

# ОЦЕНКА ПОВТОРЯЕМОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В XX ВЕКЕ

В. В. Ефимов, Е. В. Губанова

Морской Гидрофизический институт НАН  
Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: efimov@alpha.mhi.iuf.net

*Рассмотрен метод оценки экстремальных величин среднемесячных осадков. Для территории Украины в зимний и летний периоды рассчитаны поля значений среднемесячных осадков, возможных один раз в 10, 20, 50 и 100 лет. Выявлены изменения таких осадков за период XX века. Обсуждаются региональные особенности полученных распределений.*

**Введение.** В настоящее время проблема изменения климата Земли стала одним из основных факторов влияния на развитие современной цивилизации. В связи с этим прогнозы будущего климата приобретают все большую актуальность. Начальным этапом любого прогноза является диагноз регионального климата и его изменений. При этом оценкам экстремальных значений отводится ведущая роль в решении задач, связанных с определением режимов редкой повторяемости, при прогнозах экстремальных природных явлений.

Актуальность региональных исследований для Украины связана также и с тем, что в течение XX столетия основные климатические характеристики на ее территории действительно изменились, и эти изменения заметно превышали глобально осредненные величины. В работе [1] показано, что наиболее значимым оказалось повышение средних сезонных температур воздуха (до  $2.5^{\circ}$ ), влажности, облачности и уменьшение числа морозных дней и диапазона суточных колебаний температуры в зимний период. То есть, результаты, свидетельствующие об изменении регионального климата Украины, соответствуют общей тенденции потепления глобального климата Земли в XX веке.

Основной проблемой изучения климата отдельных регионов земного шара является отсутствие достаточных данных измерений. Поскольку для анализа изменений гидрометеорологических параметров за периоды времени порядка десятков лет экспериментальные данные должны охватывать временной промежуток около

столетия. До настоящего времени такие ряды измерений крайне малочисленны.

Цель данной работы - анализ среднемесячных осадков на территории Украины. Основные поставленные задачи - оценка экстремальных значений осадков, имеющих период повторяемости 10, 20, 50 и 100 лет, а также выявление изменений этих значений в течение XX века.

**Данные.** В настоящей работе в качестве исходных данных был использован один из наиболее полных глобальных массивов данных CRU DDC (Climate Research Unit Data Distribution Center) [2], включающий месячные величины осадков за период с 1901 по 1998 годы. Этот информационный массив был собран на основе данных измерений на метеостанциях, входящих в систему всех национальных гидрометеорологических служб, которые после соответствующей валидации были интерполированы к узлам пространственной сетки  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ . Такое разрешение дало возможность охватить все физико-географические зоны Украины. Однако в массиве существуют пробелы, в частности пропущен такой специфический район как горный Крым. Поэтому отсутствующая ячейка была заменена данными наблюдений метеостанции Ай-Петри за тот же период.

**Методика.** Метод определения экстремальных значений на основе данных наблюдений осуществляется в два этапа [3, 4]. Сначала вычисляются параметры функции распределения осадков, а затем, обращая полученную функцию, находят значения, соответствующие интересующим нас периодам повторяемости.

Функция распределения экстремальных значений

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

в зависимости от параметра  $k$  может представлять собой одно из трех возможных предельных распределений [5].

Для оценки параметров  $\alpha$ ,  $\xi$  и  $k$  был применен метод  $L$ -моментов, который является предпочтительным при малых выборках. Например, если размер выборки не превышает 100 и параметр  $k$  лежит в интервале  $(-0.5, 0.5)$ , то оценки, полученные методом  $L$ -моментов, имеют меньшую

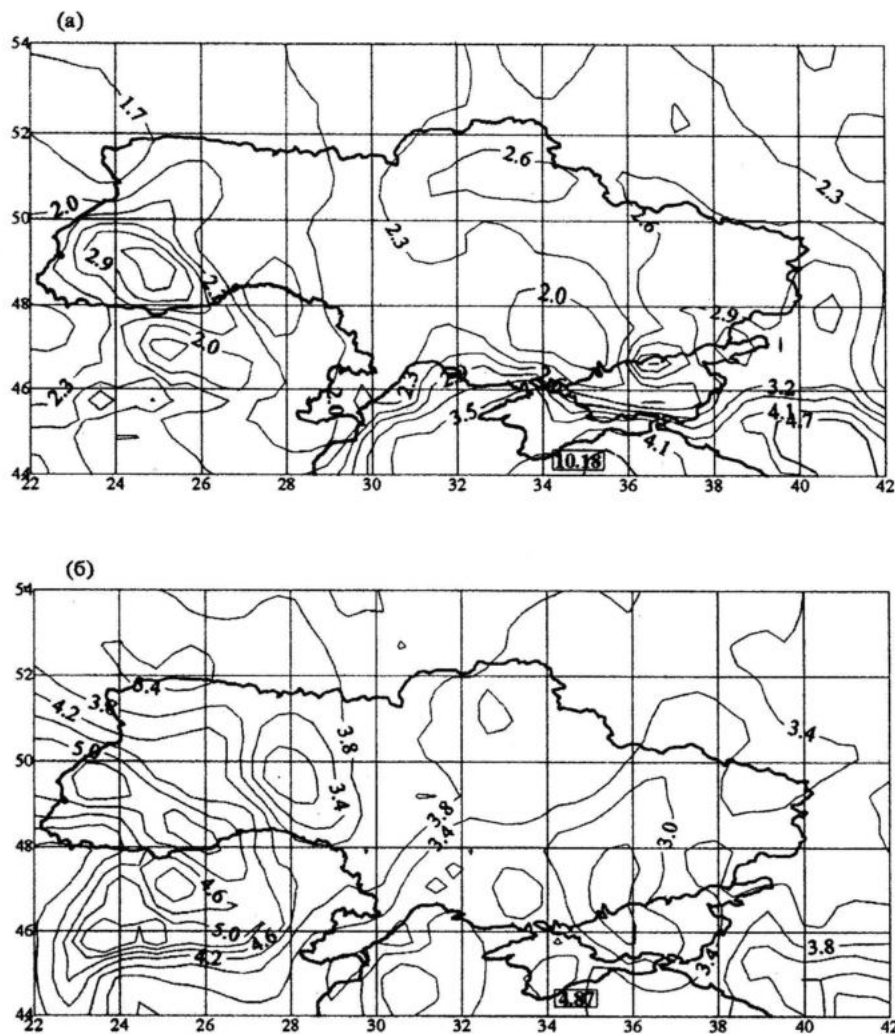


Рис. 1 - Пространственное распределение среднесесячных осадков (мм/день) в зимний (а) и летний (б) периоды, возможных 1 раз в 50 лет на территории Украины

среднеквадратическую ошибку, чем оценки наибольшего правдоподобия [6].

Если  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  - выборка, состоящая из  $n$  независимых испытаний случайной величины  $X$  с функцией распределения  $F(x)$ , а  $X_{1:n}, X_{2:n}, \dots, X_{n:n}$  - совокупность наблюдаемых значений, упорядоченных по возрастанию, тогда первые три  $L$ -момента определяются следующим образом:

$$\lambda_1 = M[X] = \int_0^1 x(F) dF,$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} M[X_{2:2} - X_{1:2}] = \int_0^1 x(F)(2F - 1) dF, \quad (2)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} M[X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}] = \int_0^1 x(F)(6F^2 - 6F + 1) dF.$$

Если случайная величина  $X$  имеет функцию распределения (1), то

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \xi + \alpha[1 - \Gamma(1+k)]/k, \\ \lambda_2 &= \alpha(1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k)/k, \\ \lambda_3 &= \lambda_2[2(1 - 3^{-k})/(1 - 2^{-k})]. \end{aligned} \quad (3)$$

Несмещенными оценками  $L$ -моментов соответственно являются

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_1 &= \sum_i X_i / n, \\ \hat{\lambda}_2 &= \frac{1}{2} \sum_{i>j} (X_{i:n} - X_{j:n}) / C_n^2, \\ \hat{\lambda}_3 &= \frac{1}{3} \sum_{i>j>k} (X_{i:n} - 2X_{j:n} + X_{k:n}) / C_n^3. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив значения  $L$ -моментов для исследуемой выборки в левую часть (3) и решив систему трех уравнений, можно получить оценки параметров распределения в следующем виде:

$$\begin{aligned} \hat{k} &= 7.859z + 2.9554z^2, \\ \hat{\alpha} &= \lambda_2 \hat{k} / [1 - 2^{-\hat{k}} \Gamma(1 + \hat{k})], \\ \hat{\xi} &= \lambda_1 + \hat{\alpha} [\Gamma(1 + \hat{k}) - 1] / \hat{k}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $z = 2/(3 + \lambda_3/\lambda_2) - \ln 2/\ln 3$ .

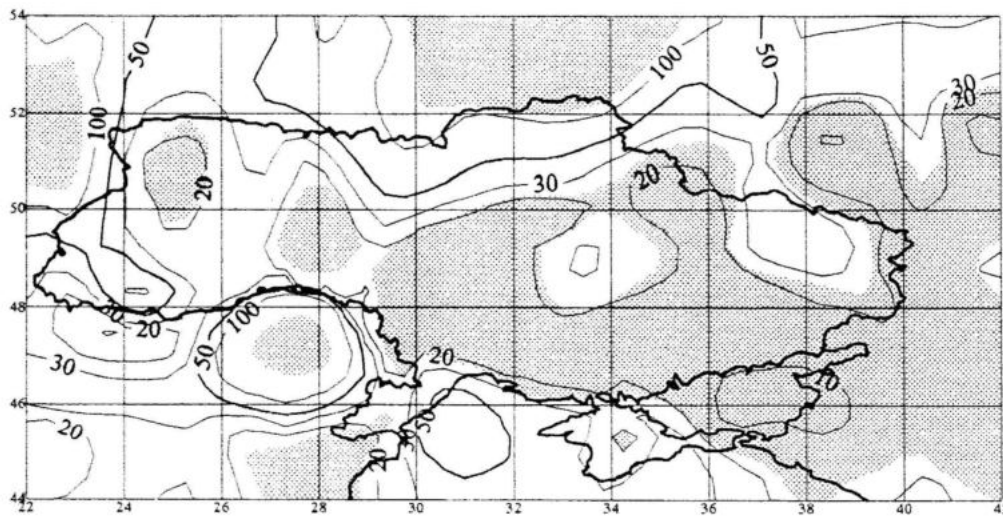


Рис. 2 - Периоды повторяемости (годы) зимних среднемесячных осадков в конце XX столетия, повторяемость которых в начале века была равна 50 лет

Оценки значений, соответствующие периоду повторяемости  $T$  выражаются через подобранную функцию распределения среднемесячных значений  $\hat{F}(x) = 1 - 1/T$ :

$$\hat{X}_T = \hat{\xi} + \hat{\alpha} \{1 - [-\ln(1 - 1/T)]^{-\hat{k}}\} / \hat{k}. \quad (6)$$

Для вычисления доверительных интервалов этих оценок методом Монте-Карло было сгенерировано 1000 выборок размером  $n$ , удовлетворяющих полученному закону распределения. Для каждой из них описанным методом найдены значения для периода повторяемости  $T$ . 15%-ая и 75%-ая квантили были взяты как верхняя и нижняя 70%-ые доверительные границы для значения, соответствующего периоду повторяемости  $T$ .

На следующем этапе стандартным методом наименьших квадратов были определены величины линейных трендов. Для установления статистической значимости полученных значений были использованы стандартная  $t$ -статистика и выражение для дисперсии углового коэффициента линейного тренда [7].

Большой практический интерес представляет изменение не только средних величин, но и статистика экстремальных вариаций, т.е. характеристика аномальных лет. Изменение периода повторяемости таких лет мы вычислили, пользуясь данными о величине тренда и зная закон распределения. Хотя параметры распределения зависят от первых трех  $L$ -моментов, однако в первом приближении можно полагать, что дисперсия аномалий не изменилась в течение всего периода. В этом

приближении можно считать, что  $L_2$  и  $L_3$  не меняются, а изменение  $L_1$ , который является средним, нам известно (тренд). Таким образом были оценены периоды повторяемости событий, имеющих заданное отклонение самой величины от ее средней.

**Результаты.** В результате проведенных расчетов для каждой ячейки пространственного разрешения вычислены значения среднемесячных осадков, возможных 1 раз в 10, 20, 50 и 100 лет, а также значения средних среднемесячных осадков. На основе полученных значений построены карты плотности распределения таких осадков для территории Украины в зимний и летний периоды.

На рис.1 представлены распределения осадков, возможных 1 раз в 50 лет. Зимой на равнинах выпадает наименьшее количество осадков – 1.8-2.3 мм/день. В горах и предгорьях осадков значительно больше. Максимальное их количество – в горном Крыму (станция Ай-Петри – 10.18 мм/день). Во всей Украине, за исключением Южных склонов Крымских гор, летние осадки больше зимних. Летом более всего осадков выпадает на Волыно-Подольской возвышенности и особенно в Карпатах, где их среднемесячное количество достигает 5.7 мм/день. К юго-востоку осадки убывают. Здесь их количество снижается до 2.5 мм/день. В горном Крыму, на станции Ай-Петри количество среднемесячных осадков составляет 4.87 мм/день. В целом, указанные закономерности сохраняются для случаев распределения осадков, возможных 1 раз в

10, 20 и 100 лет, а также для распределения средних среднемесячных осадков.

При оценке величин линейных трендов оказалось, что летом изменения в режиме осадков невелики и сами величины трендов не являются статистически значимыми. Зимой картина более определенная: практически на всей территории тренд положительный, а почти для всей восточной части его величина значима на 90%-ом уровне.

Для областей, где тренд значим, были оценены изменения экстремальных величин (на рис. 2 эти области заштрихованы). Так, осадки, имевшие место в начале века 1 раз в 50 лет, в конце века повторяются чаще, чем 1 раз в 20 лет. Изолиния 50 лет совпадает с изолинией нулевого тренда. На территориях, где периоды повторяемости стали больше 50 лет, тренд, очевидно, положительный, где меньше – отрицательный.

**Заключение.** На основе анализа 98-летних массивов данных для территории Украины в летний и зимний сезоны оценены величины экстремальных осадков с периодом повторяемости 10, 20, 50 и 100 лет. Определены диапазоны изменения осадков. Показано, что зимой на востоке страны существовала явная тенденция как к увеличению среднемесячных величин осадков, так и к сокращению периодов повторяемости аномальных сезонов. Заметим, что полученные величины среднемесячных осадков, в общем, согласуются с известными результатами, основанными на других исходных данных [8]. Детальный анализ изменения экстремальных величин осадков в Украине для XX столетия нам не известен.

В дальнейших исследованиях планируется анализ других климатических параметров, входящих в массив CRU DDC. Это позволит в достаточной мере охарактеризовать климат Украины в XX веке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Еремеев В.Н., Ефимов В.В. Региональные аспекты глобального изменения климата // Доповіді Національної Академії наук України (в печ.)
2. New M., Hulme M. and Jones P. D., 2000: Representing twentieth-century-time climate variability: Part II: Development of 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface. *J. Climate*, 13, p.2217-2238.
3. Zwiers F. W. and Kharin V. V., 1998: Change in the extremes of the climate simulated by CCC Gcm2 under CO<sub>2</sub> doubling. *J. Climate*, 11, p.2200-2222.
4. Kharin V. V. and Zwiers F. W. 2000: Change in the extremes in an ensemble transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *J. Climate*, 13, p.3760-3788.
5. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – Москва: Мир, 1965, 452с.
6. Hosking J. R. M., 1990: L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. Roy. Stat. Soc. B52*, p.105-124.
7. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – Москва: Мир, 1973, 960с.
8. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.