

Член-корреспондент НАН Украины А. Б. Полонский,
Е. Н. Воскресенская, Е. В. Вышкваркова

Пространственно-временная изменчивость интенсивных осадков на территории Украины и их связь с изменениями климата

С использованием долговременных данных ежедневных наблюдений на территории Украины рассчитаны индексы Джини (GI), характеризующие относительную роль интенсивных осадков в формировании поля суммарных осадков. Показано, что на большей части Украины тренды GI отрицательны. Исключение составляет Азово-Черноморский регион, где наблюдаются преимущественно положительные тренды. Таким образом, повышение приземной температуры на большей территории страны не сопровождается увеличением вклада интенсивных осадков в их общее количество. В то же время во временном ходе GI обнаружена низкочастотная изменчивость естественного происхождения с периодами от 20–30 до 60–70 лет значительной амплитуды.

Глобальное потепление, сопровождающееся увеличением как общего количества осадков, так и частоты, и интенсивности ливней во многих регионах Земного шара, обсуждается в многочисленных научных публикациях. В отчетах Международной группы экспертов (IPCC), обобщающих опубликованные данные, отмечается, что увеличение годового количества осадков в целом наблюдается над сушей в период с 1901 г. и по настоящее время. При этом количество летних осадков в средних широтах уменьшается [1, 2]. Эти изменения, в свою очередь, сопровождаются увеличением частоты интенсивных осадков, что приводит к негативным социально-экономическим последствиям. Однако пространственные изменения количества и интенсивности выпадающих осадков распределены крайне неравномерно по Земному шару, в том числе и по территории Украины [3–5]. В ряде работ (например, в [4, 5]) показано, что глобальное потепление сопровождается уменьшением годового количества осадков в северо-западных (увлажненных) регионах Украины и его увеличением — в юго-восточных (более засушливых) районах, что приводит к формированию более однородного (по пространству) поля годового количества осадков на территории страны. Этот результат противоречит достаточно широко распространенному представлению о том, что в процессе глобального потепления засушливые регионы, как правило, характеризуются отрицательными трендами осадков, а увлажненные — положительными [6]. Представления относительно характера пространственно-временного распределения экстремальных осадков по территории Украине также очень противоречивы [4, 5, 7, 8]. Между тем пространственно-временные тенденции в выпадении осадков (в особенности, интенсивных) крайне важны с практической точки зрения. Поэтому их объективная количественная оценка по данным длительных наблюдений чрезвычайно актуальна.

В настоящем сообщении проведен анализ пространственно-временной неоднородности распределения интенсивных осадков по территории Украины в течение 19–21 вв. с использованием данных о суточных суммах осадков, полученных на 19-ти станциях Гидрометслужбы Украины, по которым имеются продолжительные ряды наблюдений (табл. 1).

Для сравнимости результатов средние величины индекса Джини (GI) и тренды анализируемой характеристики рассчитаны за период, начиная со второй половины 20 в. Отметим, что наиболее продолжительные ряды по ежедневным осадкам накоплены на гидрометеорологических станциях Киев, Симферополь, Одесса и Феодосия. Они охватывают период с конца 19 до начала 21 вв. и анализируются отдельно.

Методика исследования. Оценка неравномерности распределения количества сумм ежедневных осадков выполнялась по методике расчета индекса концентрации, или GI, которая была предложена для решения задач в области климатологии [9] и подробно описана в работах [9, 10]. Напомним, что GI принято использовать в социологии и экономике как статистический показатель, характеризующий, например, уровень неравномерности доходов различных слоев населения [11]. Для его расчета оцениваются так называемые накопленные (кумулятивные) доли осадков разной интенсивности. Далее производится сравнение получаемых кумулятивных кривых, или кривых Лоренца, и прямых равенства, описывающих равномерное распределение осадков по градациям. Чем дальше получаемая кривая распределения отстоит от прямой равенства, тем больше роль редко выпадающих, но интенсивных осадков и тем больше индекс Джини. Рис. 1 наглядно демонстрирует смысл GI и типичный вид кривых Лоренца, построенных по ежедневным данным об осадках на двух станциях Украины. Средние величины GI, рассчитанные по длительным стандартным наблюдениям за осадками, приведены в табл. 1. Расчет GI проведен по всем ежедневным данным для каждого года, а также летнего и зимнего сезонов в отдельности. На основе полученных временных рядов для каждой станции рассчитаны линейные тренды и подобраны аппроксимирующие полиномы шестого порядка с использованием стандартных статистических программ.

Таблица 1. Средние значения индекса Джини, рассчитанные по данным гидрометеостанций Украины, и коэффициенты линейного тренда (в единицах GI за год), оцененные для года в целом, зимнего и летнего сезонов 1951–2005 г.

| Номер п/п | Станция | Значение линейного тренда | | | Среднее значение GI |
|--------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------|------------------------|
| | | год | лето | зима | |
| 1 | Аскания Нова | -0,001**** | -0,0015*** | -0,0019**** | 0,616 |
| 2 | Винница | -0,00024 | -0,00047 | -0,00051 | 0,630 |
| 3 | Геничеськ | -0,00029 | -0,0007 | 0,00026 | 0,624 |
| 4 | Дебальцево | -0,0006** | -0,0022**** | -0,00082* | 0,583 |
| 5 | Измаил | -0,00061** | -0,00036 | -0,00054 | 0,621 |
| 6 | Керчь | -0,001*** | -0,001 | -0,00096** | 0,588 |
| 7 | Киев | -0,00074**** | -0,002**** | 0,00028 | 0,592 |
| 8 | Лубны | -0,00003 | 0,00027 | -0,00098*** | 0,599 |
| 9 | Луганск | -0,00006 | -0,00086 | -0,00007 | 0,57 |
| 10 | Львов | -0,00057*** | -0,0013*** | -0,0008*** | 0,582 |
| 11 | Одесса | -0,00039 | -0,00032 | -0,00069* | 0,604 |
| 12 | Полтава | -0,00054* | 0,00032 | 0,0006 | 0,599 |
| 13 | Севастополь | -0,00019 | 0,0009* | -0,001*** | 0,583 |
| 14 | Симферополь | -0,00002 | -0,0002 | -0,00013 | 0,592 |
| 15 | Ужгород | 0,00018 | -0,00041 | -0,00031 | 0,591 |
| 16 | Феодосия | 0,00006 | 0,0015*** | -0,00048 | 0,621 |
| 17 | Харьков | -0,00047* | -0,0008 | -0,00055 | 0,562 |
| 18 | Черновцы | -0,00002 | 0,00047 | -0,00029 | 0,592 |
| 19 | Шепетовка | -0,00047* | -0,00006 | -0,0011*** | 0,576 |

Примечание. Значимые тренды помечены звездочками, количество которых зависит от уровня значимости (* — 80%, ** — 90%, *** — 95%, **** — 99%).

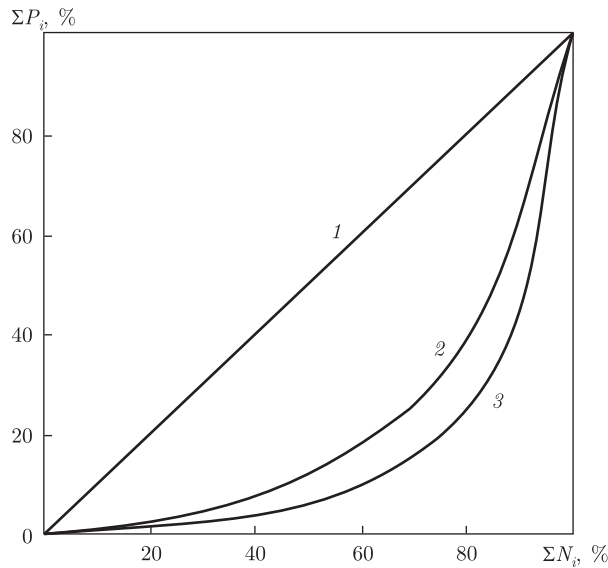


Рис. 1. Кривые распределения атмосферных осадков: линия равномерного распределения (1) и кривые Лоренца для станций Львов (2) ($GI = 0,52$, зимний сезон) и Феодосия (3) ($GI = 0,69$, летний сезон)

Результаты и их обсуждение. Опубликованные данные (например, [7]) показывают, что климатические нормы годовых сумм осадков по территории Украины распределены крайне неравномерно: от районов переувлажнения ($\geq 650\text{--}700$ мм) в северо-западной части (включая предгорье Украинских Карпат), в лесостепи $550\text{--}650$ мм, на северо-востоке (в бассейне Десны) ~ 600 мм, зоны умеренных осадков (~ 500 мм) на границе между лесостепью и степью, до районов недостаточного увлажнения в южной части степной зоны. На побережье Черного и Азовского морей, в Присивашье, осадков выпадает меньше всего — $380\text{--}400$ мм. При этом в течение года осадки выпадают неравномерно по сезонам. Например, в степной части Крыма основная доля годовых осадков выпадает в зимний период, а в районе Южного берега Крыма — в летний.

Неравномерность распределения осадков характерна также для суточных их сумм. Наибольшая пространственно-временная неравномерность выпадения интенсивных осадков типична для юга Украины. За несколько дней аномального месяца здесь может выпасть до 50% годовой суммы осадков. В этот же месяц следующего года осадков может вообще не наблюдаться. Продолжительность аномальных периодов без осадков может достигать сезона. Поэтому средние величины GI по территории Украины ($0,57$ до $0,63$) в целом увеличиваются в южном направлении: максимальные их значения отмечаются на станциях Азово-Черноморского бассейна (кроме Винницы, см. табл. 1, рис. 2, *a*). Причем, как показано в работе [10], корреляция между индексами Джини и среднегодовыми осадками по территории Украины незначительна.

В условиях наблюдаемых климатических изменений характер неравномерности выпадения интенсивных осадков по территории страны также изменяется. Анализируя линейные тренды GI отметим, что в течение исследуемого периода изменения суточных сумм осадков по Украине не были одинаковыми и даже различались по знаку. На большей части территории страны, включая Карпаты, лесную и лесостепную зоны, линейные тренды GI , оцененные для всех месяцев года (без разделения на сезоны), отрицательны. Они достигают $-0,01/10$ лет на станциях Аскания Нова и Керчь. Причем величина трендов увеличивается

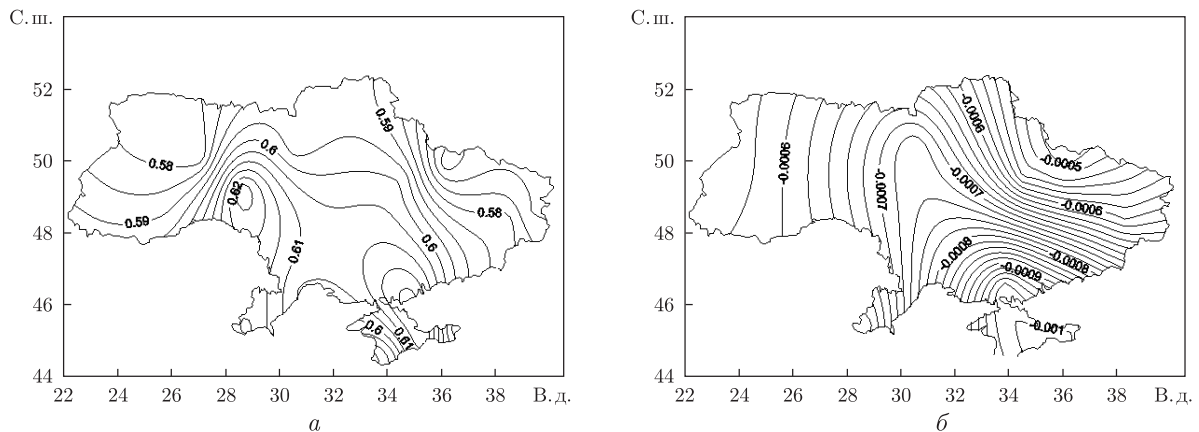


Рис. 2. Распределение среднегодового индекса Джини по территории Украины, рассчитанного по всем данным за 1951–2005 гг. (а) и коэффициентов значимого линейного тренда (б)

(по абсолютной величине) в южном направлении (см. рис. 2, б). Положительные тренды отмечаются только на двух станциях — Феодосия и Ужгород, но они незначимы.

Возникает вопрос — сохраняется ли характер пространственного распределения выявленных тенденций в различные сезоны. Нами рассмотрены тренды для двух сезонов: зимы (декабрь, январь, февраль) и лета (июнь, июль, август). Проведенные расчеты показали, что на большей части территории Украины для обоих сезонов в целом преобладают отрицательные тренды GI. Исключение составляют п-ов Крым, где значимые (на уровне 95%) величины линейных трендов GI в летние месяцы положительны (до 0,015 за 10 лет в Феодосии). Таким образом, вклад интенсивных осадков в их общее количество уменьшается на большей части территории страны не только в среднем за год, но также и зимой, и летом.

Кроме линейных трендов на графиках временного хода GI выделяются квазипериодические колебания этого параметра значительной амплитуды. Для анализа низкочастотной изменчивости GI расчеты индексов концентрации были проведены по 15-летним последовательным отрезкам времени с 7-летним сдвигом в целом для года, а также отдельно для зимы и лета по всем рассматриваемым станциям. Результаты выполненных расчетов показали, что временной ход среднегодовых величин GI, рассчитанный за максимально продолжительный период наблюдений для центральных и южных районов Украины, характеризовался явно выраженными квазипериодическими колебаниями с типичными периодами ~60–70 лет. Соответствующие графики для Киева и Феодосии иллюстрирует рис. 3, откуда видно, что годовой индекс концентрации возрастал с начала прошлого века до 1930–40-х гг., достигнув максимальной величины, превышающей 0,63–0,64. Затем он заметно уменьшался до минимума в середине 1950 (0,62 — в Феодосии) и в начале 1970-х гг. (0,60 — в Киеве) и после этого снова стал расти, достигнув максимума в начале 1970-х гг. в Феодосии. При этом в Киеве отмеченный рост не был монотонным.

Подобный характер изменчивости GI, но с более заметной периодичностью и меньшими пределами изменения индекса типичен для зимних месяцев. Для летних месяцев отмечается более выраженная и высокоамплитудная изменчивость GI с амплитудой до 0,04. Во временном ходе GI, построенном по сезонным величинам, хорошо проявляются также квазипериодические колебания с вдвое меньшим периодом (около 20–30 лет, соответствующие графики здесь не приведены). Анализ временного хода GI, рассчитанный для различных

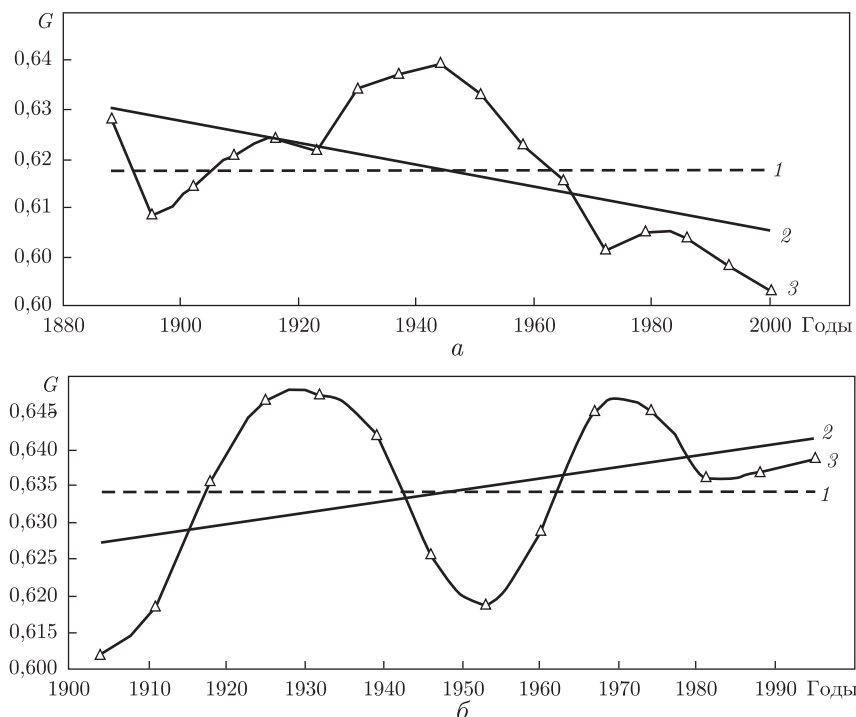


Рис. 3. Характеристики индекса Джини: среднее значение (1), линейный тренд (2) и временной ход сглаженного индекса концентрации (3), рассчитанного по всем данным для станций Киев (а) и Феодосия (б)

сезонов и в среднем за год, показал, что важную роль в изменчивости среднегодовых значений GI играют не только колебания индексов в зимние и летние сезоны, но в переходные сезоны (весенние и осенние).

Таким образом, пространственно-временная изменчивость неравномерности выпадения ежесуточных осадков на территории Украины показывает, что в процессе регионального потепления климата вклад интенсивных осадков в общее их количество не возрастает. Напротив, на большей части территории Украины, на которой регистрируется рост приземной температуры, отмечаются значимые отрицательные тенденции во временном ходе GI. Исключение составляет Крымский регион, где отмечаются положительные тренды GI, причем в летний период они значимы (на уровне 95%). Обнаружена низкочастотная квазипериодическая изменчивость неравномерности выпадения интенсивных осадков с масштабом от 20–30 до 60–70 лет естественного происхождения, независимая от знака линейного тренда во временном ходе GI.

1. IPCC Technical Paper VI. – June 2008 / Ed. by B. C. Bates, Z. W. Kundzewicz, S. Wu and J. P. Palutikof. – Geneva: IPCC Secretariat, 2008. – 210 p.
2. IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Ed. by C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker et al. – Cambridge, UK; New York: Cambridge Univ. Press, 2012. – 582 p.
3. IPCC Technical Paper V. – April 2002 / Ed. by G. Habiba, A. Suarez, D. J. Dokken, R. T. Watsan. – IPCC Secretariat, Geneva: Switzerland. – 85 p.
4. Второе национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата (Подготовлено в соответствии с обязательствами Украины по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата). – Київ: Мінприроди, 2006. – С. 73–74.

5. *Третье, Четвертое и Пятое* Национальные сообщения Украины по вопросам изменения климата (подготовленные на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола). – Киев: Минприроды, 2009. – С. 200–212.
6. Durac P. J., Wijffels S. E., Matear R. J. Ocean Salinities Reveal Strong Global Water Cycle Intensification During 1950 to 2000 // *Science*. – 2012. – **336**, No 6080. – P. 455–458.
7. *Клімат України* / За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – Київ: Вид-во Раєвського, 2003. – С. 311–330.
8. Ефимов В. В., Шакалова Е. С., Губанова Е. В. Оценка изменения экстремальных осадков Черноморского региона в XX столетии // *Мор. гидрофиз. журн.* – 2006. – № **6**. – С. 73–77.
9. Martin-Vide J. Spatial distribution of a daily preGIritation concentration index in Peninsular Spain // *Int. J. Climatol.* – 2004. – **24**. – P. 959–971.
10. Воскресенская Е. Н., Вышкваркова Е. В. Пространственное распределение индекса концентрации суточных осадков по территории Украины // *Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр.* – Севастополь: Мор. гидрофиз. ин-т НАН Укарины, 2011. – Вып. **15**. – С. 235–239.
11. Тарасевич Л. С., Гальперин В. М., Игнатьев С. М. 50 лекций по микроэкономике. – Санкт-Петербург: Эконом. шк., 2000. – С. 288–293.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 06.02.2012

Член-корреспондент НАН України **О. Б. Полонський, О. М. Воскресенська, О. В. Вишкваркова**

Просторово-часова мінливість інтенсивних опадів на території України та їх зв'язок зі змінами клімату

Використовуючи довготривалі дані щоденних спостережень на території України, розраховано індекси Джіні (GI), що характеризують відносну роль інтенсивних опадів у формуванні поля сумарних опадів. Показано, що на більшій частині України тренди GI негативні. Виняток становить Азово-Чорноморський регіон, де спостерігаються переважно позитивні тренди. Таким чином, підвищення приземної температури на більшій території країни не супроводжується збільшенням внеску інтенсивних опадів у їх загальну кількість. У той же час у часовому ході GI виявлено низькочастотну мінливість природного походження з періодами від 20–30 до 60–70 рр. значної амплітуди.

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **A. B. Polonsky, E. N. Voskresenskaya, E. V. Vyshkvarkova**

Spatial and temporal variability of heavy precipitations in Ukraine and their relation to climate changes

Using the long-term data of daily observations in Ukraine, the Gini index (GI), which characterizes the relative contribution of heavy precipitation to the field of total precipitation, is calculated. It is shown that GI trends are negative in most of Ukraine. The exception is the Azov-Black Sea region, where there are predominantly positive trends. Thus, the surface temperature increasing over most of the country is not accompanied by an increase in the contribution of heavy precipitation to the total amount. At the same time, the high-magnitude low-frequency variability (from 20–30 to 60–70 yrs) of GI is detected.