

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

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 $1,0^\circ \times 1,0^\circ$.

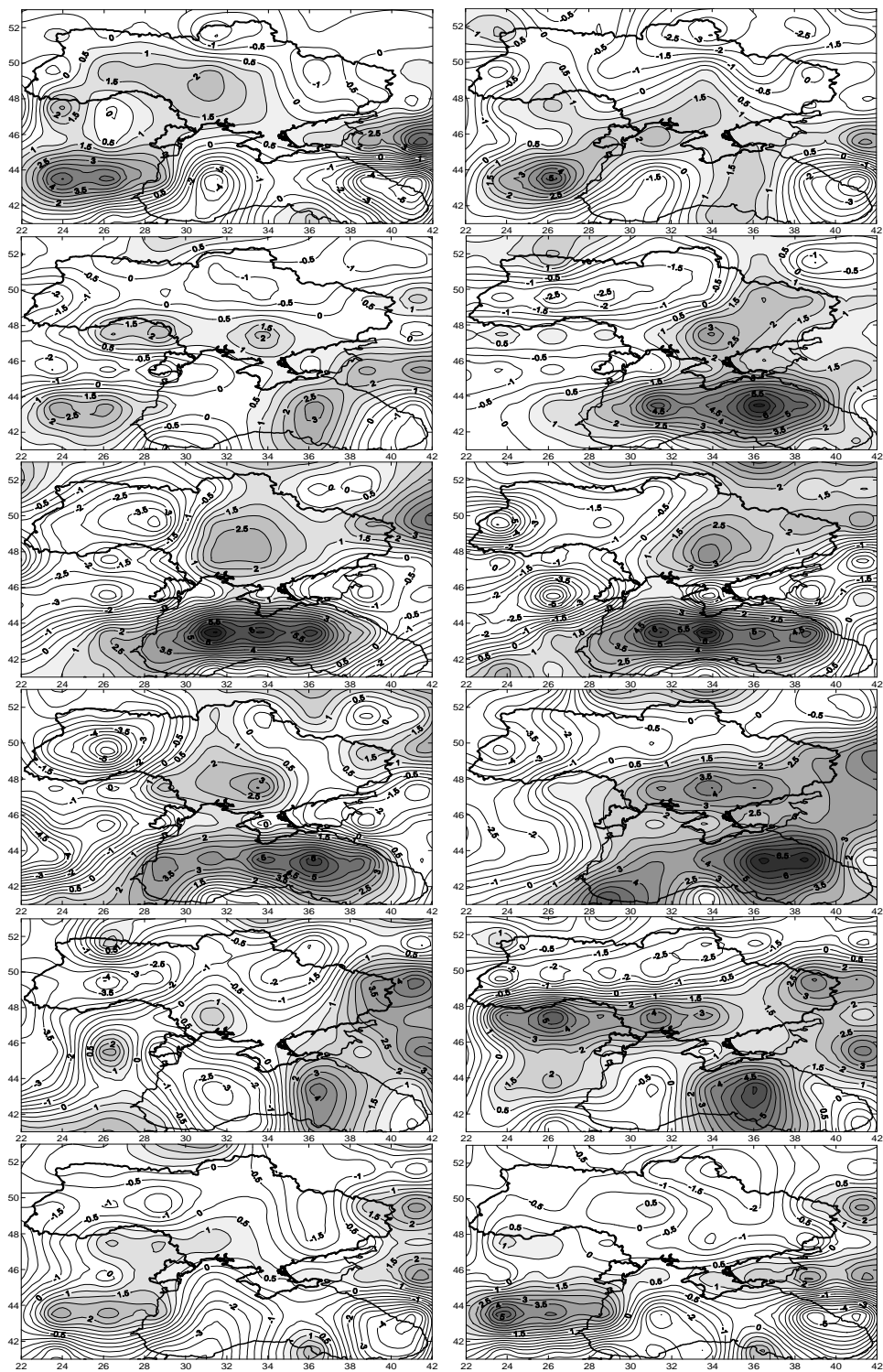
В соответствии с рекомендациями экспертов *IPCC* [12] в качестве контрольных периодов для анализа возможных будущих изменений в среднесрочной и долгосрочной перспективе приняты 20-летние периоды с 2046 по 2065 и 2081 – 2100 гг. соответственно, относительно современного климатического периода 1986 – 2005 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. Апрелью будет соответствовать уменьшение уровня экстремальных осадков на северо-западе и увеличение на юго-востоке от – 2,5 до + 3 м/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.

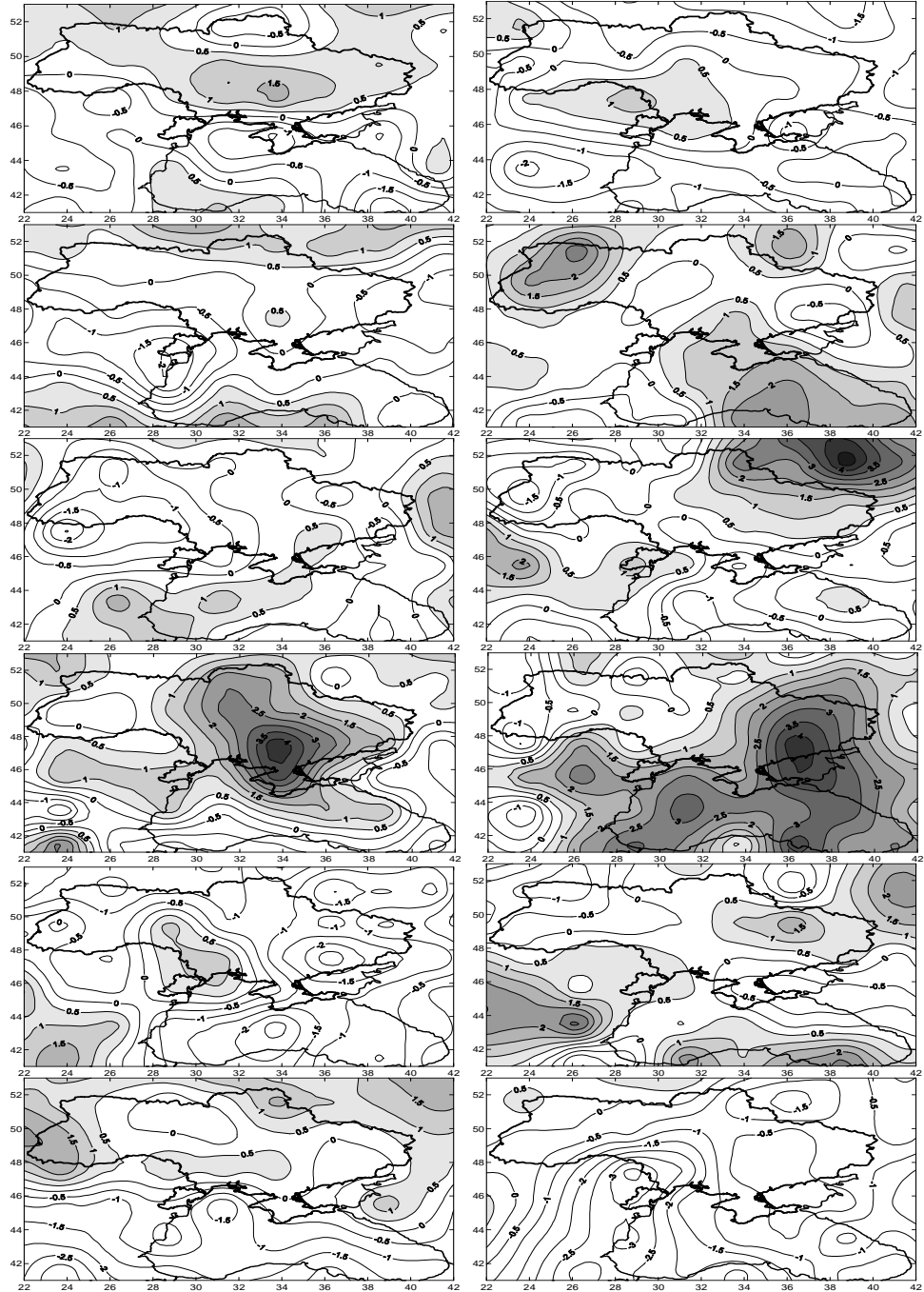
уровня с северо-запада на юго-восток относительно исторического периода от -5 мм/сутки в окрестностях Львова до $+4$ мм/сутки на юге страны. В сентябре-октябре на западе и севере Украины заметно уменьшение экстремальных осадков до -4 мм, на юге и востоке их увеличение до $+3$ мм/сутки. В ноябре различие 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. *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.*– К., 2009 [Электронный ресурс]. http://unfccc.int/resource/docs/natc/ukr_nc5rev.pdf

Материал поступил в редакцию 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.