ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В XX-XXI ВЕКЕ

Е.Н. Воскресенская, А.В. Юровский, О.Ю. Коваленко

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail:kovalenko_olga89@mail.ru

В статье приводятся результаты анализа изменений экстремальных температур воздуха на территории Украины по данным климатической модели GFDL-ESM2M. Анализируются полученные оценки изменений экстремальной температуры на среднесрочную и долгосрочную перспективы относительно современного климатического периода

Введение. В настоящее время продолжается обсуждение проблемы глобального потепления климата, связанное с естественными и антропогенными факторами [1]. Для исследования будущих климатических изменений используются трехмерные климатические модели, которые описывают климатическую систему (атмосферу, океан, сушу, криосферу). Одной из характеристик климата является экстремальная температура воздуха, с которой связаны значительные экологические и экономическим последствия. Прогнозирование экстремальных температур необходимо для уменьшения связанных с ними негативных последствий.

Цель работы – по данным глобальной климатической модели GFDL-ESM2M оценить и проанализировать изменения экстремальной температуры воздуха (ЭТВ) в климатических зонах Украины на среднесрочную (2046 – 2065 гг.) и долгосрочную (2081 – 2100 гг.) перспективы относительно современного климатического периода (1986 – 2005 гг.).

Данные. В работе использовалась среднесуточная температура воздуха на станциях Киев, Луганск, Симферополь за период 1950 – 2005 гг., а также модельные значения среднесуточной температуры воздуха за период 1986 – 2100 гг.

Пространственное разрешение данных климатической модели GFDL-ESM2M составляет 2° × 2,5°. Был выбран климатический сценарий изменения концентрации углекислого газа RCP 4.5, который характеризуется как умеренный [2].

Методика. Для определения ЭТВ использован метод, основанный на использовании порогового значения. Температура считается экстремальной, если выходит за рамки интервала 5% –95% интегральной кривой обеспеченности температуры воздуха. Значения ниже 5% соответствуют экстремально низкой температуре воздуха, а выше 95% – экстремально высоким значениям [3, 4].

Результаты. Для того чтобы определить насколько хорошо результаты выбранной модели соответствуют реальной температуре воздуха, в работе проведен сравнительный анализ линейных трендов температуры воздуха для периода 1951 – 2005 гг.

Так как узлы регулярной сетки модели GFDL-ESM2M не совпадают с координатами станции, то модельные данные интерполировались на выбранные точки.

Считается, что климатическая модель правильно воспроизводит тренд любой атмосферной характеристики, если совпадает знак тренда, при этом величина коэффициента может не совпадать [5].

В табл. 1 представлены коэффициенты линейного тренда температуры воздуха и их значимость по модели GFDL и по данным наблюдений на станциях Киев, Луганск и Симферополь.

Таким образом, можно считать, что модель GFDL-ESM2M достаточно хорошо воспроизводит тенденции изменения температуры воздуха и может быть использована для дальнейшего их анализа и прогнозирования изменений в будущем.

В соответствии с рекомендациями IPCC, для оценки изменений температуры воздуха в будущем были выбраны три периода: современный климатический (1986 – 2005 гг.), среднесрочная (2046 – 2065 гг.) и долгосрочная (2081 – 2100 гг.) перспективы [6].

Таблица 1

Коэффициенты линейного тренда температуры воздуха по модели GFDL-ESM2M и данным наблюдений на станциях за период 1951 – 2005 гг. Значимые значения выделены жирным шрифтом.

Месяцы	Киев		Луганск		Симферополь	
	модел.	набл.	модел.	набл.	модел.	набл.
Январь	-0,022	**0,059**	-0,01	0,046	0,003	0,01
Февраль	0,025	**0,089**	0,012	**0,081**	0,022	0,008
Март	0,032	**0,075**	0,039	**0,076**	0,028	**0,030**
Апрель	-0,016	**0,040**	0,939	0,029	-0,001	0,011
Май	0,008	0,019	0,014	-0,025	0,009	0,003
Июнь	-0,017	-0,015	-0,003	-0,017	-0,002	-0,006
Июль	-0,024	0,007	0,003	0	-0,001	**0,021**
Август	-0,005	0,007	0,026	**-0,026**	0,012	0,01
Сентябрь	-0,003	-0,003	0,029	0,002	0,007	**0,018**
Октябрь	-0,009	0,006	-0,015	0,008	-0,012	0,015
Ноябрь	0,011	0	0,01	0,001	0,003	0,002
Декабрь	-0,028	-0,022	-0,038	-0,029	-0,027	-0,023

По вышеописанной методике были получены значения экстремально низкой и экстремально высокой температуры воздуха и их повторяемость для всех месяцев в среднем для вышеупомянутых периодов. Произведены оценки возможных изменений значений ЭТВ на территории Украины в XXI веке.

Проанализируем последовательно изменения экстремально низких, а затем экстремально высоких температур на территории Украины к середине и к концу XXI относительно современного периода. На рис. 1 представлено распределение изменений ЭНТВ в XXI веке для января.

В 2046 – 2065 гг. для всех месяцев будет наблюдаться рост величины экстремально низкой температуры воздуха (ЭНТВ) по сравнению с 1986 – 2005 гг. В зимние месяцы вероятно увеличение экстремальной температуры воздуха на 3–10°С с максимальным увеличением на северо-востоке Украины. В весенние месяцы – незначительное увеличение ЭНТВ, за исключением марта, когда на северо-востоке страны в лесостепной зоне разность достигнет 7°С. Летом оценки показывают слабое увеличение ЭНТВ с максимумом 7°С на северо-западе Украины. В этот же сезон на западе степной зоны вероятно уменьшение ее величины. В осенний сезон наибольшее увеличение величины ЭНТВ возможно в октябре в лесостепной зоне.

В период 2081 – 2100 гг. рост величины ЭНТВ заметно ослабнет, разница по сравнению с 1986 – 2005 гг., составит 1 – 6°С. Т.е. после заметного повышения к середине XXI века, ЭНТВ будет снова понижаться, приближаясь к современным величинам, за исключением летнего

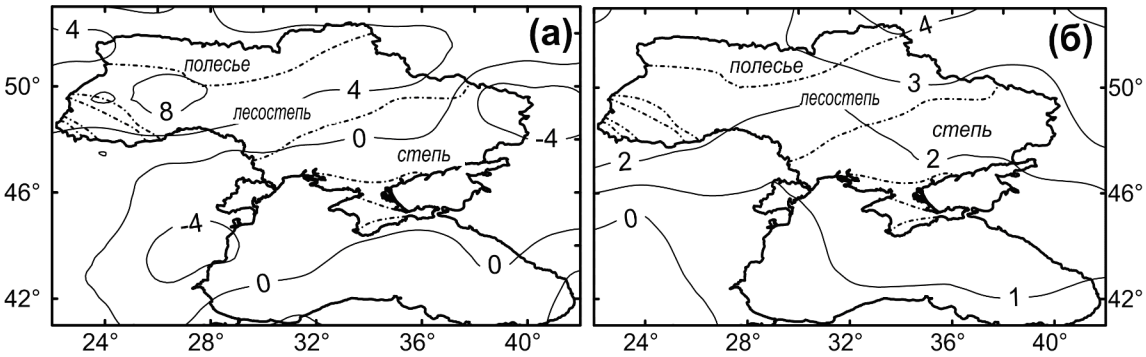


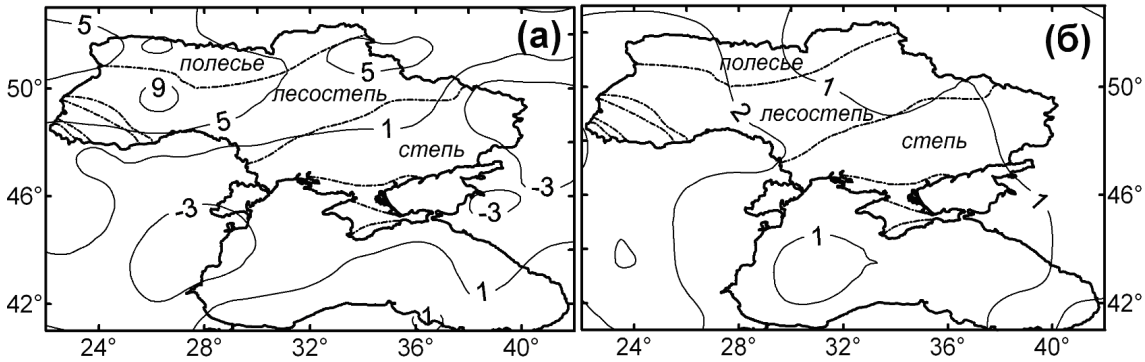
Рис. 1. Изменение экстремально низкой температуры воздуха (°С) в 2046 – 2065 гг. (а) и 2081 – 2100 гг. (б) по сравнению с 1986 – 2005 гг. для января

сезона. Зимой повышение возможно на 3 –6°С с максимумом на северо-востоке Украины. В весенний период вероятно увеличение ЭНТВ всего на 2 – 3°С, при этом в мае в восточной части степной зоны может быть ее уменьшение. В летние месяцы, также как и в весенние– увеличение величины ЭНТВ незначительное.

В летний период 2046 – 2065 гг. возможно уменьшение ЭНТВ с юга Украины на северо-запад. Осенью по всей территории Украины ЭНТВ увеличится, наибольшие изменения ее величины вероятны в октябре – ноябре на востоке и северо-востоке Украины.

Рассмотрим изменения экстремально высокой температуры воздуха (ЭВТВ). На рис. 2 представлено пространственное распределение изменений ЭВТВ в будущем для августа. В 2046 – 2065 гг. вероятно увеличение их значений на 1-8°С относительно современного периода, и только в отдельные месяцы возможно их уменьшение.

Зимой наибольшее увеличение ЭВТВ будет в январе в Полесье, где разница температур достигнет 4°С. Весной экстремальная температура увеличится на 1 – 5°С, но в апреле – мае в юго-западной части лесостепной зоны, степной зоне вероятно ее понижение. Летние месяцы в середине века будут характеризоваться повышением ЭВТВ на северо-западе Украины на 3 – 9°С относительно современного периода, однако в степной зоне в июле возможно ее понижение на 6 ^{0}С. С сентября по ноябрь значения ЭВТВ будут уменьшаться. Изменения средних величин ЭНТВ и ЭВТВ за 2046 – 2065 гг. и 2081 – 2100 гг. по сравнению с 1986–2005 гг. приведены в табл.2.



Р и с . 2. Изменение экстремально высокой температуры воздуха (°С) в 2046 – 2065 гг. (а) и 2081 – 2100 гг. (б) по сравнению с 1986 – 2005 гг. для августа

Таблица 2

Изменения средних величин ЭТВ (°С) в будущем относительно современного периода

Природные зоны	ЭНТВ		ЭВТВ	
	2046-2065 гг.	2081-2100 гг.	2046-2065 гг.	2081-2100 гг.
Полесье	4,0	2,0	4,0	0,8
Лесостепь	3,5	1,7	3,0	0,8
Степь	2,9	1,4	0,5	0,8

В 2081 – 2100 гг. величина ЭВТВ вероятно увеличится, за исключением весенне-летнего периода. В зимние месяцы на территории Украины увеличение экстремально высокой температуры достигнет 3°С. Весной – рост не более 1°С, однако в апреле во всех зонах вероятно понижение экстремальной температуры на 0,5°С. Как показывают расчеты, в июне – июле ожидается уменьшение ЭВТВ на 1 – 2 °С, а в августе – ее увеличение на 0,5 – 2,5 °С. Для осенних месяцев возможно повышение ЭВТВ на 0,5 – 2 С.

Количество случаев с экстремальной температурой в середине (2046 –

2065 гг.) и к концу (2081 – 2100 гг.) XXI века были проанализированы относительно пороговых значений, рассчитанных для современного периода (1986 – 2005 гг.), в различных природных зонах Украины. Полученные результаты приведены в табл. 3, 4.

В 2046 – 2065 гг. в Полесье наименьшее количество случаев с ЭНТВ возможно в зимние месяцы, при этом в октябре, относительно 1986 – 2005 гг., их число незначительно увеличится. В лесостепной зоне в этот период также вероятно уменьшение количества случаев с экстремально низкими температурами, и только в июне – небольшое увеличение. В степной зоне во все месяцы ожидается уменьшение их количества. Так, в декабре в 2046 – 2065 гг. возможно только 7 случаев с ЭНТВ.

В 2081 – 2100 гг., относительно современного климатического периода также вероятно сохранится тенденция к уменьшению числа случаев с ЭНТВ во всех природных зонах Украины. В Полесье в этот период наименьшие количество случаев с экстремально низкой температурой воздуха будет ожидаться в феврале (4 случая), и только июне, возможно, их увеличение (47 случаев). В лесостепной зоне за весь период в декабре и апреле - всего 1 и 2 случая с ЭНТВ, соответственно. Степная зона также характеризуется возможным уменьшением числа случаев с ЭНТВ в 2081 – 2100 гг. Так, в феврале, декабре ожидается 2 и 4 случая с экстремально низкой температурой, соответственно. При этом в мае вероятен небольшой рост их количества.

В середине и конце XXI века на всей территории Украины вероятно увеличение количества случаев с экстремально высокой температурой воздуха. В 2046 – 2065 гг. в Полесье количество дней с ЭВТВ в среднем за год, возможно, увеличится в 1,5 раза. Наибольший рост в рассматриваемой зоне будет ожидаться в декабре, январе, при этом в марте, июне, вероятно, уменьшение их числа. В лесостепной зоне также сохраняется тенденция к увеличению количества случаев с ЭВТВ, но в марте и июне возможно уменьшение их числа.

Таблица 3

Количество случаев с экстремально низкой температурой воздуха

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Полесье												
1986 – 2005 гг.	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2046 – 2065 гг.	7	8	9	28	25	28	11	15	17	37	26	16
2081 – 2100 гг.	11	4	18	10	28	47	17	9	22	12	14	7
Лесостепь												
1986 – 2005 гг.	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2046 – 2065 гг.	17	8	11	15	14	38	29	22	19	33	24	11
2081 – 2100 гг.	17	3	27	2	34	29	33	14	25	14	18	1
Степь												
1986 – 2005 гг.	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2046 – 2065 гг.	15	12	12	12	16	27	31	11	17	25	16	7
2081 – 2100 гг.	14	2	30	5	37	16	25	14	19	9	21	4

В июле и октябре 2046 – 2065 гг. в степной зоне количество случаев с ЭВТВ увеличится в 2,5 раза (табл. 4).

К концу XXI века (2081 – 2100 гг.) относительно современного периода (1986 – 2005 гг.), количество случаев с экстремально высокой температурой, увеличится во всех природных зонах в 1,5 раза, за исключением отдельных месяцев. Так, во всех зонах наибольшее количество дней с ЭВТВ вероятно в январе. При этом в июне в Полесье и зоне лесостепи их число значительно уменьшится, а в степной зоне увеличится

Таблица 4

Количество случаев с экстремально высокой температурой воздуха

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Полесье												
1986 – 2005 гг.	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2046 – 2065 гг.	75	37	19	58	43	20	59	60	42	48	46	86
2081 – 2100 гг.	93	41	31	26	37	6	22	60	47	46	61	90
Лесостепь												
1986 – 2005 гг.	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2046 – 2065 гг.	59	50	27	41	35	23	32	47	34	55	48	44
2081 – 2100 гг.	92	39	44	18	45	22	14	43	47	50	77	53
Степь												
1986 – 2005 гг.	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2046 – 2065 гг.	54	51	26	41	30	54	74	45	42	75	54	51
2081 – 2100 гг.	90	36	34	28	28	62	32	60	45	65	81	46

Выводы. Анализ изменений экстремальных величин температуры воздуха в разных климатических зонах Украины по данным модели GFDL-ESM2M позволил получить следующие оценки.

По сравнению с современным периодом к середине XXI века можно ожидать увеличение значений ЭНТВ на 3 – 4°С и ЭВТВ на 1,5 – 2°С. Во всех природных зонах Украины величина ЭНТВ к концу XXI века увеличится на 1,5 – 2°С, тогда как ЭВТВ в этот же период, вероятно, увеличится только на 1°С.

В среднем по Украине число случаев с ЭНТВ в период 2046 – 2065 гг. уменьшится в 1,6 раза, а в 2081 – 2100 гг. – в 1,7 раза. Число случаев с ЭВТВ в эти же периоды увеличится в среднем в 1,5 раза.

Модель GFDL-ESM2M дает рост температуры воздуха на протяжении всего XXI века по всей территории Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Логинов В.Ф.* Доказательная база и проблемные вопросы интерпретации результатов экспериментальных и модельных исследования изменений климата/науч.-практ. журнал «Новости науки и технологий», 2011. – № 2. – С. 16 – 27.
2. *Dunne, John P.* GFDL's ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. J. Climate. – 2012. – 25. – P. 6646–6665,
3. *Воскресенская Е. Н., Ваховская Г. А., Евстигнеев В. П.* Повторяемость экстремальных температур воздуха в Черноморском регионе / сб. науч. тр. «Системы контроля окружающей среды». – Севастополь: МГИ НАНУ, 2012. – № 18. – С. 98 – 101.
4. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология». – СПб.: изд.РГГМУ, 2007. – 279 с.
5. *S. Brands, S. Herrera, J. Fernández, J. M. Gutiérrez.* How well do CMIP5 Earth System Models simulate present climate conditions in Europe and Africa? // Climate Dynamics. – 2013. – 41. – P. 803 – 817
6. *Contribution* of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/Solomon, S., D. Qin, M. Manning, K.B. Averyt, M. Tignor - Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.