

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ
ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА
ТЕРРИТОРИИ ЮГА РОССИИ В
XXI ВЕКЕ ПО МОДЕЛЬНЫМ
РАСЧЕТАМ**

Е.Н. Воскресенская, О.Ю. Коваленко

Институт природно-технических систем
г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: kovalenko_olga89@mail.ru

Статья посвящена анализу изменений экстремальных температур воздуха в XXI веке на территории юга России по данным климатической модели GFDL-CM3. Полученные оценки рассмотрены относительно современного климатического периода.

Введение. Климатической системе, в которую входят атмосфера, гидросфера, криосфера, деятельный слой суши и биосфера, свойственны постоянные внутренние изменения ее параметров. Эти изменения отражаются на частоте наступления, интенсивности, продолжительности экстремальных погодных аномалий. Многие из них сопровождаются резким понижением или повышением температуры воздуха [1 – 4]. Для предотвращения негативных экономических и социальных последствий погодно-климатических аномалий необходим качественный и долгосрочный прогноз экстремальных температур воздуха.

В настоящее время для исследования будущих климатических изменений используются климатические модели, которые описывают все компоненты климатической системы. В период подготовки Пятого оценочного доклада МГЭИК (2008 – 2014 гг.) международным научным сообществом был организован очередной проект CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project*) по анализу расчетов климата с помощью глобальных климатических моделей. Основу этого проекта составили расчеты климата XX в. при заданных в соответствии с данными наблюдений концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также сценарные расчеты климата XXI

в. для новой группы сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли – так называемые RCP (*Representative concentration pathways*: репрезентативные траектории концентраций). Всего в проекте приняло участие более пяти десятков моделей, разработанных в разных исследовательских центрах мира [1]. В соответствии с пятым отчетом МГЭИК, в XXI веке средняя глобальная температура воздуха будет повышаться при всех сценариях радиационного воздействия, а также в этот период возрастет повторяемость экстремальных температур в Северном полушарии [1, 2]. Однако полученные результаты не позволяют оценить будущие изменения температур воздуха на региональном масштабе. Важно отметить, что колебания температуры в разные сезоны оказывают значительное влияние на эффективность деятельности региональных климатозависимых отраслей экономики, в частности, агропромышленного комплекса южных регионов России.

Целью настоящей работы является анализ изменений экстремальных величин температуры воздуха на территории юга России по данным климатической модели GFDL-CM3 к середине (2046 – 2065 гг.) и концу XXI века (2081 – 2100 гг.) относительно современного климатического периода (1950 – 2005 гг.).

Данные и методика. Для достижения поставленной цели привлекались ежедневные данные о средней температуре воздуха на станциях Симферополь, Керчь и Краснодар за период 1950 – 2005 гг., а также данные модельных расчетов ежедневной температуры воздуха на период 1986 – 2100 гг.

Нами была выбрана современная глобальная модель климатической системы модель GFDL-CM3 (США), разработанная в Лаборатории геофизической гидродинамики. Горизонтальное разрешение атмосферных компонентов модели CM3 составляет 2° широты × 2,5° долготы. Атмосферная модель имеет 48 вертикальных уровней. Такое разрешение по вертикали позволяет более детально описать стратосферные химические и динамические процессы. Динамическое ядро, физическая параметриза-

ция, и характеристики моделирование подробно описаны в [5]. Для анализа выбран климатический сценарий изменения концентрации углекислого газа RCP 4.5, который характеризуется как умеренный [6].

В качестве характеристики экстремальной температуры воздуха (ЭТВ) использовалось число дней, когда температура воздуха превышала некоторое пороговое значение, соответствующее 5% и 95% интегральной кривой обеспеченности температуры воздуха [7, 8]. Под экстремально низкой температурой воздуха (ЭНТВ) в работе понимаются все значения ниже 5%, а под экстремально высокой температурой (ЭВТВ) – все значения, превышающие 95% порог.

Результаты и их анализ. Многие современные авторы, использующие для анализа результаты расчета глобальных климатических моделей, например, [6], считают, что совпадение знака тренда рядов данных модельных расчетов и данных наблюдений анализируемой атмосферной характеристики говорит об удовлетворительном качестве климатической модели, воспроизводящей изучаемые изменения. При этом величина коэффициента линейного тренда может не совпадать. В настоящей работе для оценки результатов выбранной модели на соответствие расчетных данных ре-

альной температуре воздуха выполнен сравнительный анализ линейных трендов температуры воздуха для периода 1950 – 2005 гг.

При этом, поскольку узлы регулярной сетки модели GFDL-CM3 не совпадают с координатами гидрометеорологических станций, модельные данные выбирались в узлах сетки, наиболее близко соответствующие координатам гидрометеорологических станций наблюдений.

Результаты регрессионного анализа (коэффициенты линейного тренда, их статистическая значимость) по климатической модели и по данным наблюдений на гидрометеорологических станциях приведены в табл. 1. Их сопоставление показывает, что в целом модель GFDL-CM3 вполне удовлетворительно воспроизводит тенденции изменения температуры воздуха и может быть использована для дальнейшего их анализа и прогнозирования изменений этого параметра в будущем. Оценка возможных изменений экстремальных температур воздуха выполнена в соответствии с рекомендациями МГЭИК для трех временных отрезков: современного климатического периода (1986 – 2005 гг.), а также двух периодов на среднесрочную (2046 – 2065 гг.) и долгосрочную (2081 – 2100 гг.) перспективы.

Таблица 1

Коэффициенты линейного тренда ($\times 10^{-2}$ °C/год) средней температуры воздуха по модели GFDL-CM3 и данным наблюдений на гидрометеорологических станциях за период 1950 – 2005 гг.
Значимые на 90% и более уровне тренды выделены жирным шрифтом

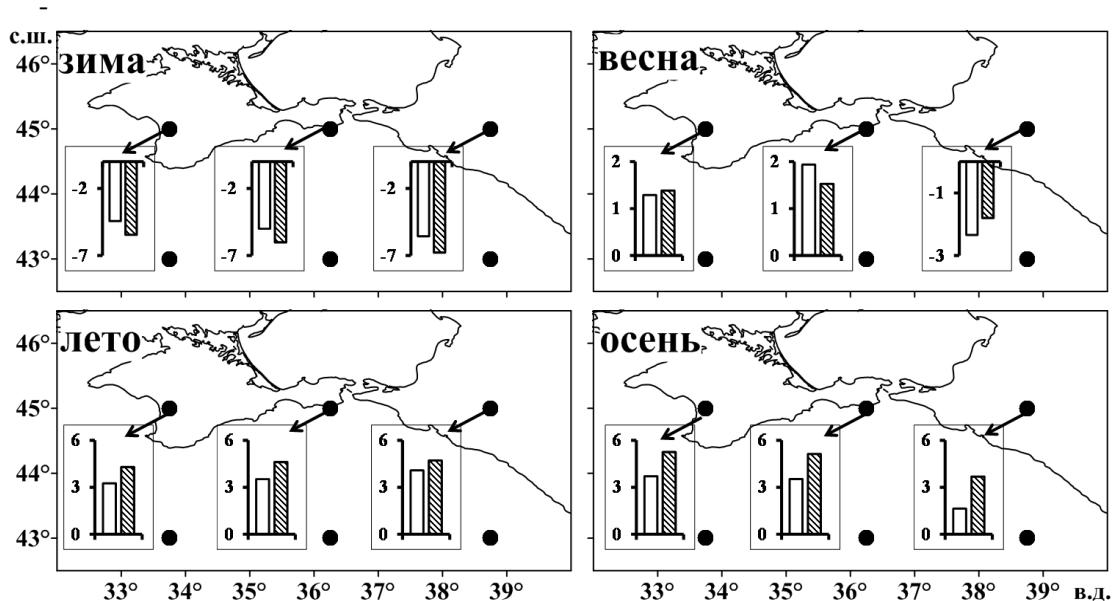
Станции	Данные	За год в целом	Зима	Весна	Лето	Осень
Симферополь	модель	2,4	2,8	14,9	-6,7	3,4
	наблюдения	7,7	-1,3	10,1	-15,6	-5,2
Керчь	модель	2	0,7	14,2	-8,1	3,7
	наблюдения	1,6	2,6	16,5	-4,3	3,1
Краснодар	модель	-0,1	16,9	35,2	-34,9	6,1
	наблюдения	21	31,7	21,9	11,2	16,4

Рассмотрим последовательно изменения экстремально низких, а затем экстремально высоких температур на территории юга России к середине и к концу XXI относительно современного периода.

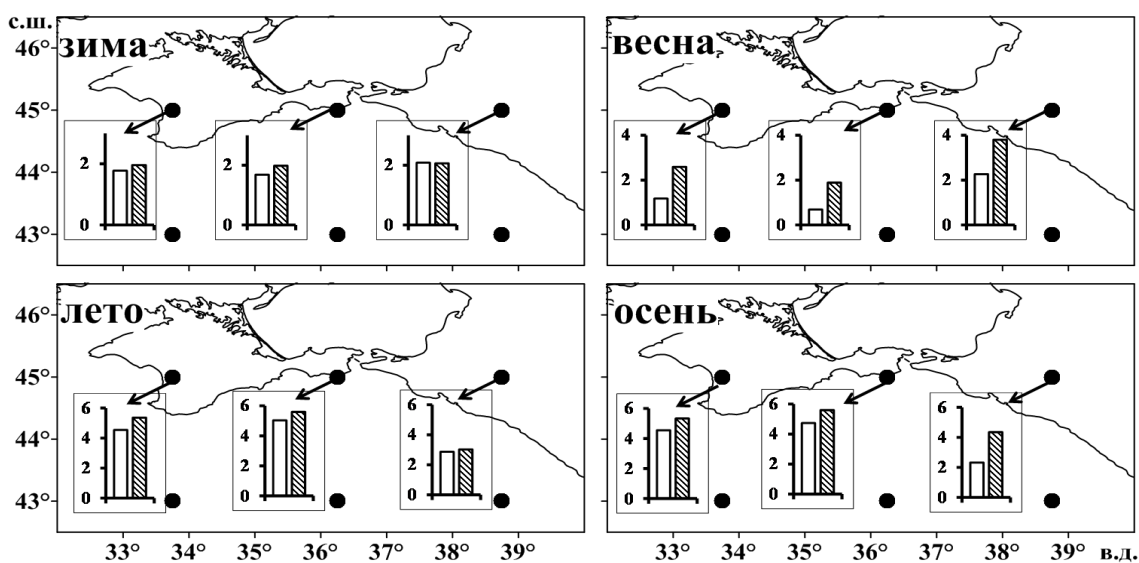
На рис. 1 представлено распределение изменений ЭНТВ над территорией юга России в XXI веке для всех сезонов

года. Под изменениями мы понимаем разность температур между будущим и историческим периодом.

ЭНТВ. Полученные оценки на период с 2046 по 2065 гг. показывают, что для всех сезонов года будет характерен рост величины экстремально низкой температуры воздуха относительно исторического периода.



Р и с . 1. Изменение экстремально низкой температуры воздуха (°C) в 2046 – 2065 гг. (столбцы без штриховки) и 2081 – 2100 гг. (заштрихованные столбцы) относительно периода с 1986 по 2005 гг. Отрицательная величина характеризует уменьшение порога по абсолютной величине



Р и с . 2. Изменение экстремально высокой температуры воздуха (°C) в 2046 – 2065 гг. (столбцы без штриховки) и 2081 – 2100 гг. (заштрихованные столбцы) относительно периода с 1986 по 2005 гг.

В зимний сезон к середине века можно ожидать, что экстремальная температура воздуха повысится на 4 – 5,5 °C, при этом максимальные повышения этой величины ожидаются на востоке исследуемого региона. В весенний сезон также предполагается увеличение ЭНТВ на 1 – 2,5 °C.

Отрицательная разность температур на материковой части России в этот сезон обусловлена отрицательными пороговыми величинами. Оценка изменений

ЭНТВ в летний сезон показывает увеличение температуры на 3 – 4 °C. В осенний период в среднесрочной перспективе можно ожидать, что величина ЭНТВ в анализируемом регионе повысится на востоке на 1,5 °C и до 3,5 °C на западе анализируемого региона.

Анализ изменений ЭНТВ в период 2081 – 2100 гг., относительно 1986 – 2005 гг., показывает, что ее величины заметно возрастут, разность составит 4,8 – 6 °C. Т.е. после незначительного по-

вышения к середине XXI века, ЭНТВ будет снова возрастать, за исключением весеннего сезона. Зимой увеличение возможно на 5 – 6,5 °С с максимумом на востоке региона. В весенний период для ЭНТВ вероятно увеличение всего на 1 – 1,5 °С.

В летний период 2081 – 2100 гг. возможно увеличение ЭНТВ на 4,5 °С над всем югом России. Осенью величина ЭНТВ вероятно увеличится до 5 °С.

ЭВТВ. Рассмотрим характер изменения экстремально высокой температуры воздуха к середине и концу XXI века.

В 2046 – 2065 гг. вероятно увеличение их значений на 4,5 °С относительно современного периода.

Разность ЭВТВ в зимний период 2046 – 2065 гг., относительно 1986 – 2005 гг., находится в пределах от 1,5 до 2 °С. Весной экстремальная температура увеличится на 1 – 2 °С, но в центральной части региона разность близка к нулю. Летний и осенний периоды в середине века, относительно исторического периода, будут характеризоваться ростом ЭВТВ до 5 °С. Однако на востоке региона увеличение ЭВТВ в эти сезоны незначительно, всего на 2 °С (рис. 2).

В 2081 – 2100 гг., относительно 1986 – 2005 гг., величина ЭВТВ вероятно увеличится до 5 °С. В зимний сезон на территории юга России увеличение экстремально высокой температуры составит 2 °С. Весной разность температур колеблется от 2 до 4 °С. Как показано на рис. 2, в летний сезон ожидается увеличение ЭВТВ на 3 – 5 °С. Для осенних месяцев возможен рост ЭВТВ на 4 – 5,5 °С (рис. 2).

На следующем этапе работы, используя полученные пороговые значения температуры воздуха для исторического и двух будущих периодов, были проанализированы изменения количества случаев экстремальной температуры воздуха на территории юга России.

ЭНТВ. В зимний период количество дней с ЭНТВ к 2065 г. вероятно уменьшится до 7 дней в году. При этом в 2081 – 2100 гг. эта же величина не будет превышать 10 дней в году. В качестве примера на рис. 3, показано распределение количества дней с ЭНТВ для трех исследуемых периодов в зимний сезон.

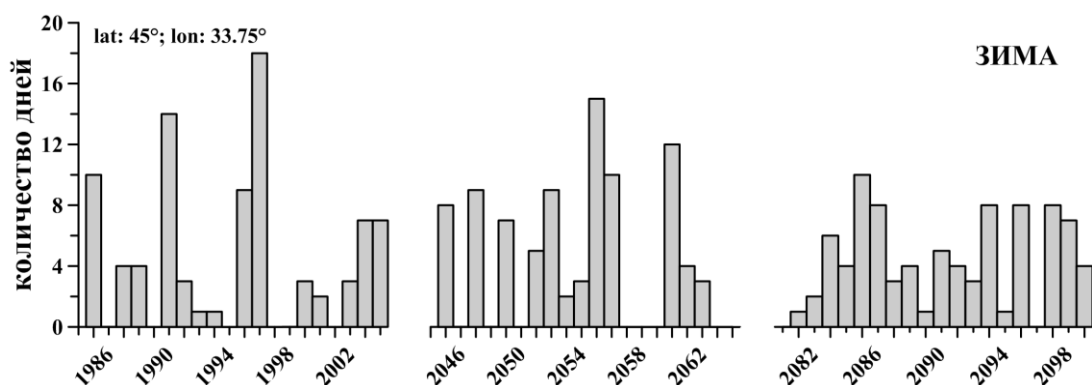


Рис. 3. Количество дней с экстремально низкой температурой воздуха для зимних периодов 1986 – 2005 гг., 2046 – 2065 гг. и 2081 – 2100 гг.

Весной количество дней с ЭНТВ будет уменьшаться в течение всего 20-летнего периода (2046 – 2065 гг.), за исключением 2061 г., когда число дней составит 18 дней. В то же время к 2100 г. количество дней с ЭНТВ снова возрастет.

В летний период количество дней с ЭНТВ к 2065 г., вероятно, будет увеличиваться. Эта тенденция сохранится до 2086 г., затем вероятно незначительное

уменьшение количества событий. К 2100 г. количество дней с ЭНТВ снова возрастет.

Осенью число событий с ЭНТВ с 2046 по 2060 г., вероятно, будет увеличиваться до 15 случаев в год, а затем постепенно уменьшаться. Такое снижение количества дней сохранится до 2100 г. За период 2081 – 2100 гг. количество дней в среднем не будет превышать 7 случаев в год.

ЭВТВ. В середине и конце XXI века на всей территории юга России наблюдается вероятное увеличение количества случаев с экстремально высокой температурой воздуха.

В зимний период 2046 – 2065 гг. число дней с ЭВТВ возрастет к 2065 г. до 14 дней в год. В 2081 – 2100 гг. оно несколько уменьшится, и только в отдельные годы вероятное количество дней с ЭВТВ составит 11 дней в год.

Весной количество дней с ЭВТВ возможно будет увеличиваться в течение всего периода 2046 – 2065 гг. с максимумом 13 дней в год. Этот же рост продолжится и в 2081 – 2100 гг., достигая 26 дней в году.

Летний период 2046 – 2065 гг. характеризуется постепенным увеличением число дней с ЭВТВ к концу этого периода. Максимальное количество дней, вероятно, составит 24 дня в год. К концу XXI века количество дней с ЭВТВ в летний сезон значительно сократится в среднем до 7 дней в год.

Осенью, также как и весной, количество дней с ЭВТВ, вероятно, будет увеличиваться на протяжении двух будущих периодов. Максимальное число случаев в год как в 2046 – 2065 гг., так и в 2081 – 2100 гг. составит 15 дней.

Выводы. Анализ изменений экстремальных величин температуры воздуха на территории юга России по данным модели GFDL-CM3 позволил получить следующие оценки.

К середине XXI века вероятно повышение ЭНТВ на 3°C, а ЭВТВ на 5°C по сравнению с современным периодом. К концу XXI века во всем регионе величины ЭНТВ и ЭВТВ увеличатся на 4 – 5°C.

Повторяемость случаев с ЭНТВ в среднем на территории юга России в период 2046 – 2065 гг. увеличится в 1,2 раза, а в 2081 – 2100 гг. – в 1,4 раза. Число случаев с ЭВТВ в эти же периоды увеличится в среднем в 1,2 раза.

Таким образом, модель GFDL-CM3 показывает возможное учащение случаев с экстремальной температурой воздуха на территории юга России на протяжении всего XXI века.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 04/2015-Р ВОО «Русское географическое общество».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Второй* оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Изд. Росгидромета. 2014. 61 с.
2. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis* / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. 2013. 1535 pp.
3. *Porebska M., Zdunek M.* Analysis of extreme temperature events in Central Europe related to high pressure blocking situations in 2001 – 2011 // *Meteorologische Zeitschrift*. 2013. Vol. 22. № 5. P. 533–540.
4. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А.* Глобальные процессы в системе океан-атмосфера и экстремальные погодноклиматические аномалии в Черноморско-Азовском регионе // *Системы контроля окружающей среды*. 2006. С. 315–318.
5. *The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL Global Coupled Model CM3* / L.J. Donner, B. Wyman, R.S. Hemler [et al.] // *Journal of Climate*. 2011. Vol. 24. P. 3484–3519.
6. *How well do CMIP5 Earth System Models simulate present climate conditions in Europe and Africa?* / S. Brands, S. Herrera, J. Fernández [et al.] // *Climate Dynamics*. 2013. Vol. 41. P. 803–817.
7. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология». СПб.: изд. РГГМУ. 2007. 279 с.
8. *Воскресенская Е.Н., Ваховская Г.А., Евстигнеев В.П.* Повторяемость экстремальных температур воздуха в Черноморском регионе // *Системы контроля окружающей среды*. 2012. Вып. 18. С. 98–101.