

Оценка изменения экстремальных осадков Черноморского региона в XX столетии

Проанализированы суточные величины осадков, полученные на пяти метеостанциях Черноморского региона Украины, с целью выделения изменений экстремальных осадков малой повторяемости во второй половине XX столетия по сравнению с первой. Вычислены параметры функции распределения суточных величин осадков и обобщенного распределения экстремальных годовых величин. Определена значимость оценок изменений параметров распределения. Приведены изменения экстремальных величин осадков для зимних и летних периодов.

Проблема изменений климата в результате все возрастающей антропогенной нагрузки на окружающую среду для Земли в целом и ее отдельных регионов относится к актуальным направлениям геофизики. Для Украины ее значение связано с тем, что, как показали предварительные оценки [1], изменения климата в юго-восточном регионе Европы в XX столетии значительно превосходят глобально осредненные величины. Так, по сравнению с глобальным потеплением Земли в XX столетии, составляющим $\sim 0,6^\circ\text{C}$, зимняя температура воздуха на территории Украины увеличилась на $2,0 - 2,7^\circ\text{C}$ [2]. Изменилась также частота повторяемости экстремальных событий в месячных масштабах [1].

По-существу, одним из наиболее важных параметров климата являются осадки. В то же время оценка их изменчивости на протяжении достаточно больших промежутков времени вызывает наибольшие трудности в силу недостаточности необходимых климатических данных, т.е. доступных данных измерений суточных величин осадков для большого числа пунктов наблюдений. Поэтому оценки изменений как средних величин осадков, так и их экстремальных проявлений в XX столетии для региона Украины наиболее неопределенны.

Целью работы является оценка изменения статистики экстремальных суточных осадков в XX столетии в Черноморском регионе Украины для пяти пунктов наблюдений (Севастополь, Феодосия, Николаев, Киев и Полтава).

Исходные данные и методика. Использован массив данных *European Climate Assessment and Dataset (ECAD)*, сочетающий в себе ряды суточных метеоданных хорошего качества для достаточно продолжительных сроков наблюдений [3]. Исходными данными являлись ряды суточных величин осадков для пяти пунктов на территории Украины. Эта часть массива охватывает период 1900 – 1996 гг.

Каждый ряд наблюдений на станциях был разбит на две части, условно названные первой (I) и второй (II) половиной XX в. Разделение в большинстве случаев обуславливалось недостатком данных в военные годы (1941 – 1945). Для исследования выбраны зимний (декабрь–февраль) и летний (июнь – август) сезоны, в наибольшей мере характеризующие годовой цикл изменчивости.

Пусть $h_1, \dots, h_n$ – последовательность измеренных значений случайной величины, h – количество суточных осадков, n – число дней в периоде, составлявшее 3 – 4 тыс. значений. Известно, что в отличие от большинства метеопараметров месячные и суточные значения осадков не подчиняются нормальному вероятностному закону распределения. Как правило, для суточных сумм осадков принимается распределение плотности вероятности x , имеющее вид гамма-распределения:

$$P(h, \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha h^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\beta h},$$

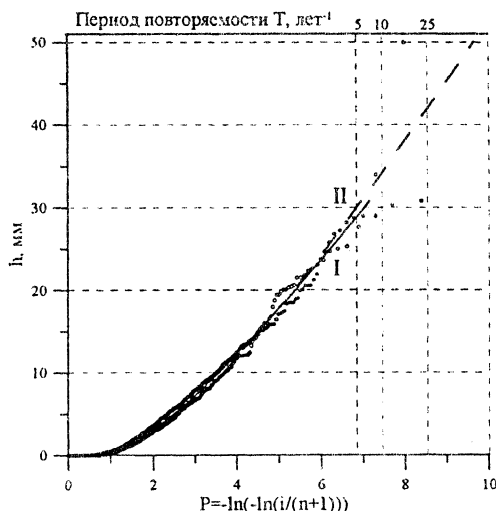
где $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция. Параметры гамма-распределения α и β имеют вид:

$$\alpha = m^2/D, \quad \beta = m/D,$$

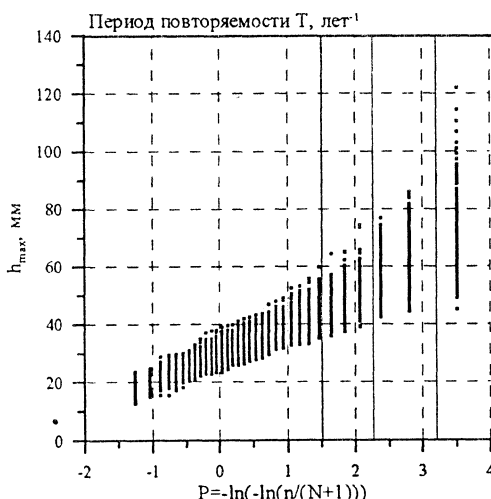
где m – среднее значение; D – дисперсия по выборке.

Для определения изменения максимальных величин осадков выбраны периоды повторяемости, равные 5, 10 и 25 лет. Связь между T и кумулятивной функцией распределения

$P(h)$ имеет вид $T = 1/(1-P(h))$. Использовались два подхода к оценке изменений вероятности выпадения максимальных осадков для заданных периодов повторения T . Первый – с помощью подгонки гамма-распределения. В качестве иллюстрации на рис. 1 показана кумулятивная функция распределения суточных осадков в Севастополе для двух периодов времени (первый период: 1906 – 1926, 1928 – 1937, 1939 – 1941 гг.; второй период: 1945 – 1993 гг.). Видно, что гамма-распределение хорошо описывает изменение осадков практически для всего диапазона величины h (точками показаны измеренные значения осадков). Из графика можно определить, насколько изменилось экстремальное значение для различных периодов повторяемости. Так, например, периоду повторяемости $T = 10$ лет в первой половине века соответствовало максимальное суточное значение осадков 28 мм, а во второй половине – 30 мм.



Р и с. 1. Кумулятивная функция распределения суточных осадков для Севастополя в первую (I) и вторую (II) половину XX в.



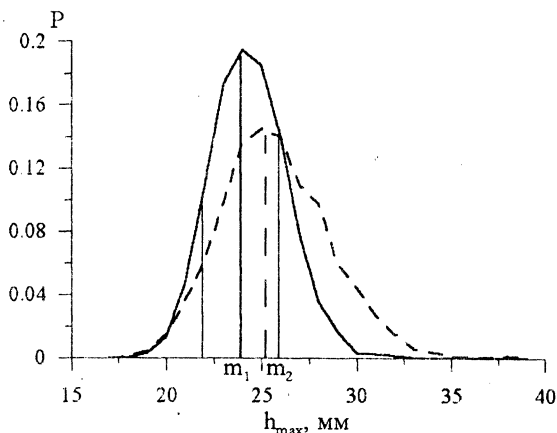
Р и с. 2. Распределение максимумов генерированных значений осадков

Принципиальным вопросом является оценка статистической значимости изменений величин осадков малой повторяемости. Был использован известный метод Монте-Карло. С помощью генератора случайных чисел имитировались 10 000 рядов той же длины, что и исходный, и с теми же параметрами функции распределения. Затем были выбраны максимумы осадков сезона каждого года, которые и составили ряды для дальнейшего анализа. На рис. 2 показан пример – полученное множество точек, из которых выбраны три сечения, соответствующих интересующим нас периодам повторяемости. Выборочные функции плотности распределения, т.е. гистограммы генерированных таким образом модельных значений осадков, представлены на рис. 3 (показаны значения, относящиеся к пункту Севастополь; период повторяемости 5 лет).

Была проверена простая гипотеза H_0 о принадлежности сгенерированных выборок для первой и второй половин XX в. одному и тому же множеству точек, то есть об отсутствии значимых изменений между первым и вторым периодами времени. Гипотеза H_0 принимается, если выборка принадлежит этому множеству, и отвергается в противном случае. С гипотезой H_0 конкурирует альтернативная гипотеза H_1 о принадлежности выборки другим множествам [4]. Границей критической области отбрасывания нулевой гипотезы выбрано значение $m + \sigma$ (m – среднее, σ – стандартное отклонение по выборке).

Для данного примера:

– вероятность α ложного отбрасывания гипотезы H_0 равна 0,28;

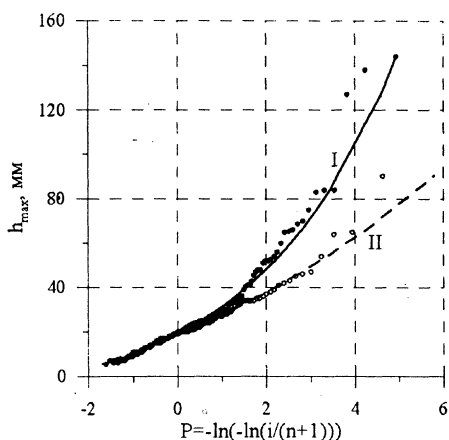


Р и с. 3. Выборочные функции плотности распределения в первую (штриховая) и вторую (сплошная) половину XX в.

из пяти пунктов. Это обусловлено тем, что распределение максимумов в выборке независимых и одинаково распределенных величин сходится к данному при условии, что величина выборки стремится к бесконечности.

Исходными данными для определения параметров *GEV* является ряд значений $h_1, \dots, h_n$ случайной величины H (сезонные максимумы осадков). Распределение *GEV* имеет следующий вид [5]:

$$F(x) = \begin{cases} \exp\{-[1 - k(h - \xi)/\alpha]^{1/k}\} & \text{при } k < 0, \quad h < \xi + \alpha/k, \\ \exp\{-\exp[-(h - \xi)/\alpha]\} & \text{при } k = 0, \\ \exp\{-[1 - k(h - \xi)/\alpha]^{1/k}\} & \text{при } k > 0, \quad h > \xi + \alpha/k. \end{cases}$$



Р и с. 4. Суточные максимумы осадков в летний период в п. Николаев и подгонка к ним *GEV*-распределения

– вероятность β ложного принятия гипотезы H_0 равна 0.49;

– вероятность правильного отбрасывания гипотезы H_0 $1 - \beta$ (мощность критерия) равна 0.51.

Таким образом, в этом случае гипотеза H_1 отвергается, т.е. различия в характере осадков оказались не значимыми. Мощность критерия правильного отбрасывания H_0 не велика, а ложного принятия гипотезы H_0 – не мала.

Более общий подход основан на использовании теории экстремальных значений. Их анализ проводился путем подгонки обобщенного распределения экстремальных величин [5] (*Generalized extreme value distribution – GEV*) сезонных максимумов осадков для каждого

Три неизвестных параметра: ξ (параметр положения), α (шкалы) и k (формы) определяются с использованием метода *L*-моментов. На рис. 4 показаны экспериментальные точки распределения суточных максимумов осадков для летнего сезона, а также подгонка к ним *GEV*-распределения.

Для оценки значимости изменений применялась та же методика, что и в случае с гамма-распределением.

Результаты. В таблице представлены результаты оценки величин и значимости изменений максимумов осадков для второй половины XX столетия по сравнению с первой. Гипотеза о различии выборок принималась при мощности критерия более

75%. Статистически значимыми различия оказались в следующих пунктах:

- Киев – летний сезон, периоды повторяемости 5 и 10 лет;
- Николаев – летний сезон, периоды повторяемости 5, 10 и 25 лет; зимний сезон – период повторяемости 10 лет;
- Полтава – летний сезон, периоды повторяемости 5, 10 и 25 лет;
- Севастополь – зимний сезон, период повторяемости 10 лет;
- Феодосия – изменения оказались незначимыми.

Параметры *GEV*-распределения, максимальные значения осадков и их изменение

Пункт	Период	Параметры <i>GEV</i> -распределения			h_{max} , мм			Δh_{max} , мм		
		k	α	ξ	5 лет	10 лет	25 лет	5 лет	10 лет	25 лет
Полтава	лето I	-0,18931	8,912	14,308	47,19	55,63	81,86	-10,32	-11,72	-24,81
	лето II	-0,09983	7,902	11,494	36,87	43,91	57,05			
	зима I	-0,09469	3,935	6,855	19,47	23,65	29,86			
	зима II	-0,05118	4,099	8,902	21,12	24,26	29,79			
Николаев	лето I	-0,12376	8,412	18,691	45,99	58,30	73,18	19,26	25,59	54,67
	лето II	-0,31765	10,401	18,964	65,25	83,89	127,85			
	зима I	0,03306	4,144	8,673	19,46	23,08	26,56			
	зима II	0,30667	4,519	9,949	18,33	19,45	20,88			
Киев	лето I	-0,12031	7,665	15,585	39,94	48,47	62,35	8,13	9,83	13,22
	лето II	-0,16257	7,970	21,061	48,07	58,30	75,57			
	зима I	-0,08317	4,742	9,415	24,06	28,82	36,32			
	зима II	-0,12569	4,589	10,06	25,15	30,41	39,04			
Феодосия	лето I	-0,24534	6,715	6,887	33,69	45,30	67,28	4,17	3,64	10,83
	лето II	-0,28208	7,004	8,696	37,86	48,94	78,11			
	зима I	0,01397	5,208	7,782	22,05	25,93	30,97			
	зима II	0,04706	4,898	8,964	21,54	24,29	29,11			
Севастополь	лето I	-0,19007	6,973	9,887	34,55	47,25	65,03	1,88	-0,69	-0,36
	лето II	-0,20712	6,865	11,437	36,43	46,56	64,67			
	зима I	-0,14424	4,549	9,435	24,51	31,68	41,07			
	зима II	-0,06422	3,979	10,833	22,61	26,35	32,04			

Примечание. Значимые величины выделены.

Как видно из таблицы, осадки в XX столетии изменялись неоднородно по территории Украины. Только в отношении Николаева и Севастополя (зимний период), Киева и Николаева (летний период) достаточно уверенно можно говорить о выделении значимых изменений, имеющих высокий критерий согласия. Как указывалось выше, такие неопределенности характерны в целом при оценке осадков как одного из климатических параметров, наиболее сложно поддающихся анализу.

Таким образом, одним из результатов является выделение значимой тенденции уменьшения экстремальных зимних осадков во второй половине XX столетия для двух приморских пунктов (Николаев и Севастополь) и их увеличения в летний период для Киева и Николаева. Для внутриматерикового пункта Полтава выделена достоверная тенденция уменьшения летних экстремальных осадков в тот же период времени. Оценка изменчивости для других пунктов находится в пределах статистической ошибки.

Качественное различие изменения в приморских и внутриматериковых районах хотя и вызывает вопросы, но, тем не менее, не противоречит существующим представлениям о

существенном различии в годовом цикле осадков. Как известно, если для внутриматериковых районов Украины выделяется один – летний максимум в годовом ходе осадков, то для приморских регионов появляется второй – зимний максимум. Эти различия связаны с особенностями крупномасштабной циркуляции и, в частности, со сдвигом к югу в зимний период траекторий прохождения циклонов, приносящих экстремальные осадки.

Несомненно, полученные оценки изменчивости осадков требуют дальнейшего анализа с использованием данных по большему числу пунктов. Для месячных сумм осадков архивные данные более доступны, оценки их изменчивости в XX столетии опубликованы [1]. В то же время еще не сформирован достаточно полный массив суточных величин для Черноморского региона.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ефимов В.В., Губанова Е.В. Изменение климата Украины в XX веке.– Севастополь, 2003.– 42 с.– (Препринт / НАН Украины. МГИ).
2. *Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC).*– Cambridge: University Press, 2001.– 881 p.
3. Klein Tank A.M.G., Coauthors. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment // *Int. J. Climatol.* – 2002. – № 22. – P. 1441–1453.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 832 с.
5. Kharin V.I., Zwiers F.W. Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulation with a coupled atmosphere-ocean GCM // *J. Climat.* – 2000. – № 13. – P. 3760–3788.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 25.05.05

ABSTRACT Daily precipitation values obtained on five meteorological stations in the Black Sea region of Ukraine are analyzed with the purpose to reveal variation of extreme values of low recurrence in the second half of the 20th century as compared to the first one. Parameters of the distribution function of daily precipitation values and the generalized distribution of extreme annual values are calculated. Significance of the estimates of distribution parameter variations is defined. Variations of precipitation extreme values for winter and summer periods are given.