

Л. А. Ковальчук

## Стохастическое оценивание вековой динамики сезонных распределений ежедневных атмосферных осадков на примере наблюдений в Киеве

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины В. И. Осадчим)

Посредством обобщенного нормального трехпараметрического распределения (Generalized Gaussian 2) посезонно воссоздана вековая динамика статистических распределений ежедневных атмосферных осадков. Прослежены тенденции вероятностей их категорий. Установлено, что вероятность экстремально низких осадков в летние сезоны увеличивалась от 0,39 до 0,62 и, наоборот, в зимние сезоны опускалась от 0,58 до 0,33. Соизмеримые тренды характерны для экстремально высоких осадков в зимние сезоны, когда их вероятность росла от 0,08 до 0,22, а в летние и осенние сезоны уменьшалась. Интенсивность осадков в пределах нормы слабо росла в течение года за исключением лета. Осадки выше или ниже нормы не имели существенных вековых тенденций.

Суждения об изменениях режима атмосферных осадков основываются преимущественно на тенденциях их суточных и месячных сумм, тогда как для практических потребностей необходимы знания о трендах экстремальных ежедневных величин осадков. Проблема заключается в том, что ряды измеренных количеств ежедневных осадков в пункте наблюдений содержат нулевые величины, составляющие, порой, более половины всех значений, что делает практически невозможным установление законов их статистических распределений за месяц. Наша цель — изыскать математическую модель идентификации сезонных законов статистических распределений суточных осадков, рассчитать вероятности экстремальных значений и провести анализ трендов вероятностей.

В основу исследования положены ежедневные значения количества атмосферных осадков в Киеве, полученные Гидрометеорологической службой Украины по результатам стандартных ежедневных наблюдений в синоптические сроки за период с 1900 по 2010 гг.

Обычно, для моделирования статистических распределений суммарных по территории ежедневных осадков, используют гамма-распределение [1, 2], но оно не может быть использовано для моделирования статистических распределений ежедневных осадков в пункте наблюдений по сезонам: не позволяет вычислить  $p(x = 0)$  — плотность вероятности нулевого значения осадков. Особо следует отметить распределение Вейбулла, рекомендованное для “выравнивания” эмпирических распределений скорости ветра [3] и которое пытаются применять для ежедневных осадков, тогда как функция распределения вероятностей последних практически оказывается больше единицы. Корректный учет нулевых осадков принципиально важен при решении поставленных задач ввиду того, что экстремальные осадки — избыток их или отсутствие — наносят непоправимые ущербы. В этой связи для идентификации сезонных законов статистических распределений суточных осадков нами применена асимметричная экспоненциальная модель (Generalized Gaussian 2) [4]:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}[\sigma - k(x - \xi)]} \exp \left( - \frac{\left\{ -\frac{1}{k} \ln \left[ 1 - \frac{k(x - \xi)}{\sigma} \right] \right\}^2}{2} \right),$$

где  $p(x)$  — плотность вероятности ежедневных величин осадков  $x$ , мм,  $\xi$  — медиана;  $\sigma$  — стандартное отклонение;  $k$  — параметр формы распределения. Параметры  $\xi$ ,  $\sigma$  вычислялись по ежедневным величинам осадков для зимы, весны, лета и осени каждого года, начиная с 1900 по 2010 гг. Параметр  $k$  рассчитывался последовательно до согласования смоделированной кривой плотности вероятности  $p(x)$  с кривой экспериментальной плотности вероятностей  $p(x)_{\text{экс}}$ .

Вследствие экспоненциального вида кривой плотности вероятности осадков, выделение категорий ежедневных осадков — **экстремально ниже нормы** (ЭНН), **значительно ниже нормы** (ЗНН), **ниже нормы** (НН), **норма** (Н), **выше нормы** (ВН), **значительно выше нормы** (ЗВН), **экстремально выше нормы** (ЭВН) — осуществлялось следующим образом. В качестве основы при расчете границ категорий принимался закон статистического распределения осадков соответствующего сезона, идентифицированный по всему вековому массиву наблюдений, или, другими словами, использовалась вековая норма статистического распределения ежедневных осадков анализируемого сезона, для чего вычислялись статистики:  $\xi_v$ ,  $\sigma_v$ . Кроме того, рассчитывались для каждого сезона за вековой период средние значения ежедневных осадков  $\mu_v$ , т. е. вековые нормы ежедневных осадков за сезон. При выделении границ категорий осадков ниже нормы изучаемого сезона весь диапазон колебаний осадков от нулевого до максимального значений за вековой период наблюдений разбивался на диапазоны так, чтобы до значения Н оказывалось три диапазона: НН, ЗНН, ЭНН. Границы категорий выше нормы вычислялись, как принято в климатологии, относительно среднего значения  $\mu_v$ :  $\text{Н}(\mu_v + \sigma_v)$ ,  $\text{ВН}(\mu_v + 2\sigma_v)$ ,  $\text{ЗВН}(\mu_v + 3\sigma_v)$ . Затем посредством интеграла вероятностей, определялись вероятности категорий осадков по выделенным диапазонам. Полученные по вековому массиву данных границы категорий осадков зимы, весны, лета и осени использовались для оценки вероятностей категорий осадков каждого из сезонов периода 1900–2010 гг. с учетом законов статистических распределений соответствующих им ежедневных осадков.

Законы вековых норм статистических распределений ежедневных осадков по сезонам не имеют существенных различий по форме и отличаются лишь длиной своих “хвостов”: зимой — 41,5 мм, весной — 80 мм, летом — 103,5 мм, осенью — 71 мм. Уровень согласия  $r$  между вековой нормой сезонных распределений частот ежедневных осадков по диапазонам и кривыми их идентифицированных сезонных статистических распределений колеблется в пределах 0,996–0,998 ( $a$  на рис. 1). Хотя количество наблюдений ежедневных осадков за определенный сезон конкретного года относительно не большое и колеблется около 90 значений, но уровень согласия между распределением частот и кривой распределения остается близким 1 (см.  $b$ ).

Вековые нормы вероятностей категорий ежедневных осадков весной, летом и осенью не имеют существенных различий, тогда как вероятность экстремально низких осадков весной, летом и осенью составляла 0,65–0,66 и существенно превосходила их зимнюю вероятность 0,56 (табл. 1).

Установлено, что вековую динамику экстремальных осадков невозможно проследить по их фактическим значениям без изучения законов статистических распределений ежедневных осадков. Например, тренд временного ряда количества дней без осадков зимой положительный, тогда как тренд вероятностей экстремально низких осадков отрицательный, что обусловлено большим количеством дней без осадков и обильными осадками выше нормы в течение того же сезона; аналогичное противоречие обнаружилось и в весенних трендах.

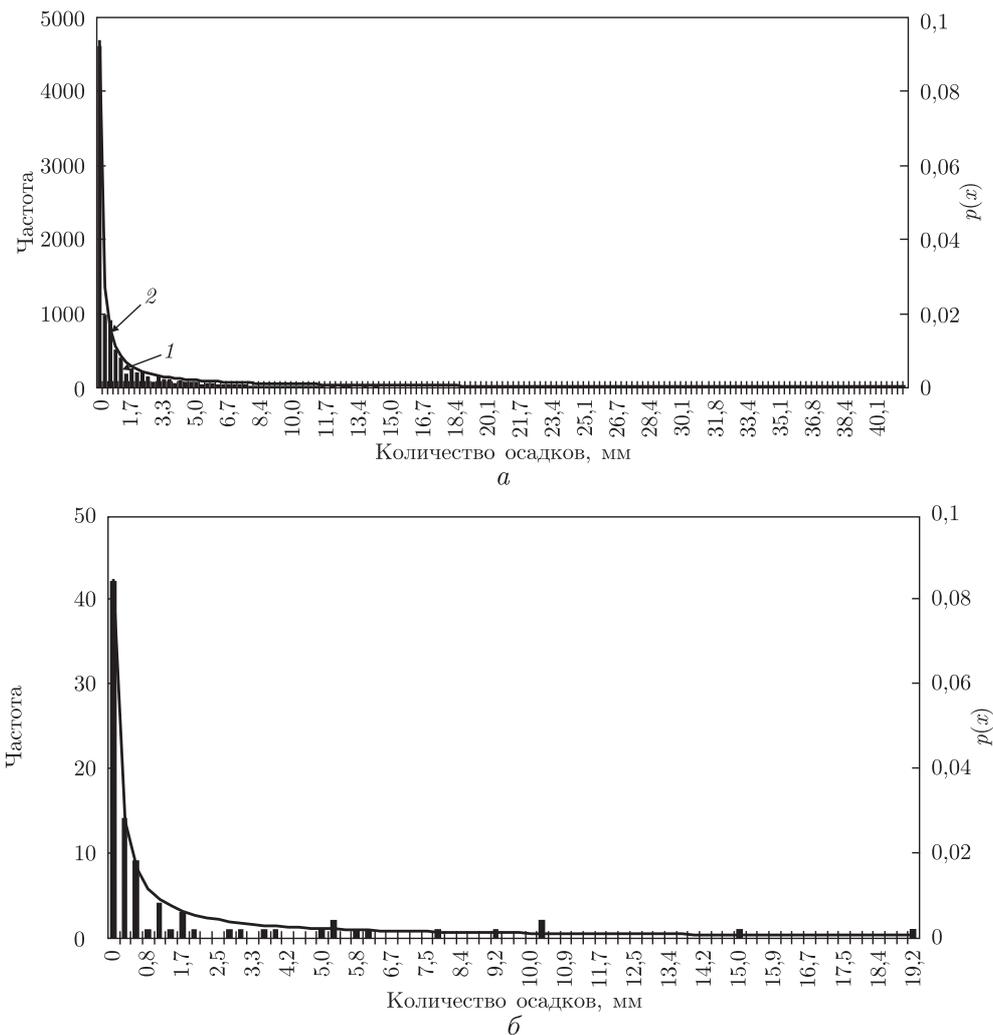


Рис. 1. Согласие между вековой нормой зимнего распределения частот ежедневных осадков и плотностью  $p(x)$  их вероятности (а); между распределением частот ежедневных осадков зимой 1901 г. и плотностью их вероятности (б): 1 — частоты (столбики); 2 — плотности вероятности  $p(x)$  (кривая)

Наибольшую вековую изменчивость испытывали вероятности категорий ежедневных осадков ЭНН в зимние сезоны при тренде с коэффициентом  $-0,014$ , опускаясь от своего, близкого к норме, значения  $0,58$  в начале прошлого века до  $0,33$  в 2010 г. рис. 2. Отрицательные тренды осадков ЭНН прослеживались также в весенние и осенние сезоны с коэффициентами соответственно  $-0,009$  и  $-0,013$ , но в летние, наоборот, отмечался рост их вероятностей до  $0,62$  с коэффициентом тренда  $0,004$ .

Следующую по значимости вековую изменчивость испытывали вероятности категорий ежедневных осадков в пределах нормы в зимние, весенние и осенние сезоны с трендами соответственно  $0,005$ ;  $0,004$ ;  $0,009$ . Наиболее существенный осенний рост вероятностей осадков Н произошел от  $0,11$  в начале прошлого века до  $0,25$  в 2010 г. В летние сезоны векового тренда осадков в пределах нормы не обнаружено.

Соизмеримый тренд были характерен для ежедневных осадков ЭВН в зимние сезоны, когда их вероятность росла от  $0,08$  до  $0,22$  с коэффициентом тренда  $0,003$ ; в весенние се-

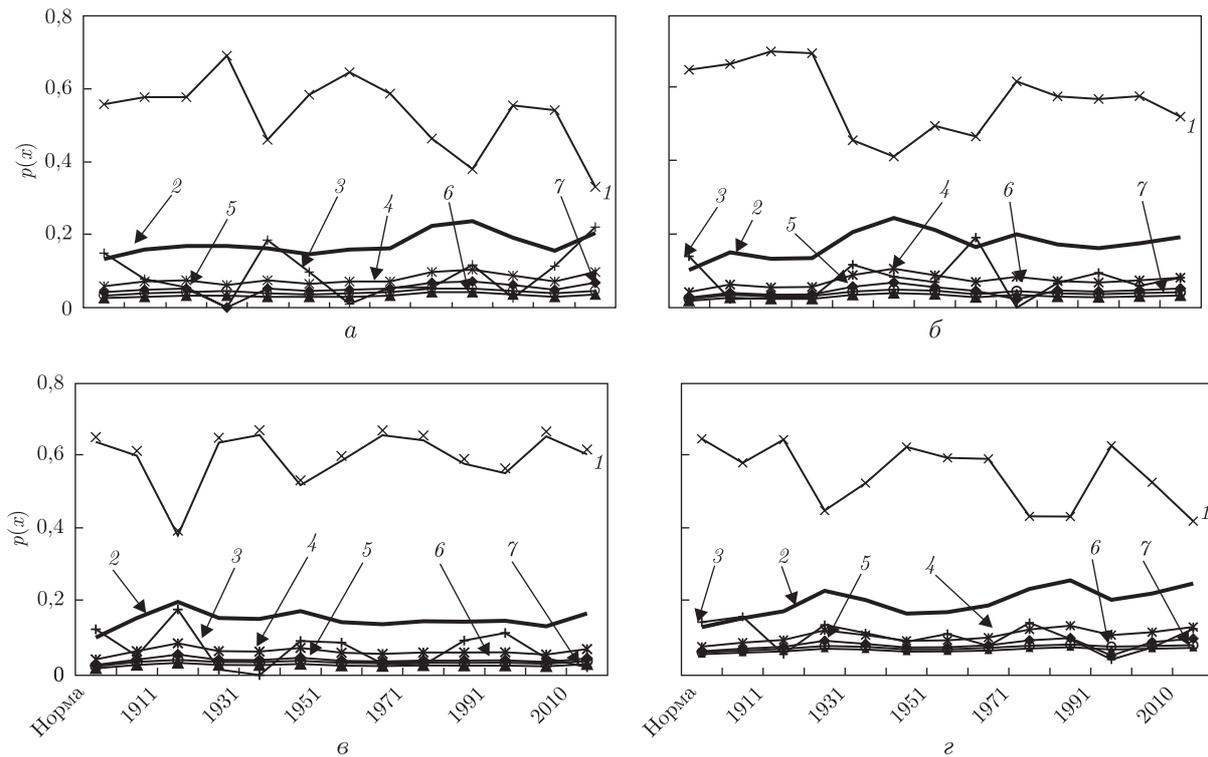


Рис. 2. Вековая изменчивость вероятностей ежедневных осадков зимой (а), весной (б), летом (в), осенью (г) по категориям: 1 — экстремально ниже нормы (1); 2 — норма; 3 — экстремально выше нормы; 4 — выше нормы; 5 — значительно выше нормы; 6 — значительно ниже нормы; 7 — ниже нормы

Таблица 1. Вековая норма вероятностей категорий ежедневных осадков по сезонам

Категория осадков	Нижняя граница, мм	Верхняя граница, мм	Вероятность	Нижняя граница, мм	Верхняя граница, мм	Вероятность
	Зима			Весна		
ЭНН	0,00	0,55	0,56	0,00	0,60	0,65
ЗНН	0,56	0,83	0,03	0,61	0,90	0,02
НН	0,84	1,11	0,03	0,91	1,21	0,02
Н	1,12	4,45	0,13	1,21	5,45	0,10
ВН	4,46	7,52	0,06	5,46	9,39	0,04
ЗВН	7,53	10,86	0,04	9,40	13,33	0,03
ЭВН	10,87	41,50	0,15	13,34	80,00	0,14
	Лето			Осень		
ЭНН	0,00	0,94	0,65	0,00	0,61	0,66
ЗНН	0,95	1,41	0,02	0,62	0,92	0,02
НН	1,42	1,89	0,02	0,93	1,23	0,02
Н	1,90	8,50	0,11	1,24	5,86	0,11
ВН	8,51	7,52	0,04	5,87	10,18	0,04
ЗВН	7,53	14,65	0,03	10,19	14,50	0,03
ЭВН	14,66	103,50	0,13	14,51	71,00	0,12

зони значимої тенденції не виявлено; в летніе і осінніе — вероятності осадків ЭВН зменшувалися з коефіцієнтом тренда  $-0,004$ .

Не обнаружено по сезонам значимих векових тенденцій в динаміці щоденних осадків: ЗНН, НН, ВН, ЗВН. Єдинственна тенденція з коефіцієнтом тренда більше  $\pm 0,001$  виявлена в осінніе сезони, коли вероятность щоденних осадків ВН збільшилася з  $0,05$  в началі минулого століття до  $0,1$  в 2010 г.

Таким образом, обобщенное нормальное распределение (Generalized Gaussian 2) ефективно для посезонної ідентифікації законів статистических розподілів щоденних атмосферних осадків. С його допомогою востановлено векову динаміку статистических розподілів щоденних атмосферних осадків в Києві. Установлено, що частота екстремально низьких осадків в летніе сезони збільшувалася і, навпаки, зменшувалася в зимніе сезони; негативні тренди проявлялися також весною і осінню. Вероятність екстремально високих осадків росла зимою, но зменшувалася летом і осінню. Частота осадків в межах норми слабо росла во все сезони, за виключенням літа. Не обнаружено суттєвих векових тенденцій в динаміці вероятностей щоденних осадків вище или ниже норми.

1. Науменко Л. Ю. Статистична структура полів літніх опадів на території Українського степу при західних циркуляційних процесах // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – 1991. – № 1. – С. 73–79.
2. Золина О. Г. Статистическое моделирование катастрофических атмосферных осадков. – [http://www.olgazolina.com/docs/.../2009\\_rus.pdf](http://www.olgazolina.com/docs/.../2009_rus.pdf).
3. Кобышева Н. В., Гольберг М. А. Методические указания по статистической обработке метеорологических рядов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. – 86 с.
4. Hosking J. R. M., Wallis J. R. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. – Cambridge: Univ. Press, 1997. – 224 p.

Український науково-дослідницький  
гідрометеорологічний інститут  
НАН України і МЧС України, Київ

Поступило в редакцію 29.08.2013

**Л. А. Ковальчук**

### **Стохастичне оцінювання вікової динаміки сезонних розподілів щоденних атмосферних опадів на прикладі спостережень в Києві**

*Завдяки узагальненого нормального трипараметричного розподілу (Generalized Gaussian 2) посезонно відтворено вікову динаміку статистических розподілів щоденних атмосферних опадів. Простежено тенденції ймовірностей їх категорій. Встановлено, що ймовірність екстремально низьких опадів збільшувалася від  $0,39$  до  $0,62$  у літні сезони та, навпаки, зменшувалася від  $0,58$  до  $0,33$  у зимові. Подібні тренди характерні в зимові сезони для екстремально високих опадів, коли їх ймовірність зростала від  $0,08$  до  $0,22$ , а в літні та осінні сезони зменшувалася. Інтенсивність опадів у межах норми зростала слабо протягом року, за винятком літа. Оподи більші або менші норми не мали істотних вікових тенденцій.*

L. A. Kovalchuk

**Stochastic assessment of the secular dynamics of the seasonal distribution of daily precipitations by the example of observations in Kiev**

*By means of the generalized normal three-parameter distribution (Generalized Gaussian 2), the secular dynamics of the statistical distributions of daily precipitations is seasonally recreated, and a tendency of probabilities of their categories is traced. It is found that the probability of extremely low rainfalls during the summer seasons increased from 0.39 to 0.62 and, conversely, fell from 0.58 to 0.33 during in the winter seasons. Comparable trends are characteristic of extremely high rainfalls in winter seasons, when their probability grew from 0.08 to 0.22, and in the summer and autumn seasons decreased. The intensity of precipitations in the normal range grew slightly during the year, except summer. Precipitations above or below the norm had no significant secular trends.*