + 1,41 \cdot \Delta W_8 - 1,97$	0,99
Многолетние травы	1960 – 1984	$u(t) = 0,80 \cdot \Delta T_3 + 0,07 \cdot \Delta P_5 - 0,04 \cdot \Delta P_8 - 1,47$	0,80
	1985 – 2005	$u(t) = 2,11 \cdot \Delta T_7 - 0,24 \cdot \Delta P_4 + 0,10 \cdot \Delta P_5 + 0,05 \cdot \Delta P_6 - 0,06 \cdot \Delta P_7$	0,93

Таблица 5.13 – Модели погодной составляющей средних районных урожайностей сельскохозяйственных культур за различные периоды

Район	Интервал исследования	Озимая рожь	Картофель	Многолетние травы
1	2	3	4	5
Барановичский	1960-1984	$u(t) = 0,12+0,42\Delta T_2-1,01\Delta T_8-0,06\Delta P_9$ R = 0,52	$u(t) = -5,76-4,55\Delta T_2+5,05\Delta T_3-1,03\Delta T_4$ R = 0,61	$u(t) = -0,09+0,52\Delta T_2-0,04\Delta P_6-0,06\Delta P_8$ R = 0,47
	1985-2005	$u(t) = -0,07+0,46\Delta T_2-2,2\Delta T_6-0,05\Delta P_9$ R = 0,6	$u(t) = 10,24-5,47\Delta T_1+12,03\Delta T_3+16,4\Delta T_5-23,41\Delta T_8-1,3\Delta W_7$ R = 0,88	$u(t) = 2,01-1,05\Delta T_5+0,23\Delta P_5+0,07\Delta P_7+0,09\Delta P_8$ R = 0,57
Березовский	1960-1984	$u(t) = -0,94+0,53\Delta T_3-1,1\Delta T_6-1,48\Delta T_8+0,04\Delta P_{10}-0,09\Delta P_{12}$ R = 0,74	$u(t) = 0,15-5,39\Delta T_2+8,61\Delta T_3-5,71\Delta T_9$ R = 0,61	$u(t) = -0,99+0,71\Delta T_2-1,44\Delta T_7+1,49\Delta T_9+0,03\Delta P_{11}$ R = 0,73
	1985-2005	$u(t) = 0,74+0,55\Delta T_3-1,03\Delta T_4-1,34\Delta T_6-0,03\Delta P_9$ R = 0,57	$u(t) = 21,8+7,53\Delta T_5-12,5\Delta T_8-1,8\Delta W_4$ R = 0,82	$u(t) = 0,98-1,44\Delta T_9+0,12\Delta P_6+0,07\Delta P_8-0,07\Delta P_9+0,07\Delta P_{10}$ R = 0,81
Брестский	1960-1984	$u(t) = -0,45+0,61\Delta T_3-1,1\Delta T_4+0,04\Delta P_{10}-0,1\Delta P_{12}$ R = 0,52	$u(t) = -1,59-5,32\Delta T_2+8,5\Delta T_3-6,48\Delta W_9$ R = 0,63	$u(t) = -0,86+1,07\Delta T_9+0,11\Delta P_4-0,08\Delta P_8$ R = 0,69
	1985-2005	$u(t) = 0,82-0,64\Delta T_6-0,24\Delta P_4+0,02\Delta P_8$ R = 0,61	$u(t) = 13,47+15,6\Delta T_5-12,86\Delta T_8-1,42\Delta W_4$ R = 0,71	$u(t) = -1,95-0,29\Delta T_2-0,47\Delta T_4+0,06\Delta P_6-0,03\Delta P_7$ R = 0,75
Ганцевичский	1960-1984	$u(t) = -0,07-1,3\Delta T_9+0,03\Delta P_5$ R = 0,41	$u(t) = -1-5,32\Delta T_2+4,33\Delta T_3+7,6\Delta T_4$ R = 0,48	$u(t) = 0,44-2,4\Delta T_{10}-1,16\Delta P_8+0,11\Delta P_{10}$ R = 0,68
	1985-2005	$u(t) = 1,93-1,37\Delta T_4-1,18\Delta T_6+0,04\Delta P_8$ R = 0,56	$u(t) = 16,9-7,98\Delta T_1-3,6\Delta T_2+16,45\Delta T_3+18,5\Delta T_5+10,95\Delta T_6-21,8\Delta T_8-1,3\Delta W_7$ R = 0,88	$u(t) = -2,27+1,32\Delta T_7+0,29\Delta P_5+0,09\Delta P_7$ R = 0,69
Дрогичинский	1960-1984	$u(t) = 0,38+0,51\Delta T_4-0,04\Delta P_6+0,1\Delta P_9$ R = 0,56	$u(t) = -7,84-7,1\Delta T_2+5,58\Delta T_3-1,29\Delta W_5$ R = 0,62	$u(t) = -0,91-1,67\Delta T_7-12\Delta P_{10}$ R = 0,61
	1985-2005	$u(t) = -0,28+0,49\Delta T_2-1,96\Delta T_6-0,02\Delta P_7$ R = 0,55	$u(t) = 20,1+14,34\Delta T_5-13,61\Delta T_8-1,44\Delta W_4-0,54\Delta W_7$ R = 0,91	$u(t) = 0,24+0,48\Delta T_7-1,05\Delta T_{10}-0,21\Delta P_3+0,08\Delta P_6$ R = 0,71
Жабинковский	1960-1984	$u(t) = 0,44+1,19\Delta T_4-1,42\Delta T_6+0,09\Delta P_5-0,08\Delta P_6+0,12\Delta P_9$ R = 0,78	$u(t) = -11,63-6,14\Delta T_2+5,9\Delta T_3-1,19\Delta W_6$ R = 0,7	$u(t) = -1,72+1,1\Delta T_{10}-0,07\Delta P_8-0,04\Delta P_9$ R = 0,75
	1985-2005	$u(t) = 1,25+0,84\Delta T_7-1,7\Delta T_8-0,21\Delta P_3$ R = 0,54	$u(t) = 27,5-8,51\Delta T_6-12,2\Delta T_8-1,72\Delta W_4$ R = 0,7	$u(t) = 6,09-1,82\Delta T_5-1,1\Delta T_7-0,08\Delta P_7+0,08\Delta P_8$ R = 0,81
Ивановский	1960-1984	$u(t) = 0,33-0,76\Delta T_6-0,02\Delta P_6+0,1\Delta P_9$ R = 0,66	$u(t) = -7,91-8,65\Delta T_2+6,23\Delta T_3-1,02\Delta W_6$ R = 0,68	$u(t) = 1,08+1,18\Delta T_2+0,13\Delta P_5+0,07\Delta P_9$ R = 0,73
	1985-2005	$u(t) = -0,84+0,46\Delta T_2-2,04\Delta T_6$ R = 0,47	$u(t) = 0,21+2\Delta T_4+12,6\Delta T_5-2,82\Delta T_6-1,4\Delta W_4$ R = 0,79	$u(t) = -1,36+1,21\Delta T_7-1,81\Delta T_9-0,05\Delta P_9$ R = 0,54
Ивацевичский	1960-1984	$u(t) = -0,31+0,16\Delta T_3+0,07\Delta P_9+0,04\Delta P_{11}$ R = 0,47	$u(t) = -2,76+5,4\Delta T_3+11,3\Delta T_6-11,86\Delta T_8+0,33\Delta W_8$ R = 0,7	$u(t) = 3,42+0,44\Delta T_6+0,13\Delta P_5+0,06\Delta P_6$ R = 0,63
	1985-2005	$u(t) = 2,29-1,58\Delta T_4-1,1\Delta T_6-0,03\Delta P_6$ R = 0,6	$u(t) = -14,3+4,15\Delta T_2-10,4\Delta T_8-15,9\Delta T_9-1,6\Delta W_5+1,9\Delta W_6-2,6\Delta W_7$ R = 0,83	$u(t) = 14,05-0,89\Delta T_{11}-0,07\Delta P_8-0,05\Delta P_9$ R = 0,62
Каменецкий	1960-1984	$u(t) = -2,73+1,25\Delta T_3-1,25\Delta T_4-2,97\Delta T_8+0,1\Delta P_5-0,06\Delta P_7+0,11\Delta P_{10}-0,22\Delta P_{12}$ R = 0,84	$u(t) = -4,8+4,72\Delta T_3+11,16\Delta T_6-11,76\Delta T_8$ R = 0,69	$u(t) = 0,76+1,04\Delta T_3+1,89\Delta T_4+1,21\Delta T_7+0,04\Delta P_8$ R = 0,76
	1985-2005	$u(t) = 1,35-0,95\Delta T_5-1,24\Delta T_6-0,21\Delta P_4$ R = 0,64	$u(t) = 20,8+12,8\Delta T_5-12,02\Delta T_8-1,62\Delta W_4$ R = 0,79	$u(t) = 1,82-0,76\Delta T_5-0,5\Delta T_{11}-0,05\Delta P_8$ R = 0,47
Кобринский	1960-1984	$u(t) = -1,69+0,81\Delta T_3-2,97\Delta T_8-0,06\Delta P_7+0,07\Delta P_{10}-0,14\Delta P_{12}$ R = 0,66	$u(t) = -12,8+2,56\Delta T_3-0,78\Delta T_5-1,08\Delta W_7$ R = 0,62	$u(t) = 0,3+0,5\Delta T_3+0,02\Delta P_4+0,04\Delta P_8$ R = 0,46
	1985-2005	$u(t) = 0,52\Delta T_2-1,75\Delta T_6-0,04\Delta P_9$ R = 0,49	$u(t) = 29,5-3,1\Delta T_1-9,53\Delta T_8-1,74\Delta W_4$ R = 0,76	$u(t) = 1,28-0,41\Delta T_7-0,12\Delta P_4+0,08\Delta P_6-0,04\Delta P_9$ R = 0,85

Окончание таблицы 5.13

1	2	3	4	5
Лунинецкий	1960-1984	$u(t) = -2,24 + 0,7\Delta T_3 - 2,78\Delta T_8 - 0,08\Delta P_7 + 0,09\Delta P_{10} - 0,14\Delta P_{12}$ $R = 0,64$	$u(t) = -24,5 + 11,82\Delta T_4 - 6,95\Delta T_7 - 1,36\Delta W_4 - 1,24\Delta W_7$ $R = 0,65$	$u(t) = -0,65 + 1,61\Delta T_1 - 2,7\Delta T_5 + 1,96\Delta T_6 + 3,48\Delta T_8 - 0,15\Delta P_7 + 0,17\Delta P_{11}$ $R = 0,85$
	1985-2005	$u(t) = -0,12 + 0,66\Delta T_2 - 2,82\Delta T_6 - 1,95\Delta T_9 - 0,09\Delta P_7$ $R = 0,69$	$u(t) = 15,06 - 22,4\Delta T_9 + 1,19\Delta W_6 - 2,02\Delta W_7$ $R = 0,64$	$u(t) = 6,36 - 1,9\Delta T_7 - 0,33\Delta P_4 + 0,3\Delta P_5 + 0,13\Delta P_8$ $R = 0,79$
Ляховичский	1960-1984	$u(t) = 0,82 + 0,36\Delta T_3 - 0,82\Delta T_8 + 0,1\Delta P_9$ $R = 0,6$	$u(t) = -4,51 + 8,82\Delta T_4 - 8,2\Delta T_7 - 1,33\Delta W_5$ $R = 0,57$	$u(t) = -0,45 + 2,9\Delta T_4 - 0,16\Delta P_3 - 0,07\Delta P_5$ $R = 0,5$
	1985-2005	$u(t) = 3,81 + 1,23\Delta T_3 + 2,11\Delta T_5 + 0,4\Delta T_8$ $R = 0,83$	$u(t) = 17,6 - 5,3\Delta T_1 - 8,36\Delta T_8 - 1,66\Delta W_5$ $R = 0,78$	$u(t) = 1,41 - 1,5\Delta T_6 - 0,15\Delta P_4 - 0,04\Delta P_7$ $R = 0,54$
Малоритский	1960-1984	$u(t) = -0,44 + 0,45\Delta T_3 - 1,66\Delta T_8 + 0,06\Delta P_9 - 0,08\Delta P_{12}$ $R = 0,75$	$u(t) = -1,46 + 10,25\Delta T_6 + 0,77\Delta W_6 - 0,72\Delta W_7$ $R = 0,51$	$u(t) = 0,5 + 1,53\Delta T_2 - 2,34\Delta T_{10} - 0,18\Delta P_8$ $R = 0,72$
	1985-2005	$u(t) = 0,89 - 1,92\Delta T_6 - 0,03\Delta P_7 - 0,02\Delta P_9$ $R = 0,46$	$u(t) = 18,99 + 13,8\Delta T_5 - 11,63\Delta T_8 - 1,67\Delta W_4$ $R = 0,78$	$u(t) = 3,25 - 2,8\Delta T_4 + 0,37\Delta T_{10} + 0,12\Delta P_4$ $R = 0,87$
Пинский	1960-1984	$u(t) = -3,16 + 0,53\Delta T_3 - 2,01\Delta T_8 - 0,05\Delta P_7 + 0,07\Delta P_{10} - 0,11\Delta P_{12}$ $R = 0,62$	$u(t) = -21 - 10,5\Delta T_7 - 1,13\Delta W_7 - 0,56\Delta W_8$ $R = 0,63$	$u(t) = -2,04 + 2,6\Delta T_4 - 0,11\Delta P_3 - 0,06\Delta P_7$ $R = 0,59$
	1985-2005	$u(t) = -0,18 + 3,86\Delta T_7 - 6,03\Delta T_9 - 0,16\Delta P_9$ $R = 0,46$	$u(t) = -20,7 + 11,3\Delta T_7 - 13,8\Delta T_8 - 23,7\Delta T_9 + 6,8\Delta T_{12} - 2,75\Delta W_7 + 1,1\Delta W_8$ $R = 0,91$	$u(t) = 5,7 - 1,33\Delta T_4 - 1,86\Delta T_6 - 1,3\Delta T_7 - 0,08\Delta P_7$ $R = 0,76$
Пружанский	1960-1984	$u(t) = -0,74 + 0,48\Delta T_4 - 1,23\Delta T_8 + 0,03\Delta P_{10} - 0,08\Delta P_{12}$ $R = 0,51$	$u(t) = -4,02 - 6,5\Delta T_2 + 9,36\Delta T_3 - 0,6\Delta W_6$ $R = 0,71$	$u(t) = -0,54 + 0,68\Delta T_3 + 0,03\Delta P_6 - 0,06\Delta P_7$ $R = 0,54$
	1985-2005	$u(t) = -0,07 + 0,23\Delta T_2 - 1,16\Delta T_6 - 0,66\Delta T_9$ $R = 0,42$	$u(t) = 23 - 6,96\Delta T_8 + 3,94\Delta T_{12} - 1,99\Delta W_4$ $R = 0,72$	$u(t) = 2,09 - 1,14\Delta T_4 - 0,55\Delta T_{11} - 0,02\Delta P_9$ $R = 0,79$
Столинский	1960-1984	$u(t) = -0,24 + 0,92\Delta T_2 - 1,31\Delta T_8 - 1,05\Delta T_{10} - 0,06\Delta P_6 - 0,09\Delta P_7 + 0,11\Delta P_9 + 0,1\Delta P_{11}$ $R = 0,86$	$u(t) = -14,3 - 3,6\Delta T_2 - 4,98\Delta T_9 - 1,48\Delta W_4$ $R = 0,58$	$u(t) = 2,11 + 1,63\Delta T_2 - 2,12\Delta T_5 + 3,02\Delta T_8$ $R = 0,72$
	1985-2005	$u(t) = -1,21 + 0,92\Delta T_2 - 2,46\Delta T_6 - 2,73\Delta T_9 - 0,08\Delta P_7$ $R = 0,64$	$u(t) = 32,63 - 10,9\Delta T_8 - 1,21\Delta W_4 - 0,94\Delta W_7$ $R = 0,65$	$u(t) = -1,91 - 1,34\Delta T_9 + 0,12\Delta P_6 + 0,08\Delta P_{10}$ $R = 0,54$

Проведенный анализ показывает, что за период с 1984 по 2005 год произошли существенные трансформации в моделях по сравнению с периодом 1960–1984 гг. Увеличилось влияние статистически значимых факторов, что свидетельствует о росте чувствительности современных сельскохозяйственных культур к погодным условиям. Это обусловлено тем, что при культивировании высокоурожайных сельскохозяйственных культур необходимо особо тщательно выдерживать микроклимат на сельскохозяйственных полях, поэтому в настоящее время усиливается роль мелиорации в получении программируемых урожаев.

Анализ временных рядов отклонений фактической урожайности от фоновой показывает, что они имеют определенные циклы, характерные для климатических характеристик.

Выполненный анализ АКФ отклонений фактической урожайности от фоновой позволяет говорить о статистически значимой внутрирядной связи для озимой ржи ($r(1) = 0,54$) и многолетних трав ($r(1) = 0,60$), менее значимая внутрирядная связь наблюдается у картофеля ($r(1) = 0,18$) (рис. 5.26).

Для разработки прогнозных моделей необходимо установить в анализируемых временных рядах циклы. В связи с тем, что циклы явно не прослеживаются, использован СВАН-анализ, результаты которого представлены на рисунке 5.27.

Исходя из результатов СВАН-анализа и регрессионного анализа, используя сложную цепь Маркова, мы получили частные прогнозные уравнения для отдельных сельскохозяйственных культур, которые представлены в таблице 5.14. Приведенные прогнозные уравнения были получены за период до 1995 г. с целью их проверки на независимом материале за 1996–2000 гг.

Таким образом, на основании детального анализа динамика урожайности основных сельскохозяйственных культур Брестской области (озимой ржи, картофеля, многолетних трав) были установлены основные факторы, определяющие их урожайность. Показано, что величина асинхронности погодной составляющей урожайности сельскохозяйственных культур особенно велика в неблагоприятные по климатическим условиям годы. Разработана методика прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с заблаговременностью в 1 год, которая позволила получить удовлетвори-

тельные результаты при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур. Циклическая модель урожайности оказалась малоперспективной для прогноза, поскольку полученные циклы были неустойчивые во времени.

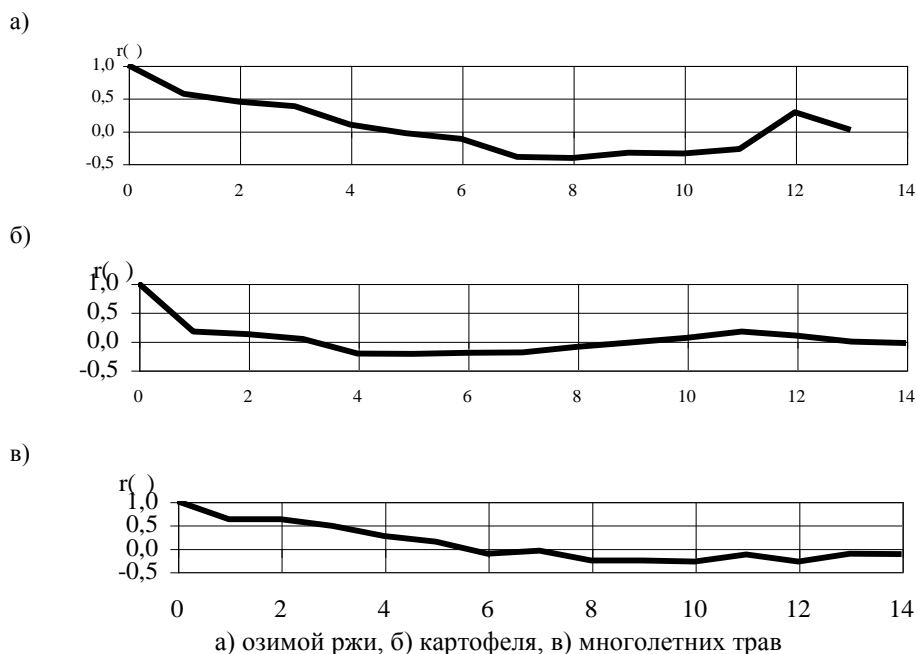


Рисунок 5.26 – Автокорреляционная функция отклонений урожайности от фоновой

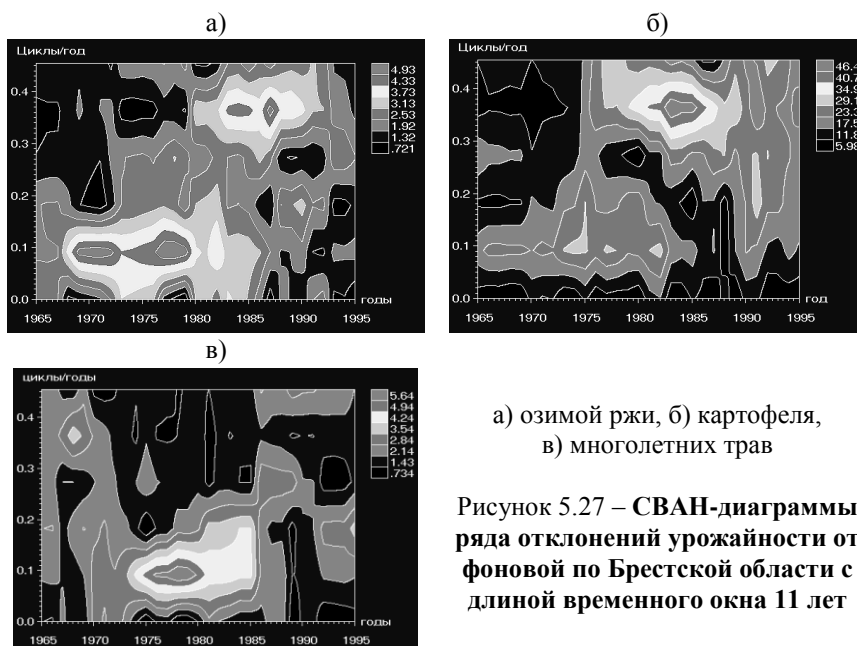


Рисунок 5.27 – СВД-диаграммы ряда отклонений урожайности от фоновой по Брестской области с длиной временного окна 11 лет

Таблица 5.14 – Прогнозные модели погодной составляющей урожайности некоторых сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственная культура	Модель	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	$u(t) = -0,566 \cdot u(t-1) + 0,343 \cdot u(t-7) - 0,094$	0,65
Картофель	$u(t) = -0,229 \cdot u(t-1) - 0,318 \cdot u(t-4) - 0,09$	0,43
Многолетние травы	$u(t) = 0,409 \cdot u(t-1) - 0,465 \cdot u(t-3) - 0,404 \cdot u(t-7) - 0,306 \cdot u(t-11)$	0,72

В приложении Б приведены карты, характеризующие среднюю многолетнюю урожайность на территории Брестской области основных сельскохозяйственных культур.