

Таковы основные характеристики ресурсов поверхностных вод Брестской области.

3.2. Ресурсы почвенной влаги

Почвенная влага является важным для сельскохозяйственного производства источником водных ресурсов. Она является связующим звеном между ресурсами поверхностных и подземных вод и формируется за счет части атмосферных осадков, просачивающихся в толщу почвенного покрова.

Рациональное использование агроклиматических ресурсов является необходимой составной частью научного обоснования мероприятий по повышению плодородия почв. Одним из показателей плодородия почвы является влажность корнеобитаемого слоя. Вместе с тем при оценке земельных ресурсов учитывается главным образом только бонитет почвы. Климату почв не придается должного значения, вероятно, в связи с тем, что при бонитировке почв в какой-то мере учитывается климат приземного слоя атмосферы. Однако этого недостаточно, так как почва является специфической средой, в значительной степени «преломляющей» климат атмосферы. Из всех элементов климата влажность почвы наиболее сложна в силу своей многофакторности и требует специального рассмотрения [Кельчевская, 1983].

Поскольку воды суши являются необходимым фактором существования наземных экосистем целесообразно отнести их к водным ресурсам, а в качестве меры ресурсов почвенных вод логично использовать величину суммарного испарения [Будаговский, Гусев, 1999; Гусев, 1990].

Уравнение среднегодового водного баланса некоторой территории можно представить как [Гусев, 1990]

$$H = E_c + V_n + V_z, \quad (3.11)$$

где H – атмосферные осадки (за вычетом их части, испарившейся с поверхности земли, снега, льда и зеркала внутренних водоемов); V_n и V_z – поверхностная и подземная составляющая речного стока.

Основанием для принятия определения ресурсов почвенных вод служит тот факт, что два последних члена в правой части уравнения (3.11) как раз и фигурируют во многих работах в качестве оценок ресурсов поверхностных и подземных вод. Таким образом, если почвенные воды, – необходимый природный ресурс, используемый растительностью, а V_n и V_z – меры ресурсов других составляющих вод суши, то естественно принять в качестве оценки ресурсов почвенных вод E_c , а H при данном подходе будет показателем ресурсов естественного увлажнения. Это позволяет с единых позиций подойти к оценке возможностей использования биосферой всех вод суши. Из слагаемых уравнений правой части уравнения (3.11) основная доля приходится на ресур-

сы почвенных вод. Поскольку при величине осадков в Брестской области 600 ... 650 мм/год, на испарение приходится 400 ... 450 мм/год. Таким образом, мерой ресурсов почвенных вод, т. е. показателем, характеризующим потенциальную мощность используемой биосферой циркуляции воды в системе почва – растительность – атмосфера, может служить величина суммарного испарения с рассматриваемой территории суши за расчетный промежуток времени.

На рисунке 3.9 показана связь двух циркуляционных структур: круговорота воды в системе почва – растительность – атмосфера (E_c) и круговорота биогенных элементов в растительности, интенсивность которого оценена по годовичному приросту органического вещества суши (M), характеризующему интенсивность образования первичных биологических структур автотрофными организмами [Гусев, 1990].

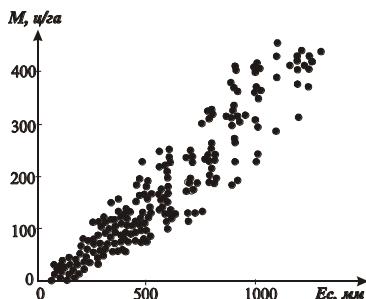


Рисунок 3.9. Связь годового прироста органического вещества растительности с годовым суммарным испарением (среднеголетние данные для различных районов Земного шара) [Гусев, 1990].

В однородных нормальных условиях показатели интенсивности работы фотосинтетического аппарата большинства растений, в среднем, практически одинаково. Отклонение от средних значений вызывает изменение показателей интенсивности и продуктивности фотосинтеза, что наблюдается у растений разных экологических групп.

Ресурсы всех составляющих вод суши связаны при данном методологическом подходе единой основой – они определяются на основе интенсивности потоков воды в соответствующей диссипативной структуре, поскольку интенсивность непрерывных жизненных процессов на Земле поддерживаются только такими водными ресурсами, которые также имеют непрерывный и возобновляемый характер. В этом смысле всякого рода мгновенные «запасы» ресурсами не являются. Они служат характеристиками состояния элементов,

образующих соответствующую диссипативную структуру, позволяя оценивать возможности регулирования временной динамики ее ресурса.

Циркуляция воды поддерживает непрерывную циркуляцию биогенных элементов суши. Поэтому собственно их и можно рассматривать в качестве ресурсов биосферных. В большей степени это относится к почвенным водам, поскольку они приводят в движение самое мощное звено в циркуляции биогенных элементов наземных экосистем – звено зеленых растений суши. Поверхностные воды в этом смысле имеют меньший коэффициент полезного действия, хотя первичная продуктивность водных экосистем в среднем имеет аналогичный порядок величин, что и продуктивность наземных экосистем, но площадь зеркала поверхностных вод суши намного меньше общей площади суши. Искусственное изменение эволюционно сложившихся структур общей циркуляции вод суши скорее всего неблагоприятно для биосферы в целом с точки зрения минимизации общего производства энтропии в ней. Поскольку увеличение и постоянное поддержание упорядоченности создаваемых новых структур (в частности, мелиоративных систем), влекущие за собой локальное уменьшение энтропии в месте расположения этих структур, «обусловлено тем, что где-то в другом месте порождается еще большая неупорядоченность». Последнее обстоятельство является простым следствием второго начала термодинамики [Гусев, 1990].

Анализ исходных данных запасов продуктивной влаги показывает, что они весьма изменчивы. После весеннего снеготаяния, а также после обильных дождей почва насыщается влагой до наименьшей влагоемкости. Такое увлажнение считается оптимальным для растений. При избытке почвенной влаги культурные растения угнетаются, их продуктивность снижается, а при длительном переувлажнении может наступить даже гибель.

К середине вегетационного периода (июнь – июль) вследствие расходования почвенной влаги на суммарное испарение запасы почвенной влаги снижаются. В отдельные периоды влагозапасы могут снижаться до влажности разрыва капиллярных связей и почвенная влага становится мало доступной растениям, а растения начинают угнетаться и при дальнейшем уменьшении влажности растения могут погибнуть.

Почвенные влагозапасы на территории области весной после снеготаяния содержат $5,15 \text{ км}^3$ влаги, что на $0,2 \text{ км}^3$ превышает годовой объем местного стока. Летом они снижаются до $2,19 \text{ км}^3$ и составляют 44,4 % годового местного стока (таблица 3.9) [Булавко, Плужников, 1982] в сравнении с Беларусью в целом.

Таблица 3.9. Данные о средних ресурсах продуктивной влаги в метровом слое почвы по областям Беларуси (в среднем по водности год)

Область	Площадь, тыс. км ²	Местный сток, км ³ /год	Наибольшие ресурсы (апрель – май)			Наименьшие ресурсы (июнь – июль, реже август)		
			объем		в долях от местного стока	объем		в долях от местного стока
			м ³ /га	км ³		м ³ /га	км ³	
Брестская	32,3	4,93	1595	5,15	1,04	680	2,19	0,44
Витебская	40,1	7,91	2340	9,39	1,19	1535	6,16	0,78
Гомельская	40,4	5,61	1590	6,42	1,14	675	2,72	0,48
Гродненская	25,0	4,91	2055	5,14	1,05	1090	2,73	0,56
Минская	40,8	7,78	2110	8,60	1,10	1075	4,38	0,56
Могилевская	29,0	5,27	1925	5,58	1,06	900	2,61	0,49
Беларусь в целом	207,6	36,4	1940	40,28	1,11	1000	20,79	0,57

Как видно из таблицы 3.9 почвенные ресурсы Брестской области заметно ниже средних по республике. Максимальные почвенные ресурсы наблюдаются в Витебской области $2340 \text{ м}^3/\text{га}$, а минимальные – $1590 \text{ м}^3/\text{га}$ в Гомельской области. Это связано с количеством атмосферных осадков, тепло-ресурсами, а также почвами, на юге республики преобладают песчаные почвы, влагоудерживающая способность которых значительно ниже.

Различны водные ресурсы и по бассейнам рек. Так, наибольшие ресурсы в бассейне р. Западный Буг составляют в среднем $1340 \text{ м}^3/\text{га}$, а в бассейне р. Припять $1810 \text{ м}^3/\text{га}$ и наименьшие ресурсы составляют $535 \text{ м}^3/\text{га}$ и $800 \text{ м}^3/\text{га}$ соответственно.

В ряде случаев необходимо учитывать и такой источник водных ресурсов как роса, среднее значение которой за ночь составляет $2 \text{ м}^3/\text{га}$ или за период вегетации $150\text{--}200 \text{ м}^3/\text{га}$, что составляет 20 % ресурсов почвенной влаги [Булавко, 1971]. Несмотря на то, что роса многими не рассматривается как водный ресурс, она является полезной для растений, способствует некоторому снижению водопотребления и экономии ресурсов почвенной влаги.

Водный режим почв вообще и режим увлажнения корнеобитаемого слоя почвы в частности, а также влагообеспеченность культур остаются все

еще актуальными проблемами сельскохозяйственного производства. Влажность корнеобитаемого слоя почвы является одним из показателей ее плодородия. Сведения о балансе естественного увлажнения почвы крайне необходимы при решении задач моделирования и прогноза засушливых явлений погоды, а также погодных ситуаций, представляющих определенную опасность для сельскохозяйственного производства (эрозийноопасное состояние почвы, предпосылки к вымоканию, полеганию и болезням сельскохозяйственных культур).

Критерии оценки влагообеспеченности культур или территорий, основанные на использовании данных о влажности почвы, является более информативными для целей сельского хозяйства, так как обладают большой инерционностью во времени. Уже по осенним влагозапасам в почве можно судить о степени их увлажнения к весне, если известны общие закономерности формирования влаги в почве в зимне-весенний период. Общие закономерности внутрипочвенного передвижения влаги проявляются в многолетнем режиме влажности почв, в динамике средних многолетних запасов продуктивной влаги в почве. Многолетние запасы продуктивной влаги и их пространственная изменчивость могут быть использованы для сравнительной оценки увлажнения почв каждого конкретного года. Такая оценка дает некоторое представление о влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в текущем году.

Водный режим почвы может определяться как теоретическим (расчетным путем), так и путем непосредственных наблюдений.

Измерение влажности почвы производится на ограниченном числе агрометеостанций и в основном на полях занятых сельскохозяйственными культурами. Запасы продуктивной почвенной влаги под различными культурами и для различных почв приведены в таблице 3.10 [Агроклиматический..., 1970].

Таблица 3.10. Средние значения продуктивной почвенной влаги по слоям под различными сельскохозяйственными культурами, мм

Метеостанция и тип почвы	Слой почвы, см	апрель	май			июнь		
		3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Яровая пшеница								
Ганцевичи (супесчаная)	0-10	-	-	30	25	25	25	20
	0-20	-	-	50	45	45	45	35
	0-50	-	-	105	95	90	80	75
	0-100	-	-	190	190	165	150	135
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	15	15	15	15	15	10	10
	0-20	35	30	30	30	25	20	20
	0-50	70	70	70	65	60	40	45
	0-100	110	115	110	110	100	65	80

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пинск (супесчаная)	0-10	20	20	20	20	15	10	10
	0-20	40	40	40	35	30	20	20
	0-50	100	100	100	90	75	60	45
	0-100	215	205	205	185	170	140	125
Овес								
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	15	15	15	15	10	10	10
	0-20	30	30	30	25	20	15	15
	0-50	65	65	60	55	50	35	35
	0-100	105	110	105	95	80	60	65
Кукуруза								
Ганцевичи (супесчаная)	0-10				10	15	15	15
	0-20				20	30	35	30
	0-50				–	75	75	75
	0-100				–	140	140	150
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	15	15	15	15	10	10	10
	0-20	30	30	30	30	25	20	25
	0-50	70	70	60	65	55	55	55
	0-100	105	100	95	100	90	85	80
Брест (супесчаная)	0-10	15	15	10	10	15	10	10
	0-20	30	25	25	25	25	25	25
	0-50	65	60	60	55	60	55	60
	0-100	120	105	110	105	115	115	110
Лен								
Пружаны (супесчаная)	0-10		15	21	20	18	18	20
	0-20		33	44	40	38	37	39
	0-50		75	108	68	80	76	66
	0-100		162	197	135	151	146	147
Брест (супесчаная)	0-10	18	13	11	11	14	15	10
	0-20	36	30	29	26	29	26	23
	0-50	84	75	71	68	71	72	68
	0-100			126	143	135	163	106
Картофель								
Ганцевичи (супесчаная)	0-10	-	25	20	20	20	25	20
	0-20	-	45	45	40	50	50	45
	0-50	-	130	115	110	120	110	100
	0-100	-	295	250	250	260	255	240
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	15	15	15	15	15	10	10
	0-20	30	30	30	30	30	25	20
	0-50	70	65	70	65	70	55	50
	0-100	120	100	110	100	110	90	80
Пинск (супесчаная)	0-10	20	20	15	15	15	15	15
	0-20	40	40	35	35	30	30	25
	0-50	100	100	90	90	90	80	75
	0-100	200	200	185	190	180	175	160
Брест (супесчаная)	0-10	15	15	15	10	10	10	10
	0-20	30	25	30	25	25	25	20
	0-50	65	65	65	55	60	55	55
	0-100	125	110	115	110	110	100	95

→ продолжение таблицы

Метеостанция и тип почвы	Слой почвы, см	июль			август			сентябрь	
		1	2	3	1	2	3	1	2
Яровая пшеница									
Ганцевичи (супесчаная)	0-10	20	20	15	15	15	15		
	0-20	35	35	30	30	30	25		
	0-50	70	65	55	50	50	-		
	0-100	130	120	115	110	110	110		
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	10	5	-	-	-	-		
	0-20	20	10	-	-	-	-		
	0-50	35	25	-	-	-	-		
	0-100	60	45	-	-	-	-		
Пинск (супесчаная)	0-10	10	10	10	10	15	10		
	0-20	15	15	15	20	25	25		
	0-50	40	40	35	40	50	55		
	0-100	115	105	105	105	125	125		
Овес									
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	5	5	10	-	-	-		
	0-20	15	15	15	-	-	-		
	0-50	30	25	35	-	-	-		
	0-100	50	50	50	-	-	-		
Кукуруза									
Ганцевичи (супесчаная)	0-10	15	15	10	10	10	10		
	0-20	30	30	30	25	25	25		
	0-50	75	75	70	65	60	55		
	0-100	135	130	135	130	135	125		
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	10	10	10	10	10			
	0-20	20	20	20	25	25			
	0-50	50	45	45	55	45			
	0-100	85	75	75	85	70			
Брест (супесчаная)	0-10	10	10	10	10	9	10		
	0-20	25	25	20	25	20	20		
	0-50	60	55	55	60	45	45		
	0-100	115	100	105	110	90	85		
Лен									
Пружаны (супесчаная)	0-10	11	10	13					
	0-20	22	20	25					
	0-50	50	47	55					
	0-100	109	114	108					
Брест (супесчаная)	0-10	12	11	13					
	0-20	24	24	29					
	0-50	63	56	73					
	0-100	113	95						
Картофель									
Ганцевичи (супесчаная)	0-10	20	15	15	15	15	10	15	15
	0-20	40	30	30	30	30	25	35	30
	0-50	100	85	85	85	85	80	70	65
	0-100	240	205	210	210	210	200	210	160

Метеостанция и тип почвы	Слой почвы, см	июль			август			сентябрь	
		1	2	3	1	2	3	1	2
Ивацевичи (супесчаная)	0-10	10	10	10	10	10	10	10	10
	0-20	20	20	20	20	15	15	15	15
	0-50	60	40	40	40	40	35	35	40
	0-100	80	70	70	65	65	60	60	65
Пинск (супесчаная)	0-10	15	10	10	10	10	10	10	–
	0-20	25	25	20	25	20	20	20	25
	0-50	70	60	55	55	55	55	50	65
	0-100	150	140	135	130	130	130	125	130
Брест (супесчаная)	0-10	15	10	10	10	10	5	10	
	0-20	20	15	15	20	20	15	15	
	0-50	50	45	40	50	45	35	35	
	0-100	90	80	80	90	80	70	75	

Сведения о временной изменчивости влажности почвы весьма актуальны, так как любые вероятностные характеристики являются в той или иной мере прогностическими.

Стохастическая природа влажности почвы предопределяет использование в качестве подхода к его описанию аппарата математической статистики, базирующегося на законах теории случайных функций. Характер кривой распределения вероятностей продуктивных запасов почвенной влаги определяется типом режима увлажнения почв и механическим составом почвы. Теоретическую кривую обеспеченности строят на основании математических кривых распределения, наиболее полно отражающих характер изменчивости этой величины. По аналогии с гидрологическими расчетами для установления распределения среднесуточных значений декадных влагозапасов, коэффициентов вариации (C_v), коэффициентов асимметрии (C_s) и соотношения (C_s/C_v) используются математические кривые двух видов: биномиальная кривая распределения Пирсона III типа и трехпараметрическое гамма-распределение.

Исходная информация по влажностному режиму дерново-подзолистых почв Пружанской равнины представлена декадными многолетними рядами измеренной влажности почвы на стационарной агрометеорологической сети. Теоретические кривые сопоставлены с непосредственными данными наблюдений, в результате получено, что эмпирическим точкам распределения лучше всего соответствуют кривые трехпараметрического гамма-распределения (таблица 3.11).

Таблица 3.11. Параметры распределения запасов продуктивной влаги W в 20-ти (числитель) и 50-ти (знаменатель) *см* слое дерново-подзолистых супесчаных почв по метеостанции Пружаны

Декады	\bar{W} , мм	$W_{P=5\%}$	$W_{P=25\%}$	$W_{P=75\%}$	$W_{P=95\%}$	C_v	C_s/C_v
II.04	38,4	45,0	41,1	35,7	32,0	0,17	3,5
	91,0	106,6	97,4	84,8	76,1	0,16	5,0
III.04	36,2	49,0	41,0	31,0	25,2	0,25	4,0
	81,8	111,4	91,7	70,2	58,3	0,23	5
I.05	34,4	45,8	38,9	29,6	23,2	0,26	0,5
	75,9	89,0	81,3	70,7	63,4	0,20	1,5
II.05	30,6	40,8	34,6	26,4	20,6	0,25	0,5
	68,4	91,0	77,3	58,9	46,2	0,23	0,5
III.05	25,9	45,2	31,9	18,3	11,5	0,47	2,0
	60,2	92,9	71,1	47,2	34,0	0,36	3,0
I.06	18,7	38,1	27,2	9,4	2,1	0,65	1,5
	42,6	80,9	56,6	26,5	11,2	0,51	2,5
II.06	23,0	42,9	31,1	14,1	5,0	0,55	1,5
	45,5	84,6	61,4	27,9	10,0	0,53	2,0
III.06	18,0	41,4	26,3	7,7	1,5	0,71	2,5
	37,7	88,3	52,4	17,3	4,9	0,75	3,0
I.07	23,2	43,3	31,4	14,2	5,1	0,55	1,0
	43,7	91,7	60,7	23,1	6,9	0,61	1,0
II.07	22,0	47,0	29,7	12,0	4,5	0,64	3,0
	42,9	101,2	57,5	20,9	7,7	0,74	3,0
III.07	22,5	53,3	30,2	11,0	4,0	0,76	4,0
	40,7	112,1	54,2	15,7	5,2	0,95	4,5

При анализе точечных данных установлена тесная связь коэффициентов вариации (C_v) со средними многолетними декадными значениями запасов продуктивной влаги в почве (\bar{W}), которая аппроксимирована экспоненциальной зависимостью

$$C_v = \frac{\alpha}{\bar{W}^\beta}, \quad (3.22)$$

где α и β – эмпирические коэффициенты, которые равны для 20 *см* слоя – $\alpha = 17,24$; $\beta = 0,47$ при коэффициенте корреляции $r = 0,95$; для 50 *см* слоя – $\alpha = 34,87$, $\beta = 0,50$, $r = 0,97$.

В связи с тем, что для определения третьего статистического момента с требуемой точностью необходима выборка не менее 150 значений, нами применен метод увеличения объема исходной информации путем объединения многолетних данных о влажности почвы нескольких последовательных декад. В статистическом смысле подобная задача адекватна задаче проверки «нуль - гипотезы» и сводится к доказательству принадлежности объединяемых выбо-

рок к одной и той же генеральной совокупности. Положительный исход проверки «нуль-гипотезы» для объединяемых выборок позволяет формировать одну квазистационарно однородную совокупность, являющуюся отражением физического существа процесса формирования поля влажности почвы и обладающую большей информативностью, чем каждый из объединяемых рядов. В результате было установлено, что выборки декадных значений 20-ти см слоя имеют отрицательный коэффициент асимметрии, который колеблется от -0,06 до -0,50.

Выполненный анализ корреляционной матрицы рядов декадных величин влажности почвы, показал хорошую связь влажностей смежных декад. Выявленные связи могут быть аппроксимированы линейными уравнениями регрессии типа

$$W_{i+1} = a \cdot W_i + b, \quad (3.22)$$

где W_i , W_{i+1} – влажность почвы текущей и последующей декад соответственно; a и b – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12. Параметры уравнения регрессии (3.22) для 20-ти (числитель) и 50-ти (знаменатель) см слоя дерново-подзолистых супесчаных почв по метеостанции Пружаны

Декады	I.04- II.04	II.04- III.04	III.04- I.05	I.05- II.05	II.05- III.05	III.05- I.06	I.06- II.06	II.06- III.06	III.06- I.07	I.07- II.07	II.07- III.07
a	0,02 0,43	0,91 0,79	0,61 0,33	0,63 0,63	1,03 0,67	0,50 0,48	0,44 0,55	0,63 0,77	0,53 0,69	0,66 0,77	0,88 0,99
b	36,29 46,21	1,62 10,60	12,78 49,41	9,52 21,47	7,227 10,91	7,10 16,86	11,93 18,06	6,48 8,23	11,06 14,62	7,32 12,09	1,77 -4,19
r^*	0,04 0,49	0,70 0,40	0,59 0,15	0,72 0,40	0,72 0,32	0,48 0,21	0,45 0,31	0,66 0,52	0,47 0,46	0,65 0,53	0,72 0,79

* r – коэффициент корреляции.

При исследовании влажности почвы параллельно анализировалась динамика урожайности ячменя. Ячмень яровой в зерновом балансе является основной фуражной культурой. В структуре зерновых на долю ячменя приходится 32,6 %, а в общей посевной площади – 14,7 %. Посевы под ним по сравнению с 1965 г. увеличились в 2,4 раза. В 1985 г. средняя урожайность ячменя в колхозах и госхозах составила 30,1 ц/га, в Брестской области – 32,0 ц/га. В 1986 г. в республике был получен самый высокий урожай культуры - 31,4 ц/га.

Рассматриваемый период можно разделить на две части с 1971–1986 гг. (рисунок 3.10) и 1987 – 2000 гг. (рисунок 3.11). В первой части наблюдается устойчивая урожайность с незначительными колебаниями. Во второй части явно прослеживается уменьшение урожайности которую аппроксимировали

линейным уравнением $Y = 3465,7 - 1,7251 \cdot t$, где t – календарный год, Y – урожайность, ц/га. Коэффициент корреляции $r = 0,84$.

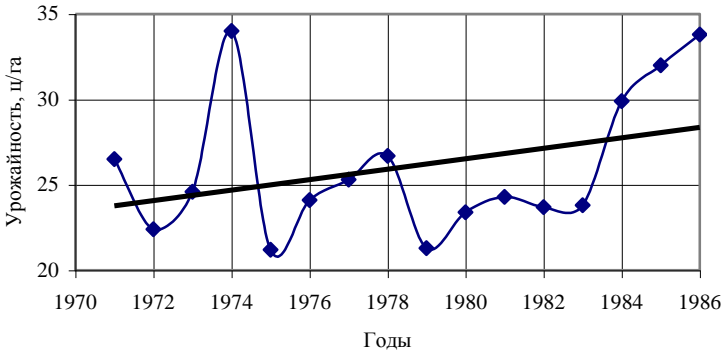


Рисунок 3.10. Динамика урожайности ячменя на минеральных почвах за период 1971 – 1986 гг.

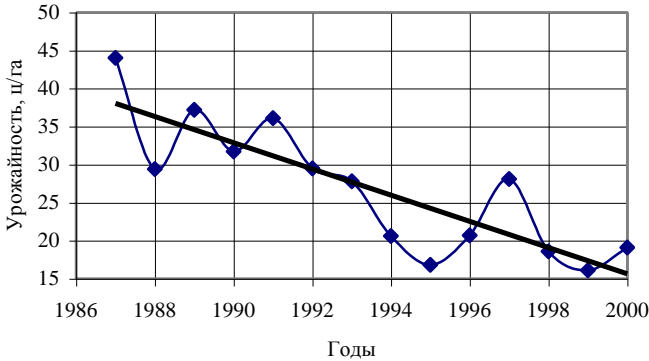


Рисунок 3.11. Динамика урожайности ячменя на минеральных почвах за период 1987 – 2000 гг.

Температура воздуха также влияет на урожайность. Температура в пределах ее значения от биологического минимума до биологического максимума является регулятором процессов роста и развития растений. При этом продуктивность различна при разных уровнях температуры. Низкие температуры, близкие к биологическому минимуму, обуславливают очень медленное

образование органического вещества. Естественно, что и количество его в таких условиях оказывается чрезвычайно малым. Высокие температуры, граничащие с биологическим максимумом, наоборот, способствуют очень большим скоростям развития, и полноценное органическое вещество не успевает образоваться в достаточном количестве. Если же температура среды соответствует гармоническому оптимуму, то образуется наибольшее количество полноценной продукции.

Исследования [Дмитренко, 1969, 1970] показали, что продуктивность растений существенно связана и с количеством атмосферных осадков. Роль осадков в формировании урожайности изучена в меньшей мере, чем роль почвенных влагозапасов. Однако осадки являются основным источником поступления влаги в почву и водоснабжения растений. С другой стороны, ливни, град, теплые дожди в холодный период года и т. п. неблагоприятно воздействуют на прирост растительной массы и урожай сельскохозяйственных культур. Кроме того, информация об атмосферных осадках обладает определенными преимуществами перед данными о влагозапасах благодаря простоте и доступности ее получения.

На рисунке 3.12 показано влияние климатических параметров различных декад, начиная с первой декады апреля на урожайность ячменя. Можно выделить декады которые существенно влияют на урожайность ячменя. Это декады приходящие на ключевые фазы развития.

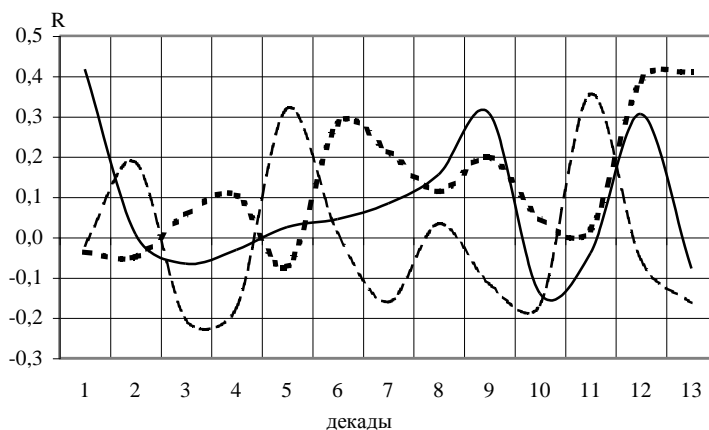


Рисунок 3.12. Временной ход коэффициентов корреляции урожайности ячменя с климатическими факторами : — декадными величинами влажностями 50-ти см слоя почвы; - - - - декадными величинами атмосферными осадками; — · — декадными величинами температурой.

мосферных осадков; - - - - - декадными величинами температуры воздуха.

Из всех элементов климата почвенная влажность наиболее сложна в силу своей многофакторности и требует специального рассмотрения. По своей сущности влажность почвы представляет собой сложное природное формирование, в основе которого лежит процесс рандомизации, суть которого заключается в суммировании всех случайно действующих факторов, определяющих условия формирования водного режима почв. Процесс рандомизации приводит к тому, что значения влажности почвы в различных точках территории имеют характер случайных величин и проявляются в виде дискретного случайного поля.

Поле влажности почвы является исключительно сложным природным формированием с отчетливо выраженным сезонным и годовым ходом. Влажностный режим почвы формируется под совокупным влиянием как погодных условий (осадки, температура, влажность воздуха и др.), так и целого ряда гидрофизических и агрометеорологических элементов и факторов, таких как глубина залегания уровня грунтовых вод, механический и литологический состав и тип почв, рельеф местности, произрастающих культур, экспозиции склона и др. Стохастическая природа поля предопределяет использование в качестве подхода к его описанию аппарата математической статистики, базирующегося на законах теории случайных функций. Такой подход к исследованию структуры баланса естественного увлажнения почвы позволяет вскрыть его общие свойства, характерные для территорий определенного масштаба во времени.

Можно использовать два подхода к решению проблемы с помощью: классических методов математической статистики (законов распределения, статистических моментов); аппарата корреляционной теории случайных функций.

Факт изменения одной случайной величины в зависимости от другой содержит две компоненты: стохастическую и случайную. В том случае, когда случайные величины связаны между собой зависимостью, это указывает на наличие стохастической компоненты. Случайная же компонента характеризует каждое случайное событие по комплексу основных, присущих только данному событию факторов. Если стохастическая компонента отсутствует, то случайные величины независимы. Отсутствие или наличие стохастической связи между случайными величинами в значительной степени предопределяет один из возможных вариантов подхода к исследованию статистической структуры поля баланса естественного увлажнения почвы.

Огромное значение при решении задачи исследования структуры поля почвенных ресурсов принадлежит исходной информации по влажностному режиму почвы. Исходная информация предопределяет не только методы исследования, но от нее в огромной мере зависит качество итога исследования.

Многие исследователи отмечают недостаточно высокую точность, а самое главное – малую представительность (репрезентативность) изменений для характеристики влажности почвы больших территорий.

Измеренная влажность почвы характеризует только локальный участок измерения. В настоящей работе использованы влажности почвы, рассчитанные методом водного баланса, которые в большей степени характеризуют зональность изменения и являются репрезентативными для больших территорий.

Расчетная влажность почвы обладает очевидными преимуществами. Поэтому для оценки влажности почв Брестской области использовался водно-балансовый метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) [Мезенцев, 1969, 1976] ранее применяемый для воднобалансовых расчетов на территории Беларуси [Волчек, 1986, 2000], математическое уравнение, которого имеет вид

$$W_{i+1} = W_i + X_i - E_i, \quad (3.23)$$

где W_{i+1} , W_i – влажность деятельного слоя почвы на конец и начало расчетного интервала, мм; X_i – атмосферные осадки за расчетный интервал, мм; E_i – суммарное испарение за расчетный период, мм.

Суммарное испарение рассчитывалось по методу гидролого-климатических расчетов. Методика расчета приведена в главе 1.

При воднобалансовых расчетах использованы данные о диапазоне активной влаги (ДАВ) равном разности между наименьшей влагоемкостью и влажностью разрыва капиллярных связей (W_{BPK}).

При этом анализировались следующие случаи:

- $W_{i+1} > W_{HB}$ – влажность на конец расчетного интервала больше допустимой, наблюдается избыток влаги;
- $W_{BPP} \leq W_{i+1} \leq W_{HB}$ – влажность находится в оптимальном диапазоне;
- $W_{i+1} < W_{BPP}$ – влажность находится ниже оптимальной.

В силу различных обстоятельств сведения о водно-физических свойствах зачастую являются неполными. К основным водно-физическим (агро-гидрологическим) свойствам почв относятся: объемная масса (V_{OM}), максимальная гидроскопичность (W_{MT}), влажность завядания (W_{B3}), влажность разрыва капилляров (W_{BPK}), наименьшая (W_{HB}), капиллярная (W_{KB}) и полная ($W_{ПВ}$)

влагоемкость. Ряд перечисленных характеристик не определяется из-за трудоемкости экспериментов. Массовые данные по W_{BPK} вовсе отсутствуют, так как методы определения этого параметра на метеостанциях и в производственных условиях еще не освоены. Одним из путей получения недостающей информации является установление корреляционных зависимостей между различными характеристиками водно-физических свойств почв [Волчек, Макаревич, 1986].

Для минеральных почв предлагаются следующие зависимости

$$W_{KB} / W_{HB} = 1 + 4,93 \cdot \exp(-0,02W_{HB}); \quad (3.24)$$

$$(r = 0,918 \pm 0,028; F = 8,256 > F_{(31;30;1\%)}^T = 2,412);$$

$$W_{BPK} / W_{HB} = -0,13 + 0,38 \lg(W_{HB}); \quad (3.25)$$

$$(r = 0,710 + 0,091; F = 1,872 > F_{(30;29;5\%)}^T = 1,854).$$

При отсутствии опытных данных по W_{HB} ее можно определить по различного рода зависимостям, а также через W_{MG} :

$$W_{HB} = 74,9 + 3,24 \cdot W_{MG} \quad (3.26)$$

$$(r = 0,75 + 0,043; F = 2,646 > F_{(35;34;2,5\%)}^T = 2,052).$$

Все расчеты (в мм водного слоя) выполнены для полуметрового слоя почв, в основном определяющего водообеспеченность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических и мелиоративных исследованиях и расчетах. Для перехода к метровому слою можно воспользоваться переходным коэффициентом 1,9. Для более наглядного представления о категориях почвенной влаги построена номограмма (рисунок 3.13). За основу принята W_{HB} , представленная на оси абсцисс, как наиболее важная гидромелиоративная характеристика почв.

При построении номограммы, W_{B3} определялась по соотношению W_{B3}/W_{MG} , которое для песчаных почв – 1,44; супесчаных – 1,39; суглинистых и глинистых – 1,32. На номограмме выделены следующие категории почвенной влаги:

- А – мертвый запас влаги (от 0 до W_{MG});
- Б – недоступная для растений влага (между W_{MG} и W_{B3});
- В – недостаточное увлажнение (между W_{B3} и W_{BPK});
- Г – оптимальное увлажнение (между W_{BPK} и W_{HB});
- Д – допустимое повышенное увлажнение на время, меньшее критического для растений (между W_{HB} и W_{KB});
- Е – избыточное увлажнение (между W_{KB} и $W_{ПВ}$).

Данная номограмма позволяет решать ряд практических задач и использована нами для определения баланса естественного увлажнения.

Предлагаемые зависимости и номограмма получены для условий дерново-подзолистых почв различного механического состава, которые наиболее представительны для Беларуси и Брестской области в частности.

Результаты расчетов влажности 50-ти см слоя почвы по некоторым метеостанциям Брестской области приведены в таблице 3.13.

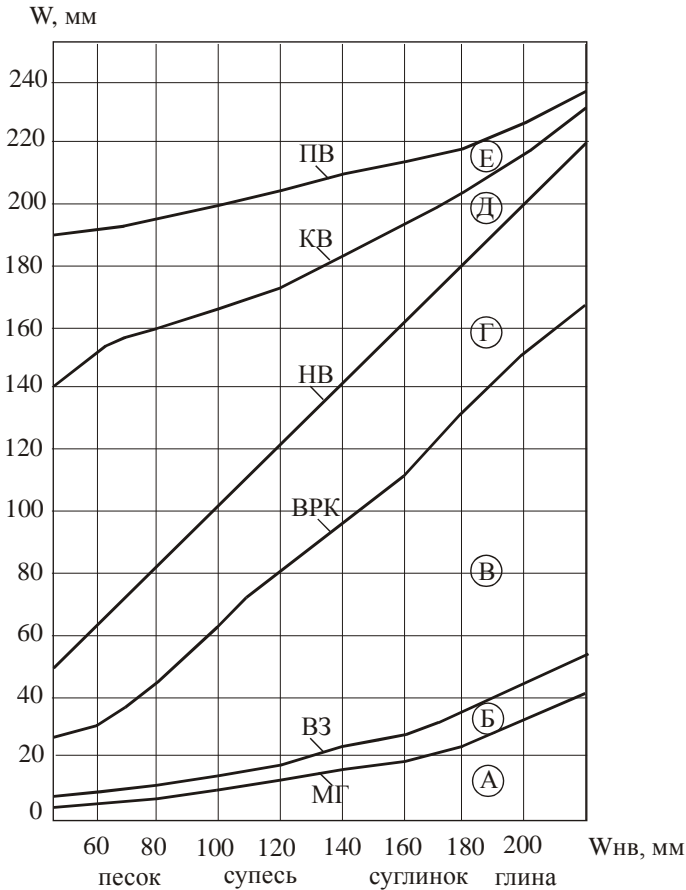


Рисунок 3.13. Номограмма для определения водно-физических характеристик минеральных почв (слой 0-50 см).

Таблица 3.13. Среднемесячная влажность почвы в долях от наименьшей влагоемкости (слоя 0-50 см)

Метеостанции	Месяцы						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Барановичи	1,09	0,04	0,80	0,82	0,87	0,92	1,03
Ганцевичи	1,02	0,85	0,80	0,87	0,95	0,97	1,03
Ивацевичи	1,00	0,82	0,77	0,82	0,88	0,89	0,95
Пружаны	0,96	0,77	0,77	0,76	0,82	0,86	0,92
Полесская	0,90	0,73	0,71	0,83	0,89	0,92	1,01
Пинск	0,99	0,82	0,78	0,82	0,87	0,87	0,91
Брест	0,81	0,65	0,67	0,65	0,72	0,73	0,73

Для оценки достоверности расчетов использовались независимые методы расчета составляющих водного баланса. В качестве базы сравнения были приняты следующие методы определения испарения: водного баланса, комплексный метод и почвенных испарителей. Кроме того, сопоставлялись рассчитанные и измеренные величины стока и влажности почвы. Оценка надежности результатов выполнена для средних многолетних условий а также за реальные месяцы.

По результатам воднобалансовых расчетов можно установить наличие дефицитов (D_i) или избытков (I_i) водного баланса ($ВБ$) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени из соотношений:

$$D_i \cdot \left\{ \begin{array}{l} W_i - W_{нв}, \text{ если } W_i > W_{нв} - \text{требуется осушение;} \\ 0, \text{ если } W_{нв} \geq W_i \geq W_{врк} - \text{гидромелиорации не требуются;} \\ W_i - W_{врк}, \text{ если } W_i < W_{врк} - \text{требуется орошение,} \end{array} \right. \quad (3.27)$$

Сведения о водном балансе естественного увлажнения почвы представляют большую ценность при решении целого ряда научно-практических задач. Вопросы мелиорации, водно-балансовые расчеты, оценка влагообеспеченности сельскохозяйственных растений, определение сроков сева и способа уборки урожая, проходимость автотракторной техники вот далеко не полный перечень тех важных задач, которые могут быть решены только при наличии сведений о влажностном режиме почв. Сведения о балансе естественного увлажнения почвы крайне необходимы при решении задач моделирования и прогноза засушливых явлений погоды, а также погодных ситуаций, представляющих определенную опасность для сельскохозяйственного производства (эрозийноопасное состояние почвы, предпосылки к вымоканию, полеганию и болезням сельскохозяйственных культур).

Существо перечисленных выше задач требует при их решении наличия сведений о влажности почвы не в точке, а на некоторой площади, величина

которой зависит как от характера решаемой задачи, так и от природы поля баланса естественного увлажнения почвы.

Стохастическая природа поля предопределяет использование в качестве подхода к его описанию аппарата математической статистики, базирующегося на законах теории случайных функций. Такой подход к исследованию структуры баланса естественного увлажнения почвы позволяет вскрыть его общие свойства, характерные для территорий определенного масштаба во времени.

Изменчивость величин баланса естественного увлажнения почвы по территории Брестской области колеблется в больших пределах. Для вегетационного периода изменяется от 0,46 до 0,73 и в среднем $C_v = 0,59$. Еще большие коэффициенты вариации месячных величин и в среднем для исследуемой территории равны $C_v = 0,94$; $C_v = 0,9$; $C_v = 1,36$; $C_v = 1,56$ соответственно для мая, июня, июля и августа. Примерно такого же порядка и пространственная изменчивость баланса естественного увлажнения.

Если пространственно-временная дискретность наблюдений не позволяет исследовать его тонкую структуру, связанную с низкочастотными составляющими процесса, то недостаточность выборок является наиболее серьезным моментом, сдерживающим исследования статистической структуры поля.

Наиболее простым, а потому и часто используемым в климатологической обработке статистических рядов методом увеличения объема исходных выборок, является метод объединения в один исходный статистический ряд данных о метеорологическом элементе, относящихся к различным, чаще всего последовательным, временным интервалам в многолетнем ходе. В некоторых задачах такой подход правомочен, хотя и требует в каждом конкретном случае строгого обоснования. В настоящей работе использован способ объединения значений конкретного месяца в одну выборку.

В статистическом смысле подобная задача адекватна задаче проверки «нуль - гипотезы» и сводится к доказательству принадлежности объединяемых выборок к одной и той же генеральной совокупности. Положительный исход проверки «нуль - гипотезы» для объединяемых выборок позволяет формировать одну квазистационарно однородную совокупность, являющуюся отражением физического существа процесса формирования поля баланса естественного увлажнения почвы и обладающую большей информативностью, чем каждый из объединяемых рядов.

Используемый метод позволяет привлечь к статистической обработке значительный по объему исходный материал. Полученные предлагаемым методом кривые распределения и их моменты должны быть репрезентативными

для значительных по размерам территорий во времени. Суть метода объединения многолетних исходных пространственно-временных выборок значений влажности почвы подробно изложен в работе [Волчек, Шпендик, 2001].

Реализация задачи объединения пространственно-временных выборок в одну однородную статистическую совокупность сводится к численному эксперименту-моделированию, заключающемуся в том, что при помощи вычислительного процесса формируется по значениям \bar{W} и s_w^2 однородные статистические совокупности, которым соответствуют локально-однородные на интервале квазистационарности поля баланса естественного увлажнения почвы (таблица 3.14).

Таблица 3.14. Статистические характеристики объединенных кривых распределения вероятностей баланса естественного увлажнения корнеобитаемого слоя дерново-подзолистых почв Беларуси

Коэффициенты	Месяцы					Вегетационный период
	апрель	май	июнь	июль	август	
Вариации	1,01	1,12	1,06	1,04	1,03	0,69
Асимметрии	1,31	1,35	1,43	1,35	1,37	0,31
Автокорреляции	-0,07	0,17	-0,06	0,08	0,07	0,04

Возможности корректного описания различных метеорологических полей с помощью ПКФ, которая является показателем наличия стохастической связи между случайными величинами в пространстве и во времени, в значительной степени зависит от однородности исходных выборок. Концепция однородности исходных выборок в задачах применения корреляционного анализа к исследованию наземных метеорологических полей весьма специфична и теснейшим образом связана с природой рассматриваемых полей. Исходя из стохастической природы большинства реальных метеорологических полей, которые формируются под совокупным влиянием многих природных факторов, изучать успешно их можно лишь в том случае, если они статистически однородны, необходимым условием чего является постоянство суммарного эффекта взаимодействия основных факторов, формирующих поле конкретного метеорологического элемента.

С учетом того, что метеорологические элементы имеют широтный и годовой ход, исходные выборки, являющиеся количественным отражением конкретного поля метеорологического элемента, статистически однородны лишь на некотором временном интервале и для ограниченной по размерам территории.

Исследования ПКФ выполнены, как в целом для Беларуси, так и дифференцированно по территории, в зависимости от влияния господствующих воздушных масс: поле ориентировано в направлении северо-восток – юго-запад (влияние воздушных масс Северного Ледовитого океана); поле ориентировано в направлении запад-восток (влияние континентальных воздушных масс); поле ориентировано в направлении северо-запад – юго-восток (влияние воздушных масс Атлантического океана).

Предполагается, что характер анизотропии в пределах рассматриваемой территории и в пределах выделенных градаций углов не изменяется. Статистическая структура гидрометеорологических полей не остается постоянной в течение года. Для выявления характера внутригодовых соотношений между мелкомасштабной и крупномасштабной составляющими выполнены расчеты для месячных интервалов и вегетационного периода. Для этих случаев рассчитаны ПКФ в диапазоне расстояний между метеостанциями до 700 км (рисунок 3.14).

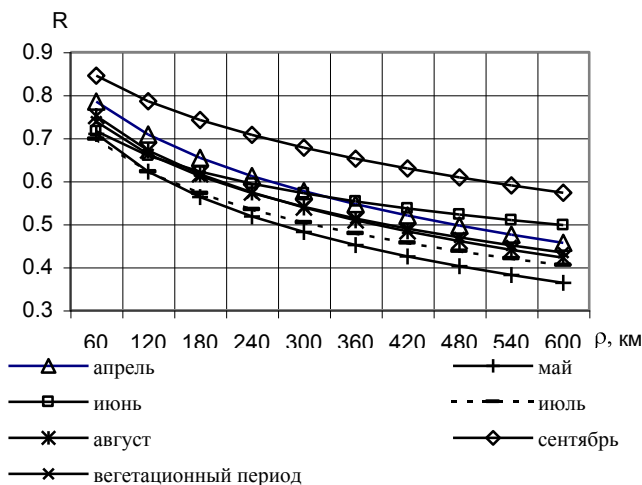


Рисунок 3.14. Пространственно-временные корреляционные функции баланса естественного увлажнения дерново-подзолистых почв Беларуси.

В мезомасштабной области для баланса естественного увлажнения почвы вклад крупномасштабной составляющей неодинаков. Поскольку коррелированность поля крупномасштабной составляющей выше, чем мелкомас-

штабной – значения ПКФ завышаются для значений ρ , не превышающих среднего масштаба крупных флуктуаций поля за счет крупномасштабной составляющей. Это обстоятельство учтено при выборе аналитической аппроксимации эмпирических корреляционных зависимостей и предпочтение отдано экспоненциально-степенной зависимости типа

$$R(\rho) = \exp(-\alpha \cdot \rho^\beta), \quad (3.28)$$

где α и β – эмпирические коэффициенты, приведенные в таблице 3.15.

Таблица 3.15. Характеристика статистической структуры баланса естественно-го увлажнения Беларуси

Параметры	Месяцы					Вегетационный период
	апрель	май	июнь	июль	август	
α	0,03	0,05	0,09	0,07	0,04	0,05
β	0,51	0,47	0,32	0,40	0,48	0,44

Сезонный ход изменчивости связности поля баланса естественного увлажнения почвы устанавливается достаточно уверенно: минимум корреляция достигает в мае. Отмечается большая коррелированность в апреле, июне и сентябре. Поле баланса естественного увлажнения почвы в апреле характеризуется значительной однородностью, так как в это время влаги в почве достаточно, чтобы поддерживать оптимальный водно-воздушный режим и баланс естественного увлажнения почвы по всей территории избыточный, наблюдаются однородные поля на достаточно обширных территориях. В мае весенние влагозапасы значительно истощаются, большую роль играет механический состав почвы и на первое место выступают атмосферные осадки, которые в этот период неоднородны. Этот месяц является как бы переходным, в это время наблюдаются как дефициты влаги, так и избытки. Когда в июне весенние влагозапасы, в основном, расходованы и по всей территории наблюдается дефицит водного баланса корнеобитаемого слоя. В сентябре бывают достаточно затяжные дожди, которые охватывают большие территории и в это время почти повсеместно отмечаются избытки влаги.

Вопрос анизотропности поля баланса естественного увлажнения изучался путем исследования изокоррелят для различных периодов осреднения. Поля изокоррелят для каждого месяца имеют вид эллипсов, меньшая ось которых ориентирована в направлении преобладающего переноса воздушных масс (рисунок 3.15).

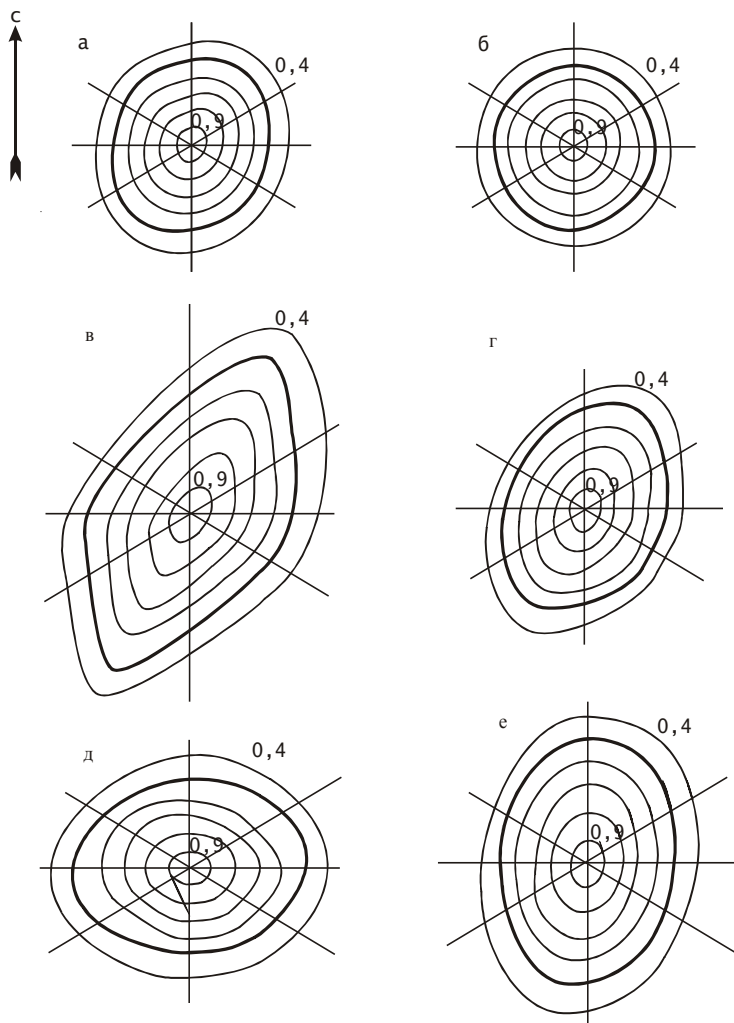


Рисунок 3.15. Изокорреляты полей баланса естественного увлажнения Беларуси: а – апрель; б – май; в – июнь; г – июль; д – август; е – вегетационный период (шаг изокоррелят 0,1).

В апреле и мае изокорреляты по форме близки к кругу. В этот период поля баланса естественного увлажнения, в основном, однородны, так как повсеместно баланс естественного увлажнения имеет положительный знак или оптимален. В июне баланс естественного увлажнения уже имеет разные знаки

по территории. Влажность почвы определяется метеорологическими условиями (атмосферными осадками и теплоэнергетическими ресурсами испарения), поэтому изокорреляты приобретают форму эллипсов с большой осью ориентированной в направлении северо-восток – юго-запад. В этот период атмосферное давление понижается с юго-запада – северо-восток и преобладающими становятся северо-западные и западные ветры. Они связаны либо с тыловой частью западных циклонов, либо с восточной окраиной областей высокого давления, идущих с Атлантики на материк. Менее выражены, но идентичные по характеру изокорреляты наблюдаются и в июле месяце, так как атмосферные процессы в июне и июле схожи. В августе главная ось эллипса занимает положение запад – восток, здесь на первый план выступают теплоресурсы, которые и определяют характер изменения баланса естественного увлажнения. В целом за вегетационный период характер изокоррелят представляет собой эллипс с главной осью ориентированной в направлении север – юг, так как преобладающее влияние оказывают воздушные массы Атлантического океана.

Учет пространственно-временных колебаний естественного увлажнения позволяет раскрыть закономерности формирования водного режима больших территорий и уточнить потребности в воде при гидромелиорации больших территорий. Что в свою очередь, сокращает проектные потребности в водных ресурсах в целом водохозяйственного комплекса страны.

3.3. Подземные воды

Подземные воды вместе с поверхностными, а также влагой атмосферы и зоны аэрации образуют водные ресурсы любого участка суши. Все составляющие тесно взаимосвязаны и участвуют в общем круговороте воды в природе. Между подземными и поверхностными водами существует гидравлическая взаимосвязь. Большую часть года поверхностные воды питаются за счет подземного стока, а в периоды паводков наоборот. У них изначально общий источник питания – атмосферные осадки, которые формируются за счет испарения и массопереноса с мирового океана, а также испарения с водной поверхности местных водоемов и водотоков и с зеркала грунтовых вод. Выпадая на земную поверхность, атмосферные осадки разделяются на 2 части. Одна из них образует поверхностный сток и по уклону рельефа движется к рекам и водоемам. Вторая – фильтруется через почвы и зону аэрации и питает грунтовые, а через них и межпластовые воды, которые разгружаются в водоемы и водотоки. Таким образом, подземные воды представляют собой уникальное полезное ископаемое, находящееся в природе преимущественно в жидком виде, постоянно возобновляемое и подвижное.