

УДК 004.9:504:519.6

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ В УКРАИНСКИХ КАРПАТАХ МЕТОДОМ
СТАТИСТИЧЕСКОГО ДАУНСКЕЛИНГА**

И.В. Ковалец, О.И. Удовенко

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины

e-mail: ik@env.com.ua

Введение. Для прогнозирования изменений климата используются модели общей циркуляции (global circulation models – GCM), в которых учитываются ключевые климатообразующие факторы и которые позволяют в определенной мере учесть пространственное и временное распределение климатических изменений. Модели GCM используются для составления отчетов Межправительственной группы экспертов по вопросам изменения климата (International Panel on Climate Change - IPCC).

Из-за большого объема вычислительных ресурсов, необходимого для решения уравнений метеорологических моделей, пространственное разрешение моделей GCM находится в пределах 1-2,5 градуса (~ 100 км), что затрудняет оценку региональных характеристики климата по данным GCM. Вследствие этого возникает задача детализации (даунскелинга) данных GCM. Решение данной задачи является чрезвычайно актуальной для многих отраслей народного хозяйства, в частности, при разработке противопаводковых мероприятий в горных районах, поскольку присутствие гор влияет на распределение экстремальных осадков, вызывающих паводки.

Среди методов детализации сценариев GCM выделяют динамические методы и статистические методы. Динамические методы требуют применения мезомасштабных метеорологических моделей, таких как WRF. Пример применения таких моделей для моделирования экстремальных осадков в Украинских Карпатах приведен в [1]. По сравнению с динамическими методами статистические методы детализации позволяют получить более ограниченную информацию относительно пространственного распределения климатических характеристик, однако они значительно экономичнее и особенно удобны для проведения первоначальных оценок климатических изменений.

Обзор результатов GCM. Как известно, в глобальном масштабе увеличение частоты экстремальных высоких температур и осадков является характерным свойством глобального потепления [2]. При этом региональные особенности климата могут существенно отличаться от общих тенденций. Результаты применения климатических моделей для территории Украины не одинаковы, но согласно большинству работ, проведенных в рамках Европейских проектов PRUDENCE и ENSEMBLE, можно сделать вывод, что при реализации сценария общественного развития A1B, с высокой вероятностью в Украине будет происходить увеличение количества экстремальных осадков в зимний период (см., например, [3]). Согласно данным той же работы в летний период на большей части территории Украины, за исключением, возможно, Украинских Карпат, будет уменьшаться частота экстремальных осадков.

При реализации более консервативного сценария общественного развития (A2), согласно данным работы [4], на обширной территории центральной Европы, в том числе и в Украинских Карпатах будет происходить одновременно уменьшение средних сумм летних осадков и увеличение частоты экстремальных осадков.

Метод статистического даунскелинга. В настоящей работе использован метод статистического даунскелинга, разработанный в работе [5]. В этом методе в начале обрабатываются временные ряды суточных сумм осадков, измеренных на станции, и суточных сумм осадков, полученных для того же временного отрезка путем обработки данных GCM. В результате проведенной обработки находятся параметры плотности

распределения вероятности суточных сумм осадков (случайная величина x). При этом плотность распределения вероятности случайной величины x аппроксимируется гамма распределением:

$$pdf(x) = \frac{e^{\left(-\frac{x}{\theta}\right)} x^{k-1}}{\Gamma(k) \theta^k}, \quad (1)$$

а пара параметров (θ, k) находится в процессе обработки временных рядов измерений (в этом случае обозначим пару параметров как (θ_{obs}, k_{obs})) и результатов моделирования (в этом случае обозначим соответствующую пару параметров как (θ_{sim}, k_{sim})).

Интегрируя соотношение (1) находим функции распределения:

$$cdf(x) = \int_x^\infty \frac{e^{\left(-\frac{x}{\theta}\right)} x^{k-1}}{\Gamma(k) \theta^k} dx. \quad (2)$$

Затем графически решаем уравнение:

$$cdf_{obs}(f(x)) = cdf_{sim}(x), \quad (3)$$

с целью нахождения функции перехода $f(x)$. Полученную таким образом функцию перехода можно затем использовать для корректировки функций распределения, рассчитанных на основании моделей GCM для будущих климатических условий.

Результаты расчетов. В начале было проведено тестирование алгоритма статистического даунскелинга. Для построения функции перехода $f(x)$ были обработаны суточные суммы осадков по результатам измерений Карпатских станций и на основании данных региональной климатической модели за 10 лет с 1961 по 1970 гг. В расчетах использовались данные региональной климатической модели RCA3 [3], разработанной в Климатическом центре им. Россби, Швеция. Затем с помощью полученной функции перехода, была откорректирована функция распределения суточных сумм осадков по результатам RCA3 за период 1971-1990 гг., и проведено сравнение полученной функции с результатами измерений (рис. 1). Как видно из данных, представленных на рис. 1, статистический даунскелинг позволяет достичь очень хорошего согласования функции распределения, полученной на основании расчетов с измерениями. Проверено, что имеющиеся расхождения рассчитанной функции распределения и измерений на рис. 1 при больших значениях суточных сумм осадков находятся в пределах доверительного интервала.

На следующем этапе была построена функция перехода на основании обработки данных модели и измерений за период 1960-1990 гг. Затем эта функция использовалась для обработки данных моделирования модели RCA3 для будущего климата за период 2011-2040 гг. для условий сценария A2 социально-экономического развития.

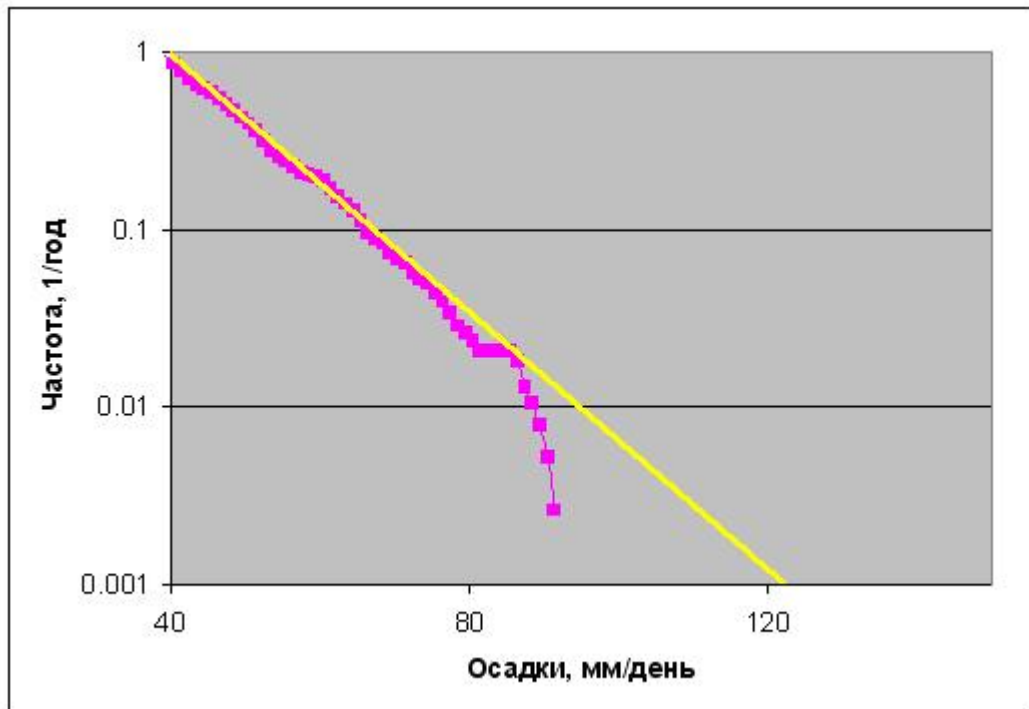


Рис. 1. Рассчитанная функция распределения суточных сумм осадков, осредненных по Карпатским станциям за период 1971-1990 гг. (сплошная линия), и результаты обработки измерений за тот же период (линия с точками)

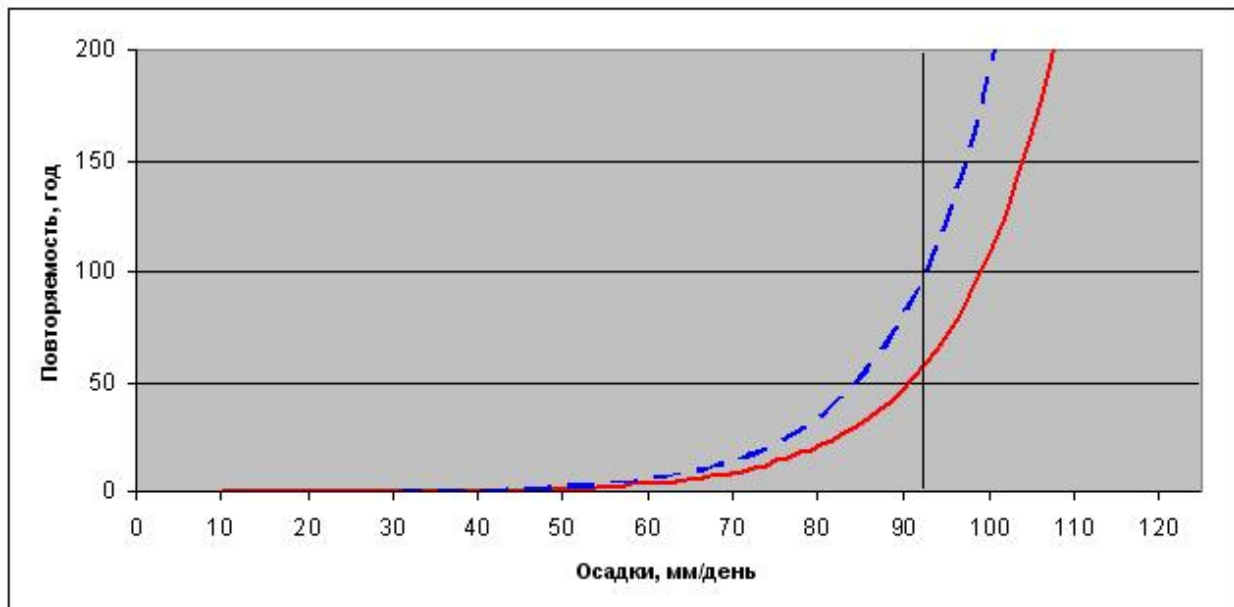


Рис. 2. Зависимость повторяемости от значения суточных сумм осадков (средние суммы по Карпатским станциям). Синя штриховая линия – за период 1960-1990 гг.; красная сплошная линия: за период 2011-2040 гг.

Сравнение повторяемости экстремальных осадков для климата 1960-1990 гг. и для климата 2011-2040 гг. приведено на рис. 2. Суточная сумма осадков x характеризуется повторяемостью T , если вероятность превышения x равна $1/T$. Черная прямая на рис. 2: $x = 92$ мм/сутки соответствует осадкам со 100-летней повторяемостью для климата 1960-1990 гг. Как видно из данных, представленных на рис. 2, согласно результатам модели

повторяемость 100-летних осадков за следующий 30-летний период уменьшится вдвое (т.е. частота выпадения таких осадков увеличится вдвое). При этом величина 100-летних осадков возрастет приблизительно на 10%.

Выводы. Метод статистического даунскелинга, использованный в настоящей работе, позволяет получить хорошее согласование рассчитанных на основании глобальных климатических моделей функций распределения суточных сумм осадков с результатами измерений. Обработка результатов расчетов климатической модели RCA3 показывает, что при реализации сценария социально-экономического развития A2 частота выпадения 100-летних осадков в Украинских Карпатах (определенных для климата 1960-1990) в ближайшие 30 лет (2011-2040 гг.) увеличится вдвое. Величина 100-летних осадков увеличится при реализации данного сценария на 10%.

Данные результаты вместе с результатами гидрологических моделей [6] были представлены широкой общественности и представителям ключевых министерств и ведомств, ответственных за принятие решений в области управления водными ресурсами и охраны окружающей среды во время пресс-конференции «Катастрофічні повені в умовах глобальних змін клімату, їх прогнозування. Спільні розробки науковців НАН України і США для вирішення задач адаптації до змін у водному режимі річок України», організованої 14 Августа 2012 г Пресс-службой Президиума НАН Украины с участием Украинского Гидрометцентра (см. [7]). Это позволяет надеяться на использование представленных данных и последующих результатов в области детализации сценариев глобальных климатических моделей для условий Украины, а также результатов других научных коллективов, работающих в этом направлении (например, [8]), в процессе принятия решений относительно адаптации к изменениям климата в нашей стране.

Список литературы

1. Ковалец И.В., 2012. Реконструкция осадков в районе Украинских Карпат в период катастрофического паводка // Сб. Тр. 8-й дистанционной научно-практической конференции "Системы поддержки принятия решений. Теория и практика СППР 2012", (Киев, 01 июня 2012 г.). – Киев: ИПММС НАН Украины. – С. 78-81.
2. Field, C. B., et al. 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Summary for Policymakers. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 19 p.
3. Nikulin, G., et.al. 2011. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63A, 41–55.
4. Christensen J.H. & Christensen O.B., 2004. Climate modelling: Severe summertime flooding in Europe. *Nature* 421, 805-806.
5. Piani C., Haerter J. O., Coppola E., 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 99, Issue 1-2, pp 187-192.
6. Бойко А.В., Железняк М.И., Кивва С.Л., Удовенко О.И., 2012. Анализ региональных особенностей изменений климата в Карпатском регионе на основе даунскейлинга сценариев глобальных моделей : 2 - Гидрологические характеристики паводков. Сб. Тр. Конференции «Моделирование-2012», (Киев, 16-18 мая 2012 г.). – Киев: Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины.
7. Ірина Ніколайчук, 2012. Чи можна уникнути наслідків катастрофічних повеней в умовах глобальних кліматичних змін? *День*, № 31-32, С. 731-732 (https://intranet.nas.gov.ua/svit/Article/Pages/31-32_1.aspx).
8. Krakovska S., Balabukh V., Palamarchuk L., Djukel G., Gnatiuk N., 2012. Analysis and projections of climate change impacts on flood risks in the Dniester river basin based on the ENSEMBLES RCM data // *Geophysical Research Abstracts*. – Vol. 14, EGU2012-863-2.