

Характеристика и оценка статистических параметров годовых атмосферных осадков на территории Республики Молдова

Беженару Герман, Мельничук Орест¹
(*Институт Экологии и Географии АНМ¹*)

Аннотация

Рассматриваются вопросы оценки достоверности информации по годовым суммам атмосферных осадков в системе метеорологического мониторинга Государственной гидрометеорологической службы Молдовы. Приводится оценка однородности пространственной корреляционной функции (ПКФ), как основа картографического моделирования статистических параметров годовых сумм атмосферных осадков. Специальное исследование, направленное на изучение процессов циклических колебаний временной изменчивости годовых и летних сумм атмосферных осадков по пунктам репрезентирующих северные, центральные и южные регионы страны (станции. Сорока, Кишинэу и Чимишлия). В итоге разработана стройная система определения среднемноголетних характеристик дождевых осадков, позволяющая реализовать различные проблемы водного баланса речных систем Молдовы.

Исходные материалы и методические принципы

Современный метеорологический мониторинг охватывает систему метеорологических станций и постов, ведущих систематические наблюдения за характером выпадения атмосферных осадков, включая измерения суммы полусуточных и суточных жидких и твердых осадков, высоту и запас воды в снеге, временной ход дождей и ливней по самопишущим устройствам и по радиолокационным наблюдениям.

Полнота и надежность данных наблюдений над осадками оценивается вполне удовлетворительно, однако на многих пунктах имеются значительные перерывы в наблюдениях, вызванные социально-экономическими факторами и еще не налаженной структурой дистанционных наблюдений. Наиболее полная информация по годовым осадкам, приведенным к периоду непрерывных наблюдений, имеется по станции г. Кишинэу (1879 по 2010 гг.). В справочной литературе [1] сведения о годовых осадках обобщаются, начиная с 1891 по 1964 год. В этот период на территории Молдовы функционировало более 100 пункта наблюдений над осадками. К настоящему времени метеорологическая сеть сократилась и по состоянию на 2010 год, согласно данным Гидрометцентра Молдовы, она представлена 18-тью метеорологическими станциями и 61 постами (см. карту рис. 1).

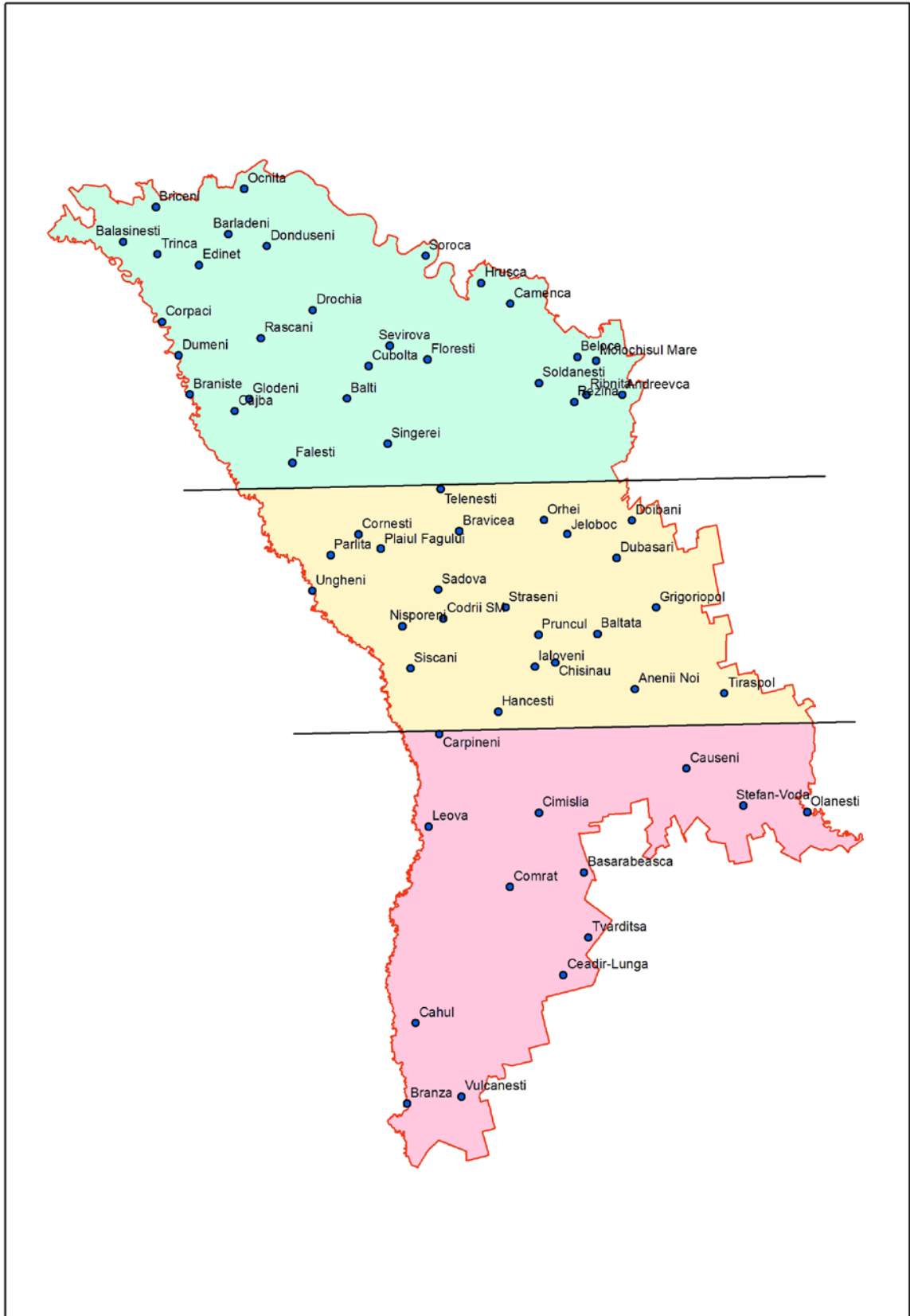


Рис.1. Систематизация сети метеорологических наблюдений по географическим регионам с примерно одинаковой площадью

Для пространственного и временного исследования годовых сумм осадков, как эквивалента увлажнения ландшафтов, использована вся сеть существующего метеорологического мониторинга, т. е. данные многолетних наблюдений по 78 метеорологическим станциям и постам Молдовы,

Анализ временных и пространственных закономерностей изменения годовых сумм осадков требует наиболее полной многолетней информации, которая включает данные наблюдений за период лет, охватывающие многоводные и маловодные фазы или замкнутые циклы увлажнения [2]. С этой целью возникла необходимость систематизировать сеть метеорологических наблюдений по трем географическим регионам с примерно одинаковой площадью и географическим расположением в границах южной, центральной и северной территории Молдовы (табл.1).

Таблица 1

Современное состояние изученности атмосферных осадков в системе метеорологического мониторинга Молдовы

Регионы	Площадь, км ²	Наименование сети	Количество пунктов наблюдений за осадками с продолжительностью лет					Плотность сети, км ² /на 1 пункт
			менее 30 лет	31-60	61-90	91-120	всего	
Юг	10258	Станции	1	–	4	–	5	603
		Посты	6	3	3	–	12	
Центр	12900	Станции	1	2	3	1	7	379
		Посты	11	11	5	–	27	
Север	10680	Станции	–	1	4	1	6	381
		Посты	3	13	6	–	22	
Всего	33839		22	30	25	2	79	428

Судя по результатам, приведенным в табл. 1 плотность метеорологической сети, т. е. один пункт в среднем репрезентирует площадь в 428 км². Почти в 1,5 раза возрастает репрезентирующая площадь на юге страны, что указывает на недостаточную изученность этой территории. Если допустить, что репрезентирующая площадь в 428 км² представляет окружность с радиусом R_x в центре, которого располагается метеорологический пункт, то значение этого радиуса равно половине расстояния L_x между пунктами наблюдений:

$$\frac{L_x}{2} = R_x = \sqrt{\frac{f_x}{\pi}}, \quad (1)$$

где f_x – площадь, репрезентирующая плотность метеорологических пунктов по принятым регионам, приведенная в табл. 1. В соответствии с этими данными значение $L_x/2$ вычисленное по формуле (1) соответственно будет равно: для южного региона – 14 км; для центра и севера по 11 км и в среднем для территории Молдовы – 12 км.

Экстраполяция среднемноголетних слоев на половину расстояний между пунктами наблюдений связана с определенными погрешностями, оценка которых возможна при специальном анализе и обработке данных многолетних наблюдений.

В качестве числовой характеристики погрешностей для исходной измеряемой величины любого гидрометеорологического элемента при их осреднении по территории или во времени применяются две безразмерные характеристики [5]:

- **относительная мера случайной погрешности** ($\eta_{\Delta x}$), зависящая от временной или пространственной изменчивости исследуемого элемента (x_i), выраженная в долях (или процентах) от погрешности исходных (измеренных) данных $\sigma_{\Delta x}$ и эмпирического (выборочного) среднеквадратического отклонения σ_x т.е.

$$\eta_{\Delta X} = \frac{\sigma_{\Delta X}}{\sigma_X}. \quad (2)$$

- относительная величина среднеквадратической погрешности

$$\varepsilon_{\Delta X} = \frac{\sigma_{\Delta X}}{\bar{X}} \quad (3)$$

Согласно выводам Г.А. Алексева [5] между числовыми характеристиками погрешностей существует определенное соотношение

$$\varepsilon_{\Delta X} = \frac{\sigma_{\Delta X}}{\sigma_X} \cdot \frac{\sigma_X}{\bar{X}} = \eta_{\Delta X} C_{V_x}, \quad (4)$$

Из (4) следует, что значение относительной среднеквадратической погрешности $\varepsilon_{\Delta X}$ зависит от меры погрешности оптимальной пространственной эмпирической корреляционной функции $\tilde{r}(l_{jk})$ и коэффициента вариации C_V .

Для анализа и объективной оценки погрешностей исходной информации по годовым суммам атмосферных осадков предлагается использовать эмпирическую пространственную корреляционную функцию (ПКФ). Матрица значений коэффициентов парной корреляции $r(l_{jk})$ за совместный период составлялась путем использования известных компьютерных программ на базе уравнения

$$r_{jk}(l_{jk}) = \frac{1}{N_{jk} - 1} \sum_{i=1}^{N_{jk}} \left(\frac{X_{ji} - \bar{X}_j}{\sigma_j} \right) \left(\frac{X_{ki} - \bar{X}_k}{\sigma_k} \right), \quad (5)$$

где \bar{X}_j - Среднее арифметическое значение годовых осадков по всем рядам совместных наблюдений; \bar{X}_k - Среднее арифметическое значение годовых осадков по k -к-тому пункту; σ_j и σ_k - средние квадратичные отклонения по всем рядам и за совместный период; n_{kj} - число совместных лет наблюдений между j и k -тым пунктами.

Построение ПКФ годовых сумм осадков выполнено по 51 метеорологическим пунктам n с объемом выборочных данных, превышающим 3000 годо/пунктов.

На основании произведенных расчетов по формуле (5) составлена матрица коэффициентов парной корреляции. По эмпирическим коэффициентам корреляции $r(l_{jk})$ и соответственно их попарно расстояниям (l_{jk}) между j -тым и k -тым пунктами наблюдений производится построение графика связи $r(l_{jk}) = f(l_{jk})$, который именуется **эмпирической пространственно корреляционной функцией** (ПКФ), изображенной на рис. 2 и 3, которые соответственно характеризуют ПКФ для годовых сумм и осадков за теплый период года (V-IX месяцы). Для обобщения полученных графиков использованы различный вид уравнений регрессии. В случае линейного тренда показатель R^2 оказался наиболее высоким в сравнении с логарифмическим и экспоненциальным трендами, несмотря на кажущийся нелинейный разброс точек в поле координат. Поэтому в качестве истинного, отвечающие природе пространственной изменчивости осадков используются уравнения линейной регрессии $\tilde{r}(l_{jk}) = f(l_{jk})$, которые описываются формулами:

для годовых сумм осадков

$$\tilde{r}(l) = 0.81 - 0.0014l, \quad (6)$$

для теплого периода (V-IX)

$$\tilde{r}'(l) = 0.77 - 0.0016l. \quad (7)$$

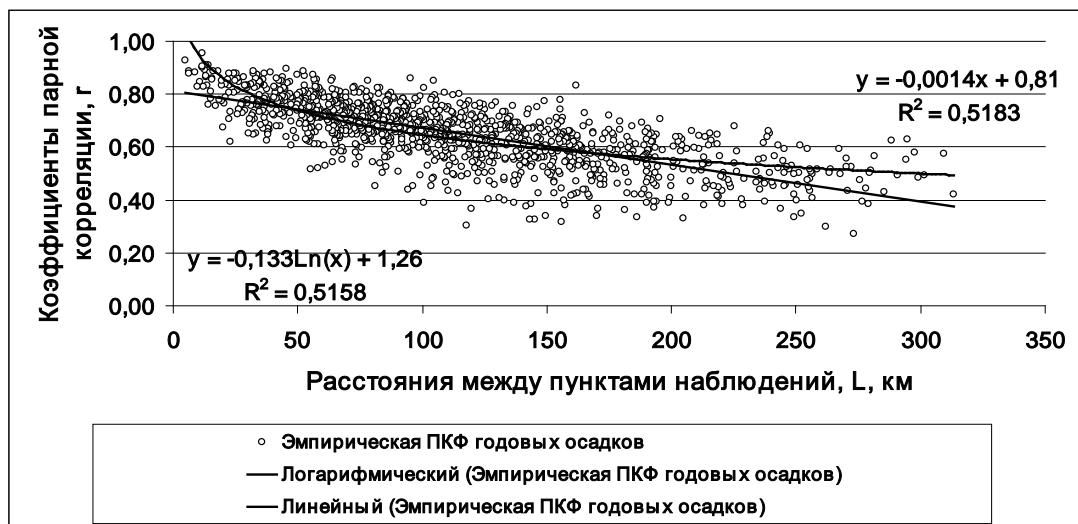


Рис. 2. Пространственно корреляционная функция (ПКФ) годовых сумм атмосферных осадков



Рис. 3. Пространственно корреляционная функция (ПКФ) атмосферных осадков за теплый период года (V-IX месяцы)

Считается, что разброс точек в поле координат связан со случайными ошибками наблюдений и микроклиматическими условиями метеорологического пункта. Поскольку ошибки от влияния этих факторов на разных станциях могут считаться независимыми, то их суммарный учет можно установить по экстраполированному на ось ординат расстоянию, равному $L \rightarrow 0$, т. е. $\tilde{r}(0)$. Из выражений (6) и (7), что для годовых сумм осадков $\tilde{r}(0) = 0,81$, а для осадков теплого периода $\tilde{r}'(0) = 0,77$. В таком случае **мера случайной погрешности (ошибок) исходных данных** наблюдений по осадкам $\eta_{\Delta x}$, согласно выводам Г.А. Алексеева [5], определится равенствами:

для годовых сумм осадков

$$\eta_{\Delta x} = \sqrt{1 - \tilde{r}(0)} = \sqrt{1 - 0,81} = 0.44. \quad (8)$$

для теплого периода (V-IX)

$$\eta_{\Delta x} = \sqrt{1 - \tilde{r}'(0)} = \sqrt{1 - 0,77} = 0.48 \quad (9)$$

Приведение эмпирической корреляционной функции ПКФ к теоретической или откорректированной, соответственно определяются соотношениями:

$$\hat{r}(l) = \frac{\tilde{r}(l)}{\tilde{r}(0,81)} = 1 - 0.0017l \quad (10)$$

и

$$\hat{r}'(l) = \frac{\tilde{r}'(l)}{\tilde{r}'(0,77)} = 1 - 0.0021l \quad (11)$$

Таким образом, с учетом выражений (3), (8) и (9) относительная величина **среднеквадратической погрешности исходных данных по атмосферным осадкам** $\varepsilon_{\Delta X}$, выраженная в долях от средней многолетней величины и вариационных показателей атмосферных осадков C_{V_x} определится равенством:

$$\varepsilon_{\Delta X} = \eta_{\Delta X} C_{V_x} \quad (12)$$

Результаты определения $\varepsilon_{\Delta X}$ по формуле (12) приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Статистические параметры и погрешности определения атмосферных осадков на территории Республики Молдова

Характеристика атмосферных осадков	Мера погрешности исходных данных, $\eta_{\Delta X}$, %	Интервал значений C_{V_x}	Диапазон средних квадратичных погрешностей осадков, $\varepsilon_{\Delta X}$, %
Годовые суммы осадков	44	0,17-0,27	7,5-12,0
Осадки теплого периода	48	0,25-0,40	12,0-19,0
Максимальные суточные [б]	40	0,30-0,60	12,0-24,0

Отметим еще раз, что формулы (8) и (12) учитывают суммарную погрешность приборов, дискретность и ошибки при первичной обработке изучаемых исходных данных. Кроме того, из графиков, приведенных на рис. 2 и 3 следует, что значение коэффициентов парной корреляции, даже при значительном расстоянии между пунктами наблюдений ($L \geq 100$ км), может достигать высоких значений: более 0,8. Характерно, что при уменьшении интервалов суммирования осадков их среднеквадратические погрешности возрастают в силу роста меры погрешности исходных данных и коэффициентов временной изменчивости (вариации). Отметим тот факт, что если значение меры погрешности исходных данных относительно постоянное, то многолетняя изменчивость закономерно возрастает по мере уменьшения интервала их обработки.

Оценка однородности ПКФ, как основа картографического моделирования годовых сумм атмосферных осадков

Известно, что при использовании методов графической или аналитической пространственной интерполяции климатических или гидрологических элементов и их параметров правомерно использовать только непрерывно изменяющиеся физически однородные их характеристики. Если исходные данные наблюдений зависят от местных азональных условий то возникает необходимость осуществить статистическую проверку их однородности. Обычно считается, что климатические характеристики (температура воздуха, атмосферные осадки) строго зональные элементы и не нуждаются в такой проверке. Нам представляется, что такая проверка не лишена научного смысла, так как погрешности пространственной интерполяции зависят от степени изученности и

конкретной плотности пунктов наблюдений. Важно установить, что бы погрешности территориальной экстраполяции не превышали погрешности исходных данных. В противном случае возникает необходимость территориального разделения изучаемого региона на районы, для которых соблюдаются требования однородности.

Основываясь на исходных материалах, полученных при оценке коэффициентов парной корреляции $r(l_{jk})$, можно установить число всех возможных пар метеорологических пунктов, для которых составлены графики ПКФ атмосферных осадков, через выражение $\Delta^2 = 51 \cdot 50 / 2 = 1275$ пар метеорологических пунктов. Полученные графики связи ПКФ и их уравнения (6) и (7) принимаются за истинные, а отклонения от эмпирических точек обусловлены случайными флуктуациями выборочных данных. Это предположение требует статистической проверки на однородность. Для проверки территориальной однородности ПКФ в пределах рассматриваемого района следует воспользоваться преобразованием Фишера [7, 8]

$$z_{jk} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + r_{jk}}{1 - r_{jk}} \right). \quad (13)$$

Среднее значение \tilde{z}_{jk} , с учетом поправки на смещенность или наличия внутрирядных связей, определится по формуле

$$\tilde{z}_{jk} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \tilde{r}_{jk}(l)}{1 - \tilde{r}_{jk}(l)} \right) + \frac{\tilde{r}_{jk}}{2(N_{jk} - 1)} \quad (14)$$

Когда абсолютная разность $|z_{jk} - \tilde{z}_{jk}|$ этих преобразований превышает их удвоенное среднеквадратическое отклонение $\sigma(z_{jk})$

$$\sigma(z_{jk}) = 2 \frac{1}{\sqrt{n-3}} \quad (15)$$

Следовательно, необходимым условием однородности корреляционных функций (10) и (11) в пределах всей территории Р. Молдова является выполнение неравенства

$$|z_{jk} - \tilde{z}_{jk}| \geq \sigma(z_{jk}) \quad \text{или} \quad \geq 2\sigma(z_{jk}) \quad (16)$$

Если общее эмпирическое число превышений (16) соответствует требованиям, вытекающим из нормального закона распределения, т. е при превышении $\sigma(z_{jk})$ над разностью $|z_{jk} - \tilde{z}_{jk}|$ вероятность попадания должна составлять 68,3 %, а при $2\sigma(z_{jk})$ – 95,4 %. В таком случае пространственная корреляционная функция считается однородной, точнее исходная нулевая гипотеза не отвергается. В случае, когда имеет место существенное расхождение между эмпирическими и теоретическими вероятностями, нулевая гипотеза опровергается и признается гипотеза неоднородности ПКФ, исследуемых атмосферных осадков. При таких результатах исходное поле осадков должно быть разделено на более мелкие однородные регионы.

В качестве примера проверки однородности пространственной корреляционных функций годовых и летних сумм осадков по формулам (14)-(16) для территории Республики Молдова в табл. 3 приводятся фрагмент соответствующих вычислений. Согласно этим данным проверочные расчеты выполнены для 1274 пар пространственных корреляционных связей годовых сумм и осадков теплого периода. Общее эмпирическое число превышений $|z_{jk} - \tilde{z}_{jk}|$ над $\sigma(z_{jk})$ и $2\sigma(z_{jk})$ (графы 13 и 14) должно быть приблизительно равно или меньше чем возможного теоретического при нормальном законе распределения. В нашем примере теоретическое количество отклонений

$$k_1 = 0,317 \cdot 1274 = 404 \quad \text{случая}$$

$$k_2 = 0,046 \cdot 1274 = 59 \quad \text{случая}$$

В таком случае пространственная корреляционная функция (эмпирическая и теоретическая) признается однородной и установленные ранее среднеквадратические погрешности исходных данных по атмосферным осадкам (табл.2) признаются действительными.

Особый интерес представляет вопрос о точности пространственной интерполяции статистических параметров годовых сумм атмосферных осадков и их вероятных значений (квантилей).

Если при экстраполяции эмпирической корреляционной функции (6) до нулевого значения допущено существенное занижение или завышение параметра $\tilde{r}(0)$, то по формуле (7) мера погрешности исходных данных будет занижена или завышена, т.е. неточная. В таком случае **мера суммарной погрешности интерполяции** неточных исходных данных на середину расстояний между пунктами наблюдений определится по выражению [7]

$$\eta_{\Delta x} = \sqrt{1 - \frac{2\tilde{r}^2\left(\frac{l}{2}\right)}{\tilde{r}(0) + \tilde{r}(l)}}, \quad (17)$$

а мера интерполяции откорректированных данных по формуле

$$\eta_{\Delta x} = \sqrt{1 - \frac{2\tilde{r}^2\left(\frac{l}{2}\right)}{\tilde{r}(0)[\tilde{r}(0) + \tilde{r}(l)]}}. \quad (18)$$

Для иллюстрации практического применения этих формул приведем результаты оценки интерполяционных значений норм годовых осадков на середину расстояния между пунктами наблюдений.

Ранее отмечалось, что при современной плотности метеорологических дождемерных пунктов среднее по Республике расстояние между ними составляет 12 км. Если принять его за основу, то оценку погрешности интерполяции на середину расстояний между пунктами можно установить для произвольной пары пунктов с реальным расстоянием в границах 12 км. Оценка относительных значений суммарной среднеквадратической погрешности интерполяции на середину расстояний между пунктами наблюдений согласно выражениям (12) и (17) определится по формуле

$$\varepsilon_{\Delta x} = C_v \sqrt{1 - \frac{2\tilde{r}^2\left(\frac{l}{2}\right)}{\tilde{r}(0) + \tilde{r}(l)}} \quad (19)$$

Здесь реальный коэффициент временной вариации C_v в экстремальной точке интерполяции на середину расстояния между двумя пунктами наблюдений. Для заданного наиболее вероятного интервала изменения C_v (0,1-0,4) по установленным параметрам пространственной корреляционной функции и в соответствии с (19) в табл. 4 приводятся результаты оценки погрешности интерполяции на середину расстояний между пунктами наблюдений над годовыми суммами и осадками за теплый период года.

Таблица 2.3

Результаты проверки ПКФ на территориальную однородность

№ п/п	Наименование Метеорологических пунктов (попарно)	Совместное число лет наблюдений, N_{jk}	Расстояния между пунктами, км, l_{jk}	Эмпирические коэфф. корреляции, r_{jk}	Значения ПКФ функций		Преобразования Фишера			Среднеквадратическая ошибка		Случаи, когда $ z_{jk} - \tilde{z}_{jk} $ превышает	
					$\tilde{r}(l_{jk})$ (2.5) (2.6)	$\hat{r}(l_{jk})$ (2.9) (2.10)	z_{jk} (2.11)	\bar{z}_{jk} (2.12)	$ z_{jk} - \tilde{z}_{jk} $	σ_{jk} (2.13)	$2\sigma_{jk}$ (2.13)	σ_{jk}	$2\sigma_{jk}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Годовые суммы атмосферных осадков													
1	Rezina — Rabnita	37	4,8	0,93	0,80	0,99	1,64	1,11	0,53	0,17	0,34	1	1
2	Leova — Cubolta	40	155	0.68	0.59	0,74	0,83	0,68	0,15	0,16	0,20		
1273	Hancesti — Balasimesti	40	200	0.48	0,53	0,66	0,53	0,59	-0.06	0,16	0,32		
1274	Vulcanesti — Barladeni	40	298	0,58	0,393	0,49	0,66	0,42	0,25	0,16	0,32	1	
	М e d i e	39	116	0.68					Общее число случаев			338	44
Атмосферные осадки теплого периода года (V-IX месяцы)													
1	Rezina — Rabnita	37	4,8	0,76									
2	Leova — Cubolta	40	155	0,60									
1273	Hancesti — Balasimesti	40	200	0,45									
1274	Vulcanesti — Barladeni	40	298	0,29									
	М e d i e	39	116	0,59					Общее число случаев			219	17

Таблица 4

Погрешности интерполяции на середину расстояния между осадкомерными пунктами

Расстояния между пунктами, l , km	Значения ПКФ		Меры погрешности интерполяции, %		Среднеквадратические ошибки интерполяции в % при C_v равном			
	$\tilde{r}(l)$	$\tilde{r}(l/2)$	по формуле	по формуле	0,10	0,20	0,30	0,40
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднегодовое суммарное количество годовых атмосферных осадков								
0	0,81	0,81	0,00	44	4,4	8,8	13,2	17,6
12	0,79	0,80	10,2	45	4,5	8,9	13,4	17,8
20	0,78	0,79	19,5	47	4,7	9,4	14,1	18,8
30	0,77	0,78	24,5	49	4,9	9,8	14,7	19,5
40	0,75	0,76	29,3	51	5,1	10,2	15,3	20,4
50	0,74	0,75	33,3	53	5,3	10,6	15,9	21,2
100	0,67	0,71	41,3	57	5,7	11,5	17,2	22,9
200	0,53	0,60	58,0	68	6,8	13,6	20,4	27,2
300	0,39	0,46	75,1	80	8,0	16,1	24,1	32,2
Среднегодовое суммарное количество атмосферных осадков за теплый период года (V-IX)								
0	0,77	0,77	0,0	48	4,8	9,6	14,4	19,2
12	0,75	0,76	11,2	49	4,9	9,8	14,7	19,6
20	0,74	0,75	18,2	51	5,1	10,1	15,2	20,2
30	0,72	0,74	24,1	52	5,2	10,5	15,7	21,0
40	0,71	0,72	29,3	54	5,4	10,9	16,3	21,8
50	0,69	0,71	33,9	56	5,6	11,3	16,9	22,6
100	0,61	0,66	43,1	61	6,1	12,2	18,3	24,4
200	0,45	0,55	58,9	71	7,1	14,1	21,2	28,2
300	0,29	0,42	75,1	81	8,1	16,3	24,4	32,6

Значение погрешности пространственной интерполяции в интервале расстояний до 300 км., и в заданном диапазоне C_v , как следует из табл. 4, может существенно изменяться от 4 до более 30 %. Следует заметить, что погрешность интерполяции более интенсивно возрастает при увеличении многолетней вариации атмосферных осадков, чем при росте расстояний между пунктами наблюдений.

Следуя выводам, приведенным в работе [7], можно заключить, что критерий допустимой меры **наибольшей** погрешности интерполяции годовых и летних сумм атмосферных осадков $\eta_{\Delta x}$ (судя по данным табл. 4, графа 5) может быть принят для условия:

$$\eta_{\Delta x} < 70\% \quad (20)$$

Это условие продиктовано наличием относительно удовлетворительной величиной ошибки интерполяции (7-28 %), даже при расстояниях между пунктами до 200 км. При этом одновременно следует оценить значение **сводного коэффициента корреляции** \bar{R}_0 , в границах принятого интервала расстояний согласно использованию неравенства [7]

$$\bar{R}_0 = \sqrt{1 - \eta_{\Delta x}^2} \geq \sqrt{1 - (0.7)^2} = 0.60. \quad (21)$$

Установленная величина **сводного коэффициента корреляции** оказалось ниже принятых в практике значений, несмотря на то, что число случаев, когда расстояние между осадкомерами не превышает 200 км, что при современном уровне изученности годовых осадков на территории Республики Молдова достигает 89 % от общего числа (табл. 5).

В этой связи возникает необходимость оптимизировать значение меры **наибольшей** погрешности интерполяции до уровня 60%, что приводит в соответствии с (21) к увеличению сводного коэффициента корреляции $\bar{R}_0 = 0,80$, а расстояние между пунктами принимается ≤ 100 км. При таком результате число метеорологических пунктов, обеспечивающих принятый уровень сводной корреляции, судя по данным табл. 5, составляет 47,2 процента.

Таблица 5

Число и процент случаев на существующей сети метеорологических пунктов (станций и постов), когда расстояния l_{jk} между ними не превышают заданных размеров

Число и процент случаев при расстояниях между дождемерами меньше или равно, км							
≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 300	≤ 320
5	30	68	187	602	1131	1270	1274
0,4	3,4	5,3	14,7	47,2	89	99	100

Отсюда следует, что среднеквадратические ошибки интерполяции на середину расстояний между метеорологическими пунктами, составляющих менее 50 км и ведущих наблюдения на территории Республики Молдова изменяются от 7 до 28 % соответственно в диапазоне изменения коэффициента вариации от 0,1 до 0,4.

Выполненный анализ погрешностей пространственной интерполяции характеристик годовых сумм осадков показывает, что существующие карты изолиний статистических параметров и норм годовых осадков Молдовы, в большей мере, составляются без анализа и оценки допустимой меры **наибольшей** погрешности интерполяции между пунктами наблюдений и среднеквадратических ошибок интерполяции при существующей плотности метеорологической сети. Это является серьезным недостатком при картографическом моделировании гидроклиматических характеристик.

Вариационный анализ и цикличность годовых сумм атмосферных осадков

К настоящему времени имеется довольно много работ, посвященных изучению многолетних колебаний годовых сумм осадков и речного стока. Поскольку многолетние колебания метеорологических и гидрологических характеристик оказывает свое влияние на окружающую среду, а также на хозяйственную деятельность человека то их анализ имеет теоретическое и практическое значение. Колебание годовых осадков отражается на всем режиме увлажнения, и поэтому представляет особый интерес при анализе водного теплового балансов.

Для анализа вариационных особенностей и циклических колебаний годовых сумм атмосферных осадков в границах территории Республики Молдова используются опорные метеорологических станции-аналога, репрезентирующих условия увлажнения для севера страны – ст. Сороки, для центра – ст. Кишинэу и юга – ст. Чимишлия, по которым имеются наиболее полные сведения об атмосферном осадкам с 1890 по 2012гг. Практически здесь используется более чем вековой период наблюдений над осадками.

Данные по этим станциям могут быть использованы в качестве аналогов, как для приведения сведений об осадках к периоду, включающему замкнутые циклы изменения увлажнения, так и при оценке временных и пространственных их статистических параметров.

Обычно при исследованиях для анализа циклических колебаний атмосферных осадков широко используются хронологические графики многолетних колебаний данного элемента климата и делаются попытки обнаружить определенную закономерность в их многолетнем ходе.

Для территории Молдовы вопросам анализа многолетних изменений режима годовых осадков посвящается ряд работ [12, 13, 14, 15]. Например, в [14] на основании методов скользящего осреднения (с шагом в 11 лет) делается попытка визуально, по

материалам ст. г.Кишинев (1845-1966 гг/), выделить обнаруженные полные циклы продолжительностью 38 и 36 лет.

М. Дарадур [9], анализируя многолетнюю изменчивость годовых осадков по данным наблюдений метеорологической станции г. Кишинэу за период с 1891 по 1996 гг., приходит к выводу о наличии цикла длительностью 43 года, отмечая при этом, что «...современная климатологическая ситуация в Молдове характеризуется относительно более высоким уровнем увлажнения нежели в конце XX века».

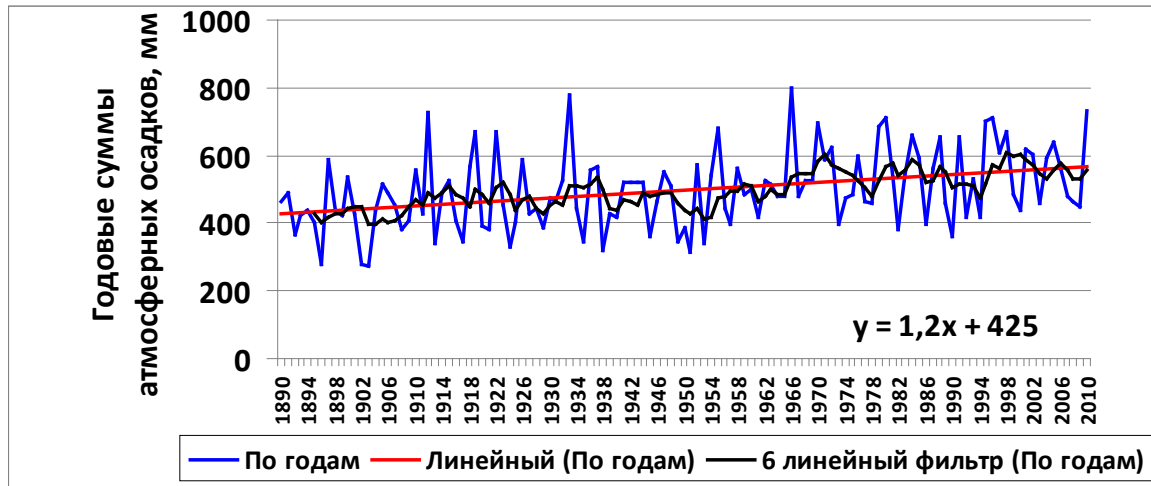


Рис.4. Хронологический ход изменения годовых сумм атмосферных осадков по данным наблюдений на ст. Кишинэу (1890-2010 гг.)

Здесь же указывается, что средняя интенсивность роста увлажнения за 105-летний период составляет 0,55 мм/год, а это выражается увеличением слоя осадков на 59 мм. При аналогичной обработке годовых осадков за 120 летний период (1890-2010 гг.), как показывают наши результаты (рис. 4), приращение увлажнения происходит еще с большей интенсивностью, достигающей 1,2 мм/год и приростом слоя осадков более 140 мм. Надо полагать, что за дополнительный период, всего 15 лет интенсивность роста годовых осадков практически удвоилась.

Следует отметить, что попытка выделить в многолетнем хронологическом колебании годовых осадков фазы повышенного или пониженного увлажнения практически не всегда возможно. В этой связи можно только условно предположить о существовании двух периодов – естественного (1891-1940 гг.) и естественно-технологического (1946-1995 гг.) [9]. При этом отметим, что оценка обычных статистических параметров осадков (среднего значения, стандартного отклонения или коэффициента вариации) за эти периоды в полной мере не отображает генетических особенностей режима увлажнения на исследуемой территории. Как показали имеющиеся исследования [10, 11 и др.] при сглаживании рядов происходит сдвиг фаз осредненных колебаний изучаемого элемента по сравнению с исходным рядом вплоть до получения противоположного изменения фаз. Одновременно этот сдвиг фазовых колебаний зависит от периода сглаживания и от частотного спектра исходного ряда. В качестве примера нами был использован способ сглаживания по 6-ти летним периодам, сообразуясь с 11-летними циклами и фазами солнечной активности. Однако, и здесь, как это следует из графика, четкой закономерности в характере циклических колебаний годовых осадков не обнаруживается.

В практических расчетах предлагаются и другие приемы сглаживания и уменьшения смещения фаз осредненных величин годовых осадков или годового стока. К таким приемам можно отнести способ последовательного осреднения членов ряда или, так называемый, способ динамической средней \bar{X} , [3]

$$\bar{X}_i = \sum_{k=\frac{t-1}{2}}^{\frac{t+1}{2}} C_k X_{i+k} \quad (22)$$

Отклонения годовых сумм осадков от **динамической средней** ($\bar{X}_i - X_i$), представляют собой некоррелированные во времени колебания. В итоге это приводит к уменьшению дисперсии случайных колебаний и занижению коэффициента корреляции полученного отклонения в сравнении с исходным рядом.

Как отмечалось выше, что более обоснованный результат при анализе многолетних циклических колебаний компонентов водного теплового и балансов можно получить путем использования эмпирических автокорреляционных функций и их спектральные оценки, которые базируются на общей теории стохастических процессов [10]. Одновременно при помощи автокорреляции устанавливается степень внутривременной линейной связи, что может указывать на нестационарность процесса колебания исследуемого элемента. Начало такого направления при изучении циклических колебаний атмосферных осадков на территории Молдовы приводится в упомянутой работе М. Дарадур [9]. Здесь особенно уделяется внимание анализу спектральных преобразований автокорреляционных функций осадков. В итоге показано, что высокочастотные колебания с периодом от 2 до 5 лет и низкочастотные циклы с периодами от 20 до 30 лет охватывают до 80 % дисперсии ряда. В тоже время существует мнение, что спектрограммы исходных рядов с точки зрения теории информации обладают большой энтропией [16], что означает малую регулярность процесса и разрешающей способности спектрограмм [10].

В этом отношении считаем целесообразным осуществить, анализ эмпирических автокорреляционных функций годовых сумм осадков в границах территории Республики Молдова по трем метеорологическим станциям с наиболее длинными рядами наблюдений, расположенным в северной части территории Молдовы (ст. Сорока), центральной – (ст. г. Кишинев) и южной – (ст. г. Чимишлия). Ряды по годовым суммам осадков приведены к многолетнему периоду 1890 по 2012 гг., Общая продолжительность которого составляет 123 года.

В технических заметках ВМО [11] для анализа автокорреляционных функций рекомендуется использовать сдвигку, не превышающую 1/3 изучаемого ряда. В этой связи расчеты коэффициентов автокорреляции $r(\tau)$ выполнены с максимальной сдвигкой до $\tau = 40$ лет.

Статистическая обработка выборочных данных по годовым осадкам выполнении путем использования компьютерной программы «Excel». В табл. 6 приводится пример итоговых расчетов по данным ст. г. Кишинэу, а на рис. 5 показаны графики автокорреляции по трем исследуемым пунктам.

Таблица 6

Координаты автокорреляционной функции годовых сумм атмосферных осадков по ст. г. Кишинэу

0	$\tau=1$	$\tau=2$	$\tau=3$	$\tau=4$	$\tau=5$	$\tau=6$	$\tau=7$	$\tau=8$	$\tau=9$	$\tau=10$	$\tau=11$
1	0,097	-0,106	0,116	0,294	0,000	0,037	0,164	0,225	-0,006	0,131	0,225
$\tau=12$	$\tau=13$	$\tau=14$	$\tau=15$	$\tau=16$	$\tau=17$	$\tau=18$	$\tau=19$	$\tau=20$	$\tau=21$	$\tau=22$	$\tau=23$
0,225	0,056	0,046	0,282	0,163	-0,102	0,071	0,165	0,042	-0,228	0,246	0,298
$\tau=24$	$\tau=25$	$\tau=26$	$\tau=27$	$\tau=28$	$\tau=29$	$\tau=30$	$\tau=31$	$\tau=32$	$\tau=33$	$\tau=34$	$\tau=35$
-0,096	-0,030	0,341	0,123	-0,011	-0,040	0,231	0,028	-0,112	0,137	0,319	-
$\tau=36$	$\tau=37$	$\tau=38$	$\tau=39$	$\tau=40$							
0,002	0,312	0,038	-0,037	0,037							

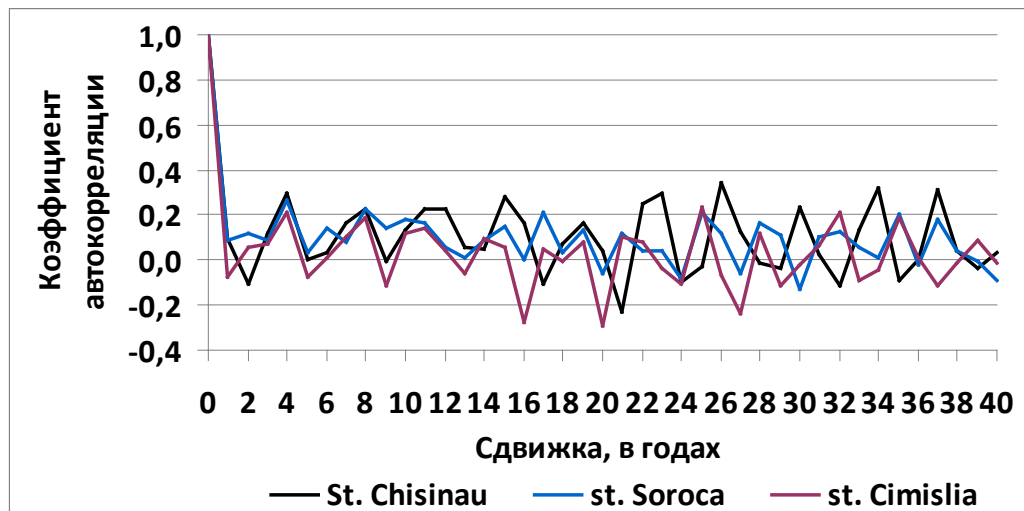


Рис.5. Автокорреляционные функции годовых сумм атмосферных осадков при продолжительности наблюдений 125 года

Полученные результаты достаточно убедительно подтверждают относительно слабую внутрирядную связь годовых сумм осадков почти во всем диапазоне $r(\tau)$, что указывает квазиоднородность анализируемых выборок. Кроме того, они иллюстрируют достаточную хорошую синхронность и реальную периодичность высокочастотных колебаний годовых осадков, изменяющихся в пределах от 2-х до 5 лет, (табл. 6). Средняя продолжительность из 10-ти циклов по анализируемым станциям составляет 4 года, а величина средней амплитуды коэффициента автокорреляции годовых осадков возрастает от 0,21 на севере Молдовы до 0,37-0,34 на юге. Значение максимальной амплитуды (0,47-0,53) приходится на 6-7 циклы при сдвигке 22-26 лет

Таблица 6

Периодичность и продолжительность циклов, установленных на основе автокорреляционных функций годовых сумм атмосферных осадков

№ циклов	Продолжительность циклов и их амплитуды					
	Ст. Сороки		Ст. Кишинэу		Ст. Чимишлия	
	годы	амплитуда	годы	амплитуда	годы	амплитуда
1	4	0,23	3	0,40	4	0,28
2	8	0,13	4	0,23	4	0,30
3	3	0,15	4	0,23	4	0,26
4	4	0,27	4	0,38	3	0,33
5	4	0,18	4	0,39	4	0,38
6	3	0,18	3	0,53	4	0,40
7	3	0,29	5	0,37	3	0,47
8	4	0,25	3	0,34	2	0,36
9	2	0,18	3	0,43	4	0,33
10	4	0,28	5	0,40	4	0,31
Среднее	4	0,21	4	0,37	4	0,34

Следует отметить, что выявленная цикличность годовых осадков в установленных нами пределах не противоречит выводам, которые приводятся и другими авторами [9, 10, 15].

В этом отношении заслуживают внимания многочисленные фаты в проявлении высокочастотных колебаний в ходе других гидрометеорологических элементах (температуре и атмосферном давлении), а также в 4-6 летней цикличности характеристик атмосферной циркуляции, поскольку она отражает вклад циклонов в изменчивость осадков и широко используется в долгосрочных прогнозах погоды и годового стока [10, 17]. Следует иметь в виду, что среднеквадратическая погрешность σ , выборочной автокорреляционной

функции $r(\tau)$ с увеличением сдвигки τ и длины исходного ряда n может быть соизмерима с величиной самой функции

$$\sigma_r = \frac{1 - |r(\tau)|^2}{\sqrt{n - \tau - 1}} \quad (23)$$

Расчеты по приведенной формуле, выполненные по рядам годовых осадков более чем за 100-летний период, показали, что среднеквадратическая погрешность σ_r автокорреляционной функции $r(\tau)$, оказалась соизмеримой с величиной самой функции при $\tau \geq 1$ (табл. 7).

Таблица 7

Результаты определения погрешности автокорреляционных функций годовых сумм атмосферных осадков по формуле (23)

τ , сдвигка, лет	Ст. Сорока		Ст. Кишиезу		Ст. Чимишлия	
	$r(\tau)$	σ_r	$r(\tau)$	σ_r	$r(\tau)$	σ_r
1	0,088	0,090	0,097	0,091	-0,077	0,091
5	0,033	0,092	0,00	0,093	-0,077	0,093
10	0,183	0,091	0,131	0,094	0,117	0,094
15	0,150	0,094	0,282	0,090	0,056	0,090
20	-0,061	0,099	0,042	0,100	-0,296	0,090
30	-0,126	0,103	0,231	0,100	-0,021	0,104
40	-0,091	0,110	-0,037	0,112	-0,014	0,110

Из данных этой таблице следует, что нет оснований принимать за достоверные эмпирические автокорреляционные функции даже в наиболее продолжительных рядах годовых осадков на территории Республики Молдова. Приведенный анализ показывает, что с точки зрения оценки цикличности годовых осадков применение автокорреляции не всегда оправдано. Попытки преобразования исходных рядов годовых осадков через средние динамические характеристики тоже не приводят к достоверным результатам [3].

При анализе среднемноголетних статистических параметров годовых осадков, применительно к оценке компонентов водного и теплового балансов возникает необходимость выявления низкочастотных колебаний годовых осадков, т. е. более продолжительных реальных циклов. В этом направлении в метеорологии и гидрологии широко применяется метод интегрально - разностных кривых.

$$\sum_1^N \left(\frac{x_i}{x_0} - 1 \right) = \sum_1^N (K_i - 1) = f(N) \quad (24)$$

Здесь $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots, x_N$ - значение годовых сумм осадков изучаемой последовательности за период, характеризующий одинаковые промежутки времени; x_0 - среднее многолетнее значение годовых осадков за весь период n -лет; K_i - модульный коэффициент годовых осадков или их нормированное значение. Предполагается, что в преобразованном ряду роль систематических факторов по сравнению с случайными должна возрастать, но вместе с тем возрастает и величина случайных погрешностей, вызванных последовательным суммированием [18, 19].

В графической интерпретации модель (24) нормированная по коэффициенту вариации приводится на рис.6. Здесь для сопоставления закономерности изменения циклических колебаний в границах территории Молдовы комплексно изображаются три интегрально - разностные кривые в соответствии по принятым базовым метеорологическим станциям.

Приведенные кривые, по мнению О.А. Дроздова [18] имеют определенное преимущество перед учетом векового хода методом скользящего осреднения ряда, в

котором нет возможности реализовать расчеты по обратимости результатов преобразования ряда. Укажем, что переход от ординат интегрально-разностных кривых к ординатам хронологического ряда осуществляется через выражение

$$K_{med} = \frac{I_s - I_i}{n} + 1, \quad (25)$$

Здесь I_s и I_i - ординаты интегрально-разностной кривой (конечной и начальной) для определенной фазы цикла, в интервале n лет.

Не трудно заметить, что обработка хронологического графика (см. рис. 4) путем применения выражения (24), трансформирует линейные изменения годовых сумм осадков в синусоидальный или параболический вид с четко выраженными фазами векового цикла, равного 120 лет. Здесь фаза с осадками ниже нормы (маловодная) занимает многолетний период с 1890 по 1953 гг. т. е 63 года, а противоположная ей многоводная фаза охватывает период с 1953 по 2010 гг. -57 лет.

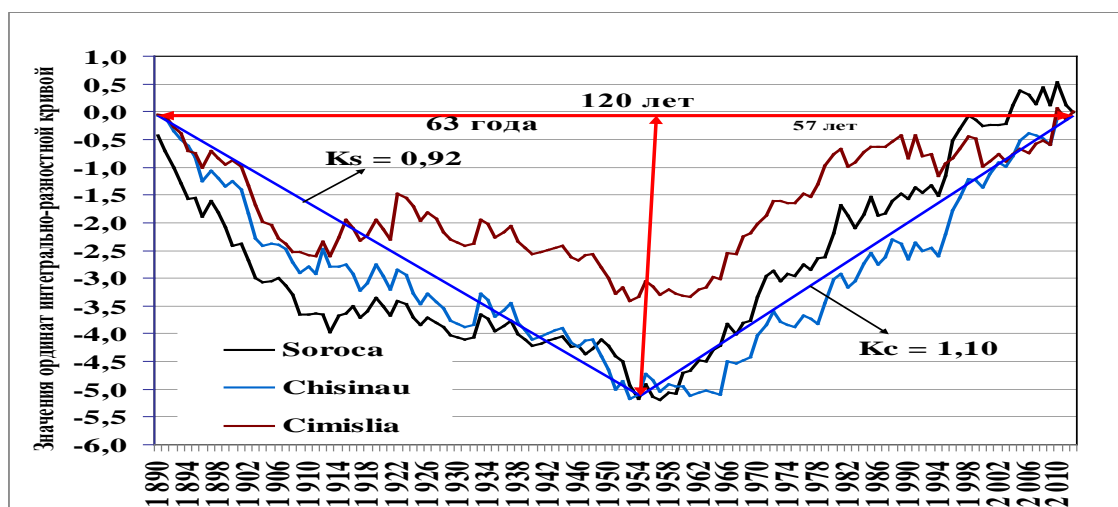


Рис. 6. Совмещенные нормированные интегральные графики многолетних колебаний годовых осадков

Значение среднемноголетнего модульного коэффициента установленного по выражению (25) для двух фаз 120 летнего цикла в среднем по трем станциям соответственно равны - $K_s = 0.92$ (маловодная фаза) и $K_c = 1.10$ (многоводная).

Следовательно, степень отклонения годовых сумм осадков от их среднемноголетнего значения, в обеих фазах, не превышает в среднем $\pm 10\%$. Амплитуда общего векового цикла (разность ординат между максимальным и минимальным значением), составляет 5,2. В общем ходе изменения ординат разностных интегральных кривых прослеживаются как высокочастотные колебания, так и внутривековые. Однако в многолетнем ходе ординат интегрально-разностных кривых по станциям, характеризующих три региона наблюдаются и свои локальные особенности.

Выявленную структуру многолетних колебаний годовых осадков на базе интегральных кривых следует оценить с точки зрения ее достоверности. Для этого можно воспользоваться выводами, исходящими из теории независимых выборок [18, 19], согласно которым среднеквадратическая погрешность ординат нормированной интегральной кривой σ_{ci} определится по выражению

$$\sigma_{ci} = \sqrt{n - \frac{n^2}{N}}. \quad (26)$$

Выполненные расчеты σ_{ci} по формуле (26) индивидуально по трем метеорологическим станциям с интервалом через 5 лет позволили установить погрешности ординат разностных интегральных кривых. Из приведенных совместных графиков на рис. 7-9 наглядно видно, что на всем протяжении лет ординаты интегрально-разностных кривых

не выходят за пределы даже одного значения среднеквадратического отклонения. Это еще раз подтверждает однородность выборочных данных по годовым суммам осадков и требованиям вытекающим из их нормального распределения.

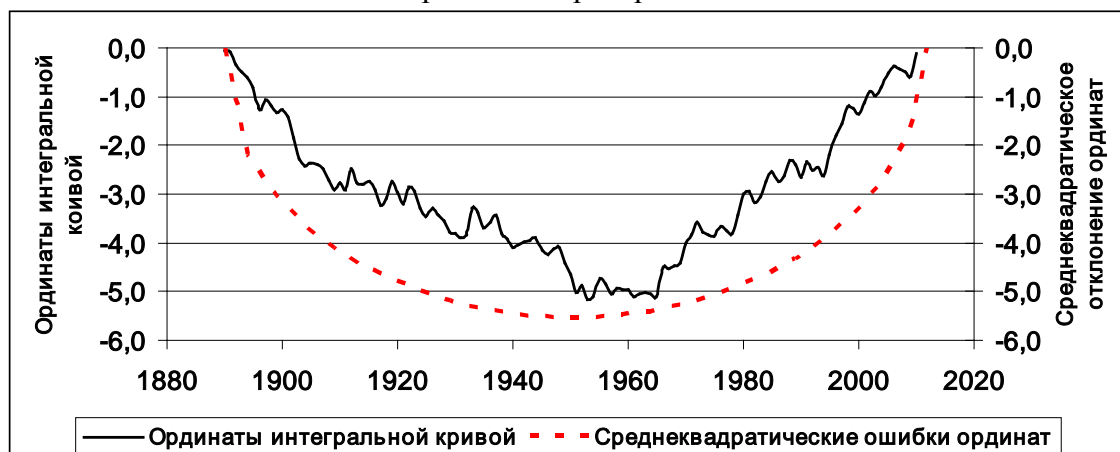


Рис. 7. Нормированные интегральные кривые временных колебаний годовых осадков по ст. г. Кишинэу



Рис. 8. Нормированные интегральные графики многолетних колебаний годовых осадков по ст. г. Сорока

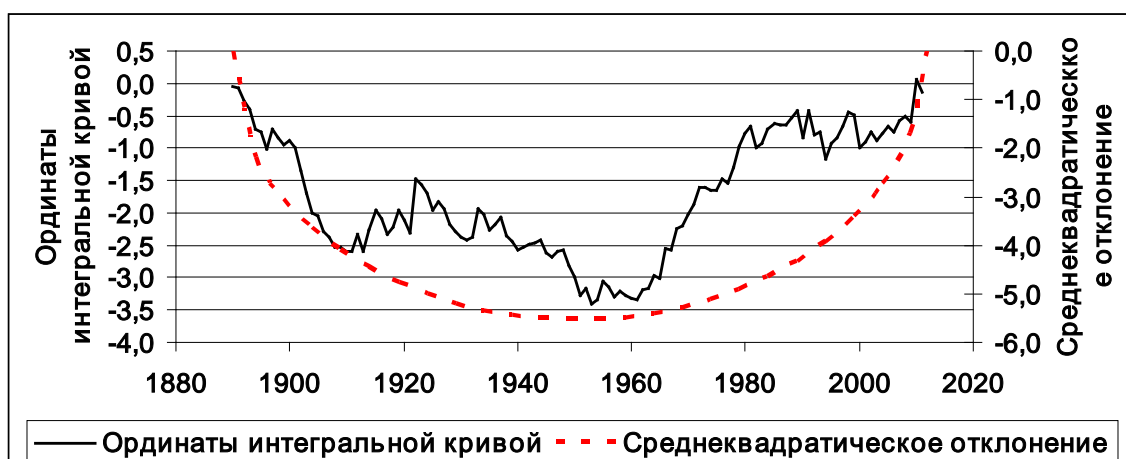


Рис. 9. Нормированные интегральные графики многолетних колебаний годовых осадков по ст. г. Чимишлия

Поэтому считаем, что применение интегрально-разностных кривых раскрывает широкие возможности как при анализе однородности выборочных данных, так и при установлении цикличности в многолетнем ходе атмосферных осадков, а определения

погрешности в случае не учета циклических колебаний. Для этого можно применить различные аппроксимации наблюдаемых циклов [2]. Принимая во внимание плавность перехода через минимумы и максимумы интегрально-разностной кривой можно применить наиболее простое уравнение синусоиды для симметричных и несимметричных циклов в таком виде:

для симметричных циклов

$$K_t = 1 + A_k \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right), \quad (27)$$

для асимметричных циклов для фазы спада (от максимума до минимума) при отсчете времени от максимума

$$K_{t(s)} = 1 + A_k \sin\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi t}{T_s}\right) \quad (28)$$

и для фазы подъема (при отсчете времени от начала подъема)

$$K_{t(c)} = 1 + A_k \sin\left(\frac{\pi t}{T_c} - \frac{\pi}{2}\right). \quad (29)$$

Здесь K_t – модульный коэффициент t -го года симметричной интегрально-разностной кривой; T – продолжительность цикла; $K_{t(s)}$ и $K_{t(c)}$ – модульные коэффициенты, соответственно в фазе спада при продолжительности T_s и в фазе подъема продолжительностью T_c ; A_k – нормированная средняя полуамплитуда цикла, определяемая по формуле

$$A_k = \frac{3.14 \cdot \Delta_k}{T}, \quad (30)$$

где Δ_k – разность ординат между максимумами и минимумами циклов продолжительностью T .

Насколько удовлетворительно согласуются результаты расчета по аппроксимированным уравнениям (27-29) и с данными наблюдений можно видеть по рис. 7-9, где приводятся интегральные кривые годовых сумм осадков по станциям-аналогам.

Известно [2], надежность определения нормы годовых осадков или годового стока гарантируется при включении в расчет периода лет охватывающего один или несколько замкнутых циклов. В противном случае возникают дополнительные погрешности, вызванные фазовым отклонением ординат циклической кривой от климатической нормы. Фазовое отклонение может, изменяться от 0 до $100 A_k$ и зависит современной фазы цикла и продолжительности периода наблюдений.

Значение фазовой ошибки можно установить из выражения (27) при некотором его преобразовании. В итоге величина вероятной погрешности (фазовой ошибки в %) δ_f определится по формуле

$$\delta_f = 64 \frac{A_k T}{\pi N} \sin \frac{\pi N}{T}. \quad (31)$$

Для удобства расчетов δ_f по формуле (31) предлагается табл. 8, по которой через известное отношение N/T принимается промежуточная величина λ_a , связанная с δ_f и A_k соотношением $\delta_f = \lambda_a A_k$. Кроме того, определение фазовой погрешности можно выполнить и по графику, приведенному на рис. 10.

Таблица 8

N/T	0,0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0
λ_a	64	62	58	50	41	19	0	12	14	0

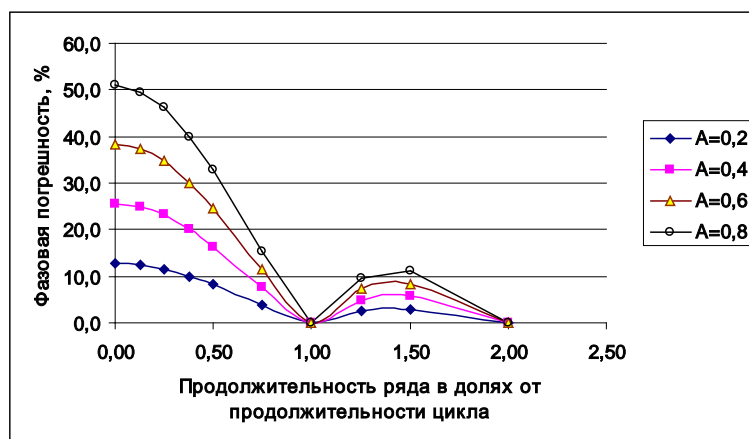


Рис. 10. Вспомогательный график для определения величины фазовой погрешности, δ_f

Если цикличность выявляется недостаточно четко или очень сильно варьирует и установить современную фазу цикла становится невозможным, то расчет искомой нормы осадков или годового стока приходится вести без учета цикличности.

Таким образом, суммарная погрешность δ определения средней многолетней величины годовых осадков или других варьирующих во времени гидроклиматических характеристик будет равняться сумме фазовой δ_f и случайной среднеквадратической погрешности δ_{caz} , которая прямо пропорциональна коэффициенту вариации C_v , изучаемого элемента и обратно пропорциональна корню квадратному из числа лет наблюдений N , т. е.

$$\delta = \delta_f + \delta_{caz} . \quad (32)$$

В табл. 9 приводятся результаты расчета фазовой δ_f , случайной δ_{caz} и суммарной δ погрешностей применительно к наиболее вероятным значениям параметров, определяющих норму годовых атмосферных осадков на территории Республики Молдова.

Таблица 9

Значения погрешностей определения нормы годовых атмосферных осадков при различной продолжительности наблюдений и обобщенных параметрах многолетней изменчивости ($C_v=0,25$), при продолжительности полного цикла ($T=120$ лет) и фазовой амплитуде ($A_k = 0,15$)

Наименование ошибок	Значения погрешностей расчета, в % нормы годовых осадков при продолжительности наблюдений в N лет						
	10	20	40	70	80	100	120
Случайная ошибка. δ_{caz}	7,9	5,6	4,0	3,0	2,8	2,5	2,3
Фазовая ошибка, δ_f	9,5	9,2	7,9	5,1	4,0	1,8	0,0
Суммарная $\delta = \delta_f + \delta_{caz}$	17,4	14,8	11,9	8,1	6,8	4,3	2,3

Как показывают данные таблице 9 и графики на рис. 10 при достаточно выраженной цикличности ($A_k \geq 0,15$) фазовая погрешность убывает с увеличением длительности ряда в интервале принятой продолжительности цикла. Если же период наблюдений N превысит продолжительность T цикла, то ошибки вновь будут возрастать (см. рис 10), однако они в этом случае окажутся допустимыми. При небольшой амплитуде цикла ($A_k < 0,15$) и слабой вариации годовых осадков ($C_v < 0,2$) фазовая погрешность практически стабилизируется и

может принять допустимое значение, близкое к 5 %. Принимая во внимание выявленные особенности влияния цикличности на погрешности определения нормы годовых осадков можно предложить следующие рекомендации:

- 1) при хорошо выраженной цикличности ($A_k \geq 0,15$) и сравнительно невысокой вариации (C_v до 0,3) расчет нормы годовых осадков целесообразно проводить для периодов, равных полной продолжительности, не принимая в расчет годы, относящиеся к началу следующего цикла;
- 2) при малой амплитуде цикличности ($A_k < 0,15$) и значительной вариации годовых осадков целесообразно вычислять их норму для всего периода наблюдения N , даже если он превышает продолжительность выявленного цикла;
- 3) если для расчета используются последнее 30-40 лет, включающих в себя многоводную фазу с высоким коэффициентом вариации, то фазовая погрешность совместно со случайной ошибкой превысит допустимые пределы $\pm 10\%$.

Поэтому необходимым условием для определения достоверной нормы годовых осадков является установление предельно допустимых погрешностей, сообразуясь с результатами оценок фазовой и случайной погрешностями. Эти вопросы можно реализовать путем приводки статистических параметров годовых сумм осадков к многолетнему периоду (1890-2010 гг.). Для этого используем метод отношений [20], где в качестве пунктов-аналогов являются станции Сорока, Кишинэу и Чимишлия, репрезентирующих группу метеорологических пунктов севера, центра и юг Молдовы (см. рис.1).

В итоге составлен банк данных по основным статистическим параметрам годовых сумм атмосферных осадков (годовой норме, коэффициентов вариации и автокорреляции, погрешности нормы), приведенные в табл.10.

Приведенные в табл. 10 результаты расчетных построений показывают, что в случае не учета фазовой δ_f , случайной δ_{caz} погрешностей достоверность оценки нормы годовых осадков может оказаться ниже допустимых требований, даже при достаточно длительных наблюдениях.(40 и более лет) и относительно низких коэффициентах вариации. Для получения надежных данных следует всегда учитывать фазовую погрешность независимо от размера амплитуды и продолжительности цикла. При вековой продолжительности наблюдений фазовая погрешность стремится к нулю, а случайная находится ниже допустимой $\delta_{caz} < 5\%$ (см. графу 9, табл. 10).

На основе этих весьма надежных материалов выполнено картографическое моделирование, приведенных к многолетнему периоду (1890-2010 гг.) норм годовых осадков (рис. 2).

Кроме того, картографическое моделирование годовых осадков за многоводный период (1971-2010 гг.) выполнено с учетом влияния зональных факторов (географических координат) и интразональных факторов (абсолютных высот метеорологических пунктов) на базе двух компьютерных программ — регрессионного анализа, через уравнение

$$X_0 = 0.168 \cdot H + 0.00017 \cdot \varphi - 0.00026 \cdot \psi - 226, \quad \text{мм.} \quad (33)$$

Здесь H - высота пункта наблюдений, м. абс; φ и ψ — соответственно координаты долготы и широты пункта наблюдений; и метода интерполяции. (рис. 2 а и 2 б).

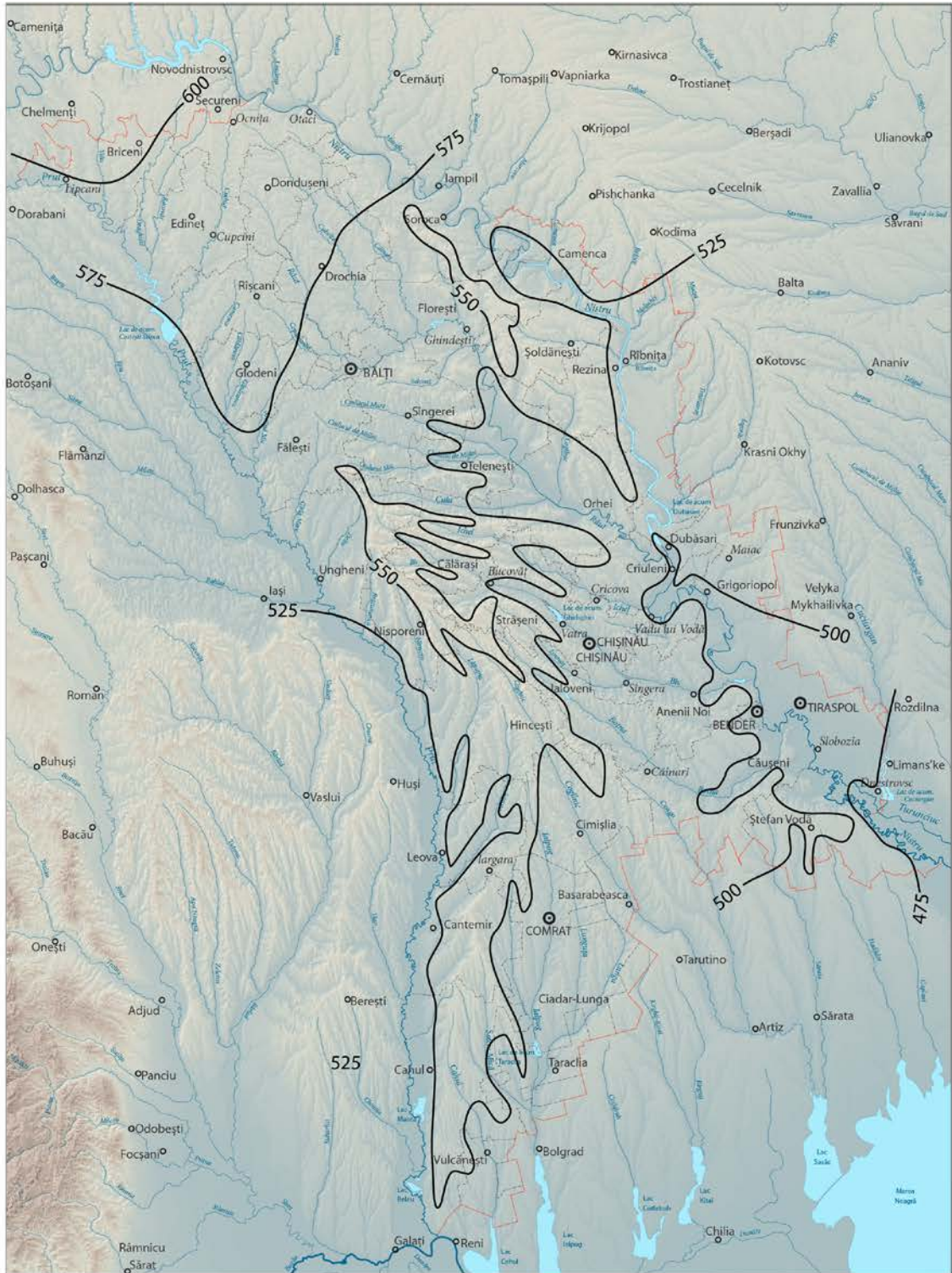


Рис. 2. Нома годовых осадков приведенных к многолетнему периоду (1890-2010 гг.)

Результаты оценки статистических параметров годовых осадков
за вековой цикл и многоводную фазу

Станция	Многоводная фаза цикла 1971-2010 гг.				Вековой цикл 1890-2010		
	средний слой осадков, X'_0 mm /год	коэффициент вариации, C'_V	общая ошибка средней, σ_{tot} %	коэффициент авто- корреляции $r(1)$	норма годовых осадков X_0 , мм	коэффициент вариации, C'_V	общая ошибка нормы, σ_{tot} %
2	3	4	5	6	7	8	9
Бричень	625	0,21	11,1	-0,290	574	0,21	1,9
Бравича	588	0,22	11,8	-0,044	530	0,22	2,0
Бэлцата	516	0,20	10,8	0,067	465	0,2	1,8
Бэлць	520	0,21	10,8	-0,268	478	0,21	1,9
Корнешть	639	0,22	11,3	-0,192	575	0,22	2,0
Кахул	530	0,23	8,3	-0,035	510	0,23	2,1
Комрат	497	0,22	8,2	0,085	479	0,22	2,0
Чадыр-Лунга	493	0,20	7,8	0,153	475	0,2	1,8
Каменка	548	0,18	10,6	-0,222	605	0,18	1,6
Кишинэу	553	0,19	10,7	-0,048	498	0,19	1,7
Дубэсарь	556	0,19	10,7	0,116	501	0,19	1,7
Фэлешть	579	0,20	11,0	-0,271	521	0,2	1,8
Леова	529	0,23	8,3	-0,192	509	0,23	2,1
Рыбница	529	0,21	11,1	-0,180	486	0,21	1,9
Сорока	563	0,21	11,1	-0,095	517	0,21	1,9
Штефан-Водэ	539	0,19	7,7	0,195	519	0,19	1,7
Тираспол	513	0,20	11,0	0,105	462	0,2	1,8
Окница	607	0,24	11,5	-0,306	557	0,24	2,2
Бырлэдень	577	0,24	11,6	-0,283	530	0,24	2,2
Бэлэсинешть	618	0,21	11,1	-0,206	568	0,21	1,9
Дондушень	596	0,24	11,6	-0,374	547	0,24	2,2
Тринка	552	0,24	11,6	-0,090	507	0,24	2,2
Единец	618	0,22	11,2	-0,364	568	0,22	2,0
Хрушка	523	0,23	11,4	0,236	480	0,23	2,1
Дрокия	556	0,22	11,2	-0,232	511	0,22	2,0
Корпач	557	0,23	11,5	-0,187	511	0,23	2,1
Рышкань	606	0,24	11,5	-0,199	556	0,24	2,2
Думень	487	0,23	11,4	-0,322	447	0,23	2,1
Севинова	538	0,23	11,4	-0,145	494	0,23	2,1
Белоче	543	0,20	11,0	0,044	499	0,2	1,8
Флорешть	508	0,24	11,5	-0,198	466	0,24	2,2
Куболта	552	0,21	11,1	-0,238	507	0,21	1,9
Браниште	592	0,23	11,4	-0,068	544	0,23	2,1
Молокишул Маре	531	0,20	10,9	-0,023	488	0,2	1,8
Глодень	578	0,20	11,0	-0,174	531	0,2	1,8
Андреевка	544	0,20	10,9	-0,028	500	0,2	1,8
Резина	543	0,21	11,0	-0,172	499	0,21	1,9
Кажба	629	0,23	11,4	-0,077	578	0,23	2,1
Сынжерей	577	0,25	11,6	-0,086	520	0,25	2,3
Теленешть	543	0,22	11,3	0,043	489	0,22	2,0
Дойбань	507	0,19	10,8	0,088	457	0,19	1,7
Орхей	550	0,18	10,6	-0,056	495	0,18	1,6
Желобок	524	0,21	11,0	0,016	472	0,21	1,9
Унгень	524	0,24	11,6	-0,128	472	0,24	2,2

Пырлица	538	0,22	11,3	-0,173	484	0,22	2,0
Григориопол	483	0,22	11,3	0,280	435	0,22	2,0
Стрэшень	545	0,21	11,0	-0,154	491	0,21	1,9
Ниспорень	532	0,18	10,6	-0,213	479	0,18	1,6
Анений Ной	508	0,20	11,0	0,089	457	0,2	1,8
Хынчешть	555	0,19	10,8	0,049	500	0,19	1,7
Кэрпинень	529	0,23	8,2	-0,173	509	0,23	2,1
Чимишлия	458	0,22	8,2	-0,228	441	0,22	2,0
Олэнешть	468	0,20	7,8	0,068	451	0,2	1,8
Вулкэнешть	486	0,19	7,7	0,047	468	0,19	1,7
Брынза	495	0,24	11,5	0,113	477	0,24	2,2
Шишкань	541	0,12	9,6	-0,201	487	0,12	1,1
Кодрий МС	476	0,22	11,3	0,484	429	0,22	2,0
Шолдэнешть	489	0,18	10,6	-0,151	449	0,18	1,6
Кэушень	506	0,21	8,0	0,083	487	0,21	1,9
Басарабяска	497	0,20	7,7	0,124	479	0,2	1,8
Плаюл Фагулуй	636	0,23	11,5	-0,144	573	0,23	2,1
Твардица	479	0,21	7,9	0,095	461	0,21	1,9
Яловень	543	0,20	10,9	-0,071	489	0,2	1,8
Садова	557	0,28	12,2	-0,175	502	0,28	2,6



Рис 2. Картограмма среднегодовых сумм осадков за многолетний период 1971-2010 гг. Уравнение регрессии (33) а) Метод интерполяции б)

Кроме общих пространственных обобщений годовых сумм осадков по всей территории Молдовы в табл. 11 приводятся сведения о нормах увлажнения в границах принятых ландшафтных регионов.

Таблица 11
Особенности изменения годовых осадков в границах ландшафтных регионов.

Regiuni	Зона	Площадь региона, км ²	Средний Многолетний слой осадков, X_0 , мм	Доля осадков от среднего значения по Молдове
D. R. Silvic a Podișului Codrilor	Silvostepă	1879	549	1,00
A. R. Pod și câmp. de silvostepă a Mold. de N	Silvostepă	2171	610	1,11
G. R. Câmp. aluviale de stepă a Nistrului Inferior	Stepă	2596	491	0,90
C. R. de silvostepă a pod. Podoliei	Silvostepă	1897	556	1,02
B. R. câmp. și deal. de stepă a Moldovei de N	Silvostepă	2013	586	1,07
F. R. câmp. de stepă a Bugeacului	Stepă	913	493	0,90
E. R. câmp. și pod. de silvostepă a Mold. de S	Silvostepă	1180	508	0,93

Из данных табл. 11 ясно следует, что доля увлажнения территорий ландшафтных регионов достаточно четко согласуется с их физико-географическими особенностями. Количественные различия увлажненности отдельные ландшафтных регионов и зон, в

сущности, не выходят за пределы $\pm 10-11\%$ и четко согласуются с зональными особенностями отдельных регионов. Это является, важным аргументом, подтверждающим установление границ, выполненного ландшафтного районирования территории Молдовы.

Дополнительно к этим обобщениям практический и научный интерес имеют оценки характеристик увлажненности (норм годовых осадков) по водосборам рек, на которых ведутся наблюдения за стоком воды. Эти расчеты не вызывают особых затруднений при наличии картографических материалов (рис. 11 и 12) и репрезентативных компьютерных программ ArcGis.

В итоге отметим, что выполненные исследования пространственно-временного изменения годовых осадков на территории Молдовы являются исходной базой для реализации и установления взаимосвязи компонентов водного и теплового балансов, для реальных водных ресурсов с учетом их охраны и рационального использования.

Заключение

Принимая во внимание климатические особенности территории Республики Молдова, расположенной в зоне недостаточного увлажнения, изучение временных и пространственных закономерностей годовых осадков имеет большой практический и научный интерес.

Анализ критериев оптимальной достоверности изученности годовых сумм атмосферных осадков показывает, что в среднем по республике плотность метеорологической сети, т. е. один пункт здесь репрезентирует площадь в 428 км^2 . Почти в 1,5 раза возрастает репрезентирующая площадь на юге страны (табл. 1). В соответствии с имеющейся плотностью пунктов метеорологических наблюдений среднее полурастояние между пунктами составляет 12 км.

Для анализа и объективной оценки погрешностей исходной информации по годовым суммам атмосферных осадков предлагается использовать эмпирическую пространственную корреляционную функцию (ПКФ). Согласно результатам анализа сведенных в табл. 2 **мера случайной погрешности (ошибок)** годовых сумм осадков составляет 0,44, а для осадков теплого периода года, равна 0,48. В таком случае диапазон средних квадратичных погрешностей определения осадков, достигает $\varepsilon_{\Delta X} = 7,5 - 19\%$. При таких условиях погрешности интерполяции на половину средних расстояний между пунктами, составляющих 11 – 14 км могут изменяться от 9 до 15%. Здесь же отметим, что в случае когда для обобщения норм годовых осадков используются только материалы 18 метеорологических станции репрезентативная площадь возрастает до 1900 км^2 , а среднее полурастояние между пунктами достигает 30 км, в данном случае мера случайной погрешности изменится от 0,49 до 0,51, а ошибки интерполяции достигают 15-16%, превышая допустимые требования на 5-10%.

Среди наиболее принципиальных вопросов при обобщении временных рядов годовых осадков считается изучение особенностей циклических колебаний. Во временном колебании многие климатические и гидрологические характеристики обладают свойством чередования фаз роста и фаз спада, образуя циклический характер колебания изучаемого элемента климата с переменными по продолжительности фазами. Выявить свойство цикличности в обычных хронологических графиках колебания годовых осадков практически не реально. В этой связи прибегают к модификации хронологических графиков с применением автокорреляционных и спектральных функций, а также нормированных разностных интегральных кривых.

В этом отношении осуществлен, анализ эмпирических автокорреляционных функций годовых сумм осадков по трем метеорологическим станциям с наиболее длинными рядами наблюдений, расположенным в северной части территории Молдовы (ст. Сорока), центральной – (ст. г. Кишинев) и южной – (ст. г. Чимишлия). Ряды по годовым суммам осадков приведены к многолетнему периоду 1890 по 2012 гг., общая продолжительность которого составляет 123 года.

В технических заметках ВМО для анализа автокорреляционных функций рекомендуется использовать сдвигку, не превышающую $1/3$ изучаемого ряда. В этой связи расчеты коэффициентов автокорреляции $r(\tau)$ выполнены с максимальной сдвигкой до $\tau = 40$ лет.

Полученные результаты достаточно убедительно подтверждают относительно слабую внутрирядную связь годовых сумм осадков почти во всем диапазоне $r(\tau)$, что указывает квазиоднородность анализируемых выборок. Кроме того, они иллюстрируют достаточную хорошую синхронность и реальную периодичность высокочастотных колебаний годовых осадков, изменяющихся в пределах от 2-х до 5 лет. (табл. 6). Средняя продолжительность из 10-ти циклов по анализируемым станциям составляет 4 года, а величина средней амплитуды коэффициента автокорреляции годовых осадков возрастает от 0,21 на севере Молдовы до 0,37-0,34 на юге. Значение максимальной амплитуды (0,47-0,53) приходится на 6-7 циклы при сдвигке 22-26 лет.

При анализе среднемноголетних статистических параметров годовых осадков, применительно к оценке компонентов водного и теплового балансов возникает необходимость выявления низкочастотных колебаний годовых осадков, т. е. более продолжительных реальных циклов. В этом направлении в метеорологии и гидрологии широко применяется метод интегрально - разностных кривых, которые описываются уравнением (24), которое трансформирует линейные изменения годовых сумм осадков в синусоидальный или параболический вид с четко выраженными фазами векового цикла, равного 120 лет. Здесь фаза с осадками ниже нормы (маловодная) занимает многолетний период с 1890 по 1953 гг. т. е 63 года, а противоположная ей многоводная фаза охватывает период с 1953 по 2010 гг. -57 лет.

Достоверность определения нормы годовых осадков или годового стока гарантируется при включении в расчет периода лет охватывающего один или несколько замкнутых циклов. В противном случае возникают дополнительные погрешности, вызванные фазовым отклонением ординат циклической кривой от климатической нормы. Фазовое отклонение может, изменяться от 0 до $100 A_k$ и зависит современной фазы цикла и продолжительности периода наблюдений.

Результаты расчетных построений показывают, что для получения надежных данных следует всегда учитывать фазовую погрешность независимо от размера амплитуды и продолжительности цикла. При вековой продолжительности наблюдений фазовая погрешность стремится к нулю, а случайная находится ниже допустимой $\delta_{caz} < 5 \%$.

В итоге отметим, что выполненные исследования по пространственно-временного изменению годовых осадков на территории Молдовы являются исходной базой для реализации и установления взаимосвязи компонентов водного и теплового балансов, для реальных водных ресурсов с учетом их охраны и рационального использования.

Литература

1. Справочник по климату СССР, вып. 11. часть IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л. Гидрометеиздат 1968. – 127 с.
2. Бефани А.Н., Мельничук О.Н. *Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат*. Тр. УкрНИГМИ.-Л., Гидрометеиздат, 1967.-Вып. 69 – с. 105-137.
3. Рождественский А.В., Чеботарев А.И (1974) *Статистические методы в гидрологии*. Л. Гидрометеиздат, 424 с.
4. Рождественский А.В. (1977) *Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик*. Ленинград, Гидрометеиздат, 270 с.
5. Алексеев Г.А. (1975) *Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации*. Л. Гидрометеиздат, 96 с.

6. Мельничук Орест. (2012) *Поводки и наводнения на реках Молдовы (вопросы теории и практические расчеты)*. Кишинэу. Изд. FCP „Primex - Com” SRL. – 233
7. Алексеев Г.А. (1971) *Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей*. Л., Гидрометеиздат, 363 с.
8. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. *Теория вероятности и математическая статистика в технике (общая часть)*. Гостехиздат М. с.
9. Дарадур М.И. (2001). *Изменчивость и оценки риска экстремальных условий увлажнения*. Кишинэу. Изд. «Elena V.I». – 160 с.
10. Дроздов О.А., Григорьева А.С. (1971). *Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР*. – Л., Гидрометеиздат. – 157 с.
11. Андреев В.Г. Исследование повторяемости и продолжительности периодов различной водности на реках СССР// – Труды ГГИ, 1965, вып.127, с.227-272.
12. Donciu C. (1929). *Regimul precipitațiilor în Basarabia*. – București.
13. Прока В.Е. (1967). Роль климатического фактора в развитии ландшафтов.// Проблемы географии Молдавии. – Вып. 2, Кишинев. –
14. Прока В.Е. (1969). Колебания годовых и месячных сумм осадков на территории Молдавии.// Проблемы географии Молдавии. – Вып. 3, Кишинев, – с.18-40.
15. Прогноз климата Молдовы на начало XXI века. Под редакцией А.В.Гольберта и З.А. Мищенко. – Кишинев. -1993. –
16. Волькенштейн М. В. (1986). *Энтропия и информация*. – М.: Наука,. – 192 с.
17. Алехин Ю.М. (1963). *Статистические прогнозы в геофизике*. Л., Изд. ЛГУ.- 86 с
18. Дроздов О.А.(1962). О свойствах интегрально-разностных кривых. // – Тр. ГГО, вып. 162, с.3-6.
19. Батталов Ф.З. (1968). Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. – Л., Гидрометеиздат. – 183 с.
20. *Determinarea caracteristicilor hidrologice pentru condițiile Republicii Moldova.* («*Определение основных гидрологических характеристик для условий Республики Молдова*»). Нормативный документ СР D.01.05.2012. (Научный руководитель). Официальное издание, Chișinău. 2013. – 180 р.
21. Указания для управления гидрометеорологической службы по вычислению поправок измеренным величинам атмосферных осадков. Л., Гидрометеиздат, 1969.- 55с.
22. Багров Н.А. О среднем многолетнем испарении с поверхности суши. – *Метеорология и гидрология*, – 1953. - №10. – с20-25.
23. Тюрк Л. *Баланс почвенной влаги*/ Под ред. Струзера Л.Р; перевод с франц. – Л., Гидрометеиздат, 1958. – 240 с.
24. Великанов М.Д. *Гидрология суши*. Учебник.– Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 403 с.
25. Соколовский Д.Л. *речной сток*.– Л.; Гидрометеиздат, 1968.– 540 с.
26. Viessman W. Jr., Harbaugh T.E., Kharr J.W. *Introduction to Hidrology*. Перевод с англ. Под редакцией Бефани А.Н. Л.; Гидрометеиздат, 1979.– 470 с.
27. Мезенцев В.С. (1976) *Расчеты водного баланса*. Омск. СХИ. – 75 с.