

Е.В.Вышкваркова*, Е.Н.Воскресенская*,
А.В.Юровский*, Е.В.Дунаевская**

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**Никитский Ботанический Сад – Национальный научный центр УААН, г.Ялта

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ ПО ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В XXI ВЕКЕ

На основе результатов расчетов современной глобальной модели климатической системы *GFDL-CM3* (США), выполненных в рамках международного проекта *CMIP 5*, получены сценарные оценки изменения экстремальных осадков 95 % повторяемости по территории Украины в узлах равномерной сетки для каждого месяца на среднесрочную (2046 – 2065 гг.) и долгосрочную (2081 – 2100 гг.) перспективу относительно исторического периода (1986 – 2005 гг.).

Ключевые слова: *экстремальные осадки, повторяемость, климатические проекции, CMIP 5.*

Изучение трендов экстремальных природных событий является одним из важнейших направлений климатических исследований. При этом осадкам уделяется особое внимание. Это связано с важностью этого гидрометеорологического параметра, непосредственно обуславливающего объемы водных ресурсов, а также со сложностью его анализа из-за пространственно-временной неравномерности распределения [1].

В условиях современных изменений климата, по данным Межправительственной Группы Экспертов, глобальное потепление приведет к увеличению количества засух в континентальных районах средних широт, а также событий, связанных с экстремальными осадками, повышению уровня Мирового океана, уменьшению ледников, таянию вечной мерзлоты [2]. Результаты многих авторов, например, [3 – 9], показывают, что на протяжении XX в. в обоих полушариях наблюдались положительные и отрицательные тренды осадков, что впоследствии может сказаться на количестве и качестве пресной воды в отдельных регионах Земного шара. В то же время, водяной пар является одним из важных парниковых газов и имеет устойчивый механизм обратной связи с температурой. Однако ключевой вопрос состоит в будущих изменениях осадков и их экстремальных значений на разных временных и пространственных масштабах. Моделирование осадков позволяет оценить их изменения. При этом предварительные оценки, полученные в [10 – 12] с использованием совместной модели системы океан-атмосфера в рамках нескольких климатических сценариев, предполагают увеличение частоты и объемов экстремальных суточных осадков по отношению к общему их количеству, над большей частью земного шара.

В настоящей работе на основе численных расчетов в рамках глобальной климатической модели *GFDL-CM3* будут получены оценки возможных изменений характеристик экстремальных осадков на территории Украины на

© Е.В.Вышкваркова, Е.Н.Воскресенская, А.В.Юровский,
Е.В.Дунаевская, 2013

пространственной сетке $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ к середине и концу XXI в.

Данные. Основу выполнения работы составляли прогностические расчеты климатических параметров по модели *GFDL-CM3* (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*, США), проведенные в 2010 – 2012 гг. в рамках международного проекта по сравнению результатов модельных климатических расчетов *CMIP-5*. Именно такие расчеты приняты в качестве основы при подготовке 5-го оценочного отчета международной группы экспертов межправительственной комиссии по изменениям климата (*AR5 IPCC*).

GFDL-CM3 является представителем серии современных глобальных моделей климатической системы нового поколения. Пространственное разрешение модели составляет $1,0^\circ \times 1,0^\circ$.

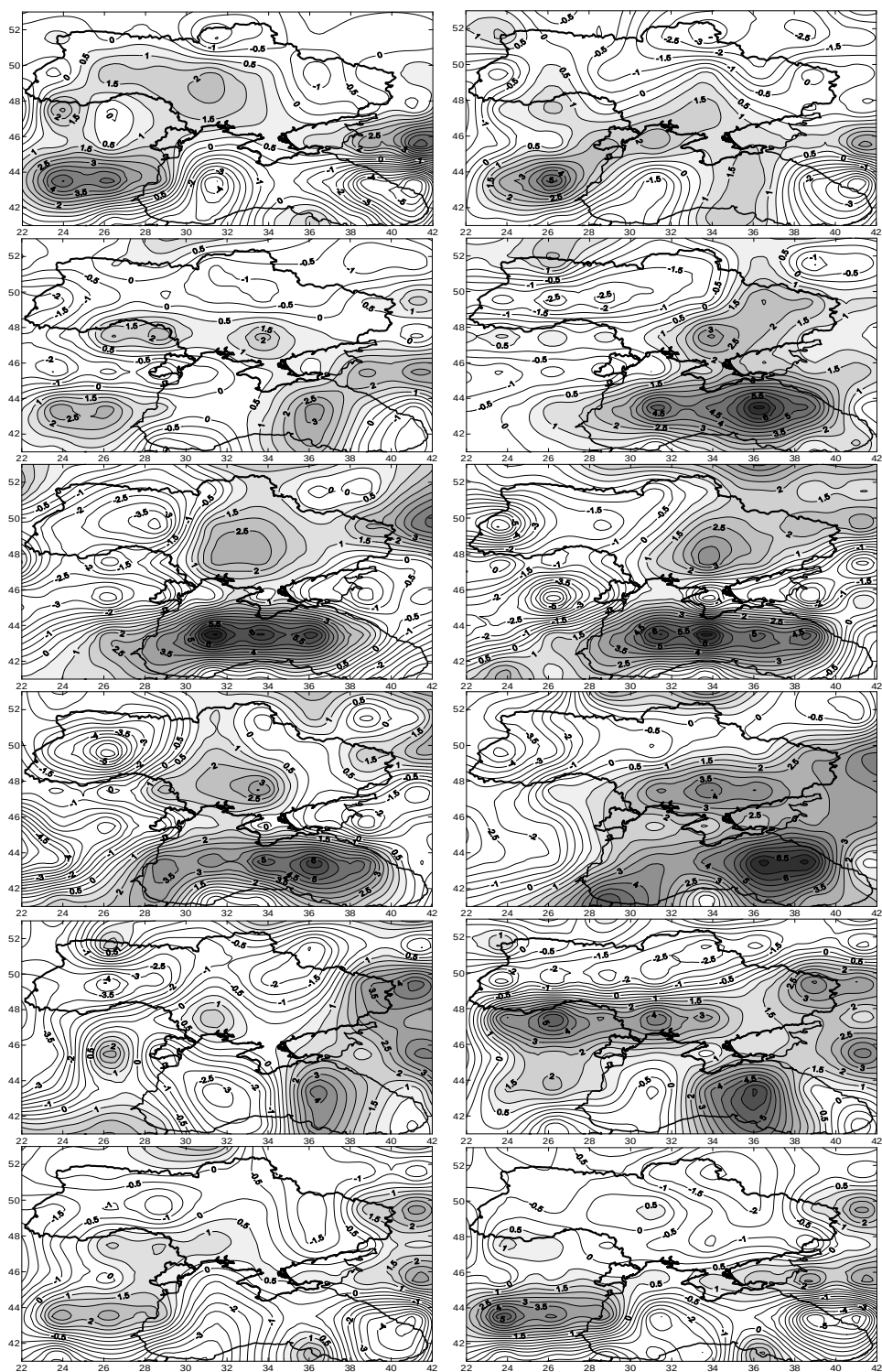
В соответствии с рекомендациями экспертов *IPCC* [12] в качестве контрольных периодов для анализа возможных будущих изменений в среднесрочной и долгосрочной перспективе приняты 20-летние периоды с 2046 по 2065 и 2081 – 2100 гг. соответственно, относительно современного климатического периода 1986 – 2005 гг.

Методика. Для анализа была выбрана климатическая модель *GFDL-CM3* (USA). За экстремальные принимались осадки 95 % повторяемости, которые рассчитывались на основе гистограммы распределения. Их изменения оценивались путем вычисления разности уровня осадков 95 % повторяемости за двадцатилетние периоды в будущем (2046 – 2065 и 2081 – 2100 гг.) относительно современного двадцатилетнего контрольного периода 1986 – 2005 гг.

Результаты. Рассмотрим изменение уровня осадков 95 % повторяемости в почвенно-климатических зонах Украины по месяцам, с января по декабрь, которые могут наблюдаться в среднесрочной перспективе, т.е. в 2046 – 2065 гг. Для анализа привлечем рис.1.

В январе для большей части территории Украины вероятно увеличение уровня экстремальных осадков, достигающее + 2 мм/сутки в центре страны. При этом к западу и северу от нее небольшое уменьшение осадков 95% уровня составит до – 1,5 мм/сутки. Для февраля характерно уменьшение уровня осадков до – 3 мм/сутки в северных районах Украины и увеличение их на юге и в Предкарпатье до + 2 мм и + 1 мм/сутки соответственно. В марте отмечается уменьшение на западе до – 2 мм, и на севере до – 1 мм, а также в Одесской области в районе дельты Дуная до – 1,5 мм. При этом на остальной территории Украины увеличение уровня осадков будет незначительным. Апрель будет соответствовать уменьшению уровня экстремальных осадков на северо-западе и увеличению на юго-востоке от – 2,5 до + 3 мм/сутки. В мае уменьшение уровня экстремальности может достигать на западе – 4 мм. Остальной же территории будет характерно небольшое увеличение до + 2,5 мм/сутки. В июне распределение осадков 95 % уровня в основном сохраняется, хотя на карте этого месяца в районе Львова и на севере Крымского п-ова отмечаются небольшие области отрицательных значений, достигающих – 6 мм/сутки.

В июле на западе страны экстремальные осадки могут уменьшиться до – 6 мм/сутки; и совсем незначительно на побережье Азовского моря до – 1 мм, на остальной же территории, возможно, их увеличение до + 2,5 мм/сутки. На карте для августа наблюдается изменение осадков 95 %



Р и с . 1. Разница уровня осадков 95 % повторяемости за 2046 – 2065 гг. относительно 1986 – 2005 гг.

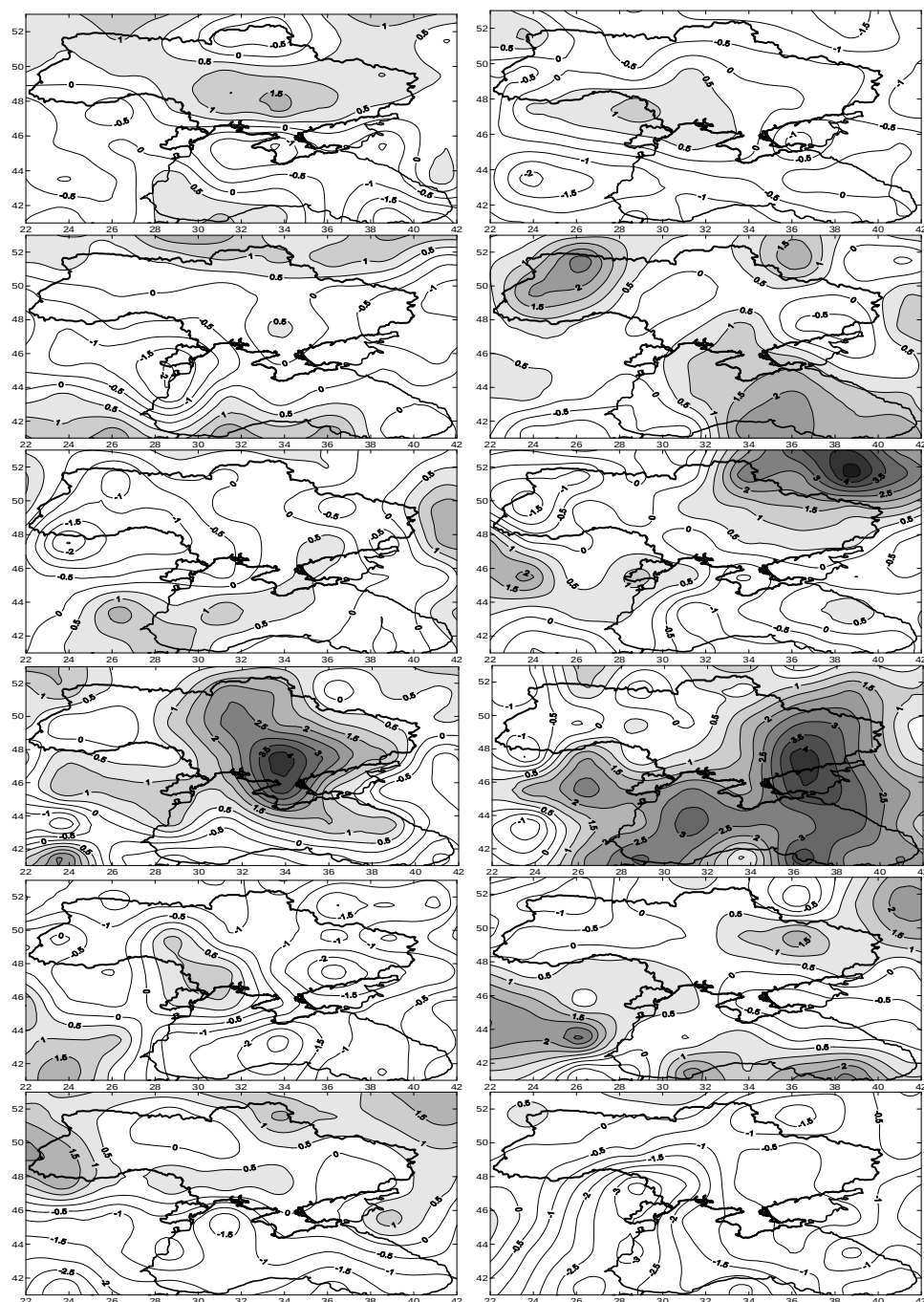
уровня с северо-запада на юго-восток относительно исторического периода от -5 мм/сутки в окрестностях Львова до $+4$ мм/сутки на юге страны. В сентябре-октябре на западе и севере Украины заметно уменьшение экстремальных осадков до -4 мм, на юге и востоке их увеличение до $+3$ мм/сутки. В ноябре различие на картах для современного периода и середины XXI в. уменьшается. Зона небольших отрицательных величин разности сохраняется на западе и появляется на северо-востоке вплоть до побережья Азовского моря. В декабре практически на всей территории Украины карта демонстрирует уменьшение уровня осадков 95 % повторяемости до $-2,5$ мм/сутки на севере. Небольшие области увеличения уровня осадков наблюдаются в Крыму, в центральной Украине и юго-восточной части Украинских Карпат.

В целом можно отметить, что к середине XXI в. уровень осадков 95 % повторяемости (так называемые «умеренные экстремальные осадки») будут уменьшаться на западе и севере страны, с максимальными значениями в летние месяцы и увеличиваться на юго-востоке. Эти результаты подтверждают предположение о выравнивании поля осадков по территории Украины в связи с глобальным потеплением [13].

Изменение уровня экстремальных осадков к концу XXI в., т.е. в период 2081 – 2100 гг., относительно современного контрольного периода охарактеризуем на основании ежемесячных карт, приведенных на рис.2.

В январе видно незначительное уменьшение уровня осадков 95 % повторяемости на севере и в Крыму до -1 мм/сутки, на остальной территории он возрастет до $+1,5$ мм/сутки. В феврале отмечается повсеместное небольшое понижение уровня до -1 мм/сутки, за исключением юго-западной части страны, для которой характерно слабое увеличение экстремальных осадков до $+1$ мм/сутки. В марте возможно их небольшое увеличение на севере до $+1$ мм/сутки, а к югу незначительное понижение до $-0,5$ мм/сутки, которое охватывает запад и восток страны. Для апреля возможно слабо выраженное понижение анализируемого параметра в центральной Украине и в районе Донецкого кряжа до $-0,5$ мм/сутки, и его увеличение до $+2,5$ мм/сутки на западе и северо-западе страны. В мае практически по всей территории ожидается уменьшение величины экстремальных осадков до -2 мм/сутки в районе Карпатских гор. При этом на северо-востоке они могут увеличиться до $+2,5$ мм/сутки, а в Одесской области, на территории, приуроченной к дельте Дуная – до $+1$ мм/сутки. На юге и западе страны, а также в Крыму, видно их уменьшение до $-1,5$ мм/сутки. В июле почти по всей территории Украины на соответствующей карте заметно выражены положительные значения разности осадков, которые достигают $+4$ мм/сутки, а на юго-западе область слабого понижения до $-0,5$ мм/сутки. В августе вся левобережная Украина находится в зоне увеличения уровня осадков 95% повторяемости с максимальными величинами на побережье Азовского моря (до $+4$ мм/сутки).

Уменьшение же наблюдается на западе и северо-западе страны до -1 мм/сутки. Сентябрь характеризуется небольшим повышением величины анализируемого параметра на юго-западе (до -1 мм/сутки) и его понижением на остальной территории, при этом максимальные отрицательные величины составляют $-2,5$ мм/сутки на юго-востоке Украины. В октябре незна-



Р и с . 2 . Разница уровня осадков 95 % повторяемости за 2081 – 2100 гг. относительно 1986 – 2005 гг.

чительные увеличения отмечаются на востоке и северо-востоке, а уменьшение в западных, северо-западных районах и в Крыму. В ноябре, за исключением небольших районов на западе и севере страны, где на карте видно не-

большое увеличение разности осадков до +1,5 мм/сутки, остальной территории характерны незначительные колебания $\pm 0,5$ мм/сутки. В декабре отрицательные значения характерны всей территории исследуемого района, с эпицентром до – 3 мм/сутки на юго-западе страны.

Таким образом, изменения уровня осадков 95 % повторяемости к концу XXI в. на период 2081 – 2100 гг. характеризуются уменьшением амплитуды, за исключением летних месяцев. В остальное время года по всей территории Украины наблюдается уменьшение уровня осадков относительно современного контрольного периода.

Выводы. Результаты сценарных расчетов по климатической модели *GFDL* показали следующее. К середине века изменение уровня осадков 95 % повторяемости относительно современного климата будет характеризоваться их уменьшением на северо-западе и увеличением на юго-востоке, что особенно будет выражено в теплое время года. Амплитуда изменения уровня экстремальных осадков составит $\pm 4,5$ мм/сутки. К концу века пространственное распределение сохранится, однако величина изменений уровня экстремальных осадков относительно контрольного периода уменьшится до + 3 мм/сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Randall D.A., Wood R.A., Bony S., Colman R., Fichefet T., Fyfe J., et al* Climate Models and Their Evaluation, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.— NY: Cambridge University Press, 2007.— 105 p.
2. *Степаненко С.М., Польовий А.М., Школьний Є.П. та ін.* Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / За ред. С.М.Степаненка, А.М.Польового.— Одеса: Екологія, 2011.— 696 с.
3. *Easterling D.R., Evans J.L., Groisman P.Ya., Karl T.R., Kunkel K.E., Ambenje P.* Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review // Bulletin of the American Meteorological Society.— 2000.— v.81, № 3.— P.417-425.
4. *Folland C.K., Karl T.P., Christy J.R., Clarke R.A., Gruza G.V., Jouzel J., et al* Observed climate variability and change, in: Chapter 2 of climate change 2001; the scientific basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) / Ed. by Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Xiaoxu D.— Cambridge: Cambridge University Press, 2001.— 118 p.
5. *Mann M. E.* Large-scale climate variability and connections with the Middle East in past centuries // Clim. Change.— 2002.— 55.— P.287-314.
6. *Cullen H.M., Kaplan A., Arkin P.A., Demenocal P.B.* Impact of the North Atlantic Oscillation on Middle Eastern climate and streamflow // Clim. Change.— 2002.— 55.— P.315-338.
7. *Touchan R., Garfin G.M., Meko D.M., Funkhouser G., Erkan N., Hughes M.K., Wallin B.S.* Preliminary reconstructions of spring precipitation in southwestern Turkey from tree-ring width // Int. J. Climatol.— 2003.— 23.— P.157-171.
8. *Touchan R., Xoplaki E., Funkhouser G., Luterbacher J., Hughes M. K., Erkan N., et al* Reconstructions of spring/summer precipitation for the Eastern Mediterranean from tree-ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation // Clim. Dynam.— 2005.— 25.— P.75-98.

9. Xoplaki E., Gonzalez-Rouco J.F., Luterbacher J., Wanner H. Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends // *Clim. Dynam.*– 2004.– 23.– P.63-78.
10. Kharin V.V., Zwiers F.W. Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM // *J. Clim.*– 2000.– 13.– P.3760-3788.
11. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team* / Eds by Pachauri R.K., Reisinger A.– IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.– 104 p.
12. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Eds by Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., et al.– Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.– 382 p.
13. *Третє, Четверте 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.*– К., 2009 [Электронный ресурс]. http://unfccc.int/resource/docs/natc/ukr_nc5rev.pdf

Матеріал поступив в редакцію 07.08.2013 г.

АНОТАЦІЯ На основі результатів розрахунків сучасної глобальної моделі кліматичної системи *GFDL-CM3* (США), виконаних у рамках міжнародного проекту *CMIP 5*, отримані сценарні оцінки зміни екстремальних опадів 95 % повторюваності по території України у вузлах рівномірної сітки для кожного місяця на середньострокову (2046 – 2065 рр.) і довгострокову (2081 – 2100 рр.) перспективу щодо історичного періоду (1986 – 2005 рр.).

ABSTRACT On the basis of the results of global climate simulations using of the one of the recent models *GFDL-CM3* (USA) within *CMIP 5* intergovernmental Program the changes of extreme precipitation fields in XXI century over the Ukraine in $1,0^{\circ} \times 1,0^{\circ}$ grid points were estimated. Extreme precipitation was identified if their level of frequency exceeds 95 %. The changes of extreme precipitation fields were calculated as difference between the maps in periods of 2046 – 2065 and 1986 – 2005 for medium term perspective while between periods of 2081 – 2100 and 1986 – 2005 for long term perspective.