

THE INFLUENCE OF A GLOBAL CLIMATE CHANGES ON WESTERN SIBERIA CLIMATE IN THE FIRST HALF OF XXI CENTURY

*Nikolay V. Volkov^{1,2}, Anatoly A. Lagutin^{1,2}, Konstantin M. Makushev¹,
Egor Yu. Mordvin¹, Alina K. Bukina¹*

¹Altai State University, Barnaul, Russia

²Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract

The results of investigations on the influence of global changes of Earth system on the climate of Western Siberia are presented. In order to determine the zones of the region where changes are expected at the middle of the twenty-first century, the simulated data of the regional climate model RegCM4 and the standardized Euclidean distances between climate characteristics for the two states of the climate system – contemporary and future – have been used. The zones of Western Siberia region, in which climate change is expected in the framework of RCP 4.5 and RCP 8.5 radiative forcing scenarios by the 2050, have been determined.

Keywords: Western Siberia, climate change, 2050, regional model RegCM4, Euclidean distance, temperature, precipitations

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА КЛИМАТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА

Волков Н.В.⁽¹⁾⁽²⁾, Лагутин А.А.⁽¹⁾⁽²⁾, Макушев К.М.⁽¹⁾, Мордвин Е.Ю.⁽¹⁾, Букина А.К.⁽¹⁾

¹ Алтайский государственный университет, Барнаул

² Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

Представлены результаты исследований влияния глобальных изменений системы Земля на климат Западной Сибири. Для установления зон региона, в которых к середине XXI века прогнозируются изменения, использовались модельные данные региональной климатической модели RegCM4 и принятые в этом классе задач стандартизованные евклидовы расстояния между характеристиками климата для двух состояний климатической системы – современного и будущего. Установлены зоны Западной Сибири, в которых в рамках сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5 возможной эволюции глобальной системы к 2050 году прогнозируются изменения климата.

Ключевые слова: Западная Сибирь, изменение климата, 2050 год, региональная модель RegCM4, евклидово расстояние, температура, осадки.

Введение. Результаты независимых анализов глобальной приземной температуры воздуха, полученные Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) и Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration, NASA) и опубликованные в ежегодном отчете [1] показали, что в 2016 году средняя глобальная температура на планете была на 0.94 °C выше чем средняя температура в XX веке. Этот факт делает 2016 год самым «теплым» за всю историю инструментальных наблюдений, начиная с 1880 г. В своих выводах авторы [1] отмечают, что наибольший рост температуры установлен для Северной Евразии. Последние данные для этого региона, полученные с января по май 2017 года, дают оценки аномалий температуры, составляющие 3-4 °C по сравнению с первым полугодием базового периода 1981-2010 гг. [2].

Оценки глобальных климатических изменений стимулируют постановку и проведение исследований, направленных на установление зон регионов, в которых прогнозируются изменения климата. Основным источником информации в таких исследованиях являются данные региональных климатических моделей. Региональные модели позволяют получать более достоверные данные для больших территорий с высоким пространственным разрешением в силу более точного учета рельефа местности, а также более точного описания физических процессов, описывающих динамику климатической системы региона.

Целью работы является анализ влияния глобальных климатических изменений на климат Западной Сибири, установление зон территории, в которых в первой половине XXI века прогнозируется изменение климата. Информационной основой работы являются данные вычислительных экспериментов, проведенных с использованием региональной климатической модели RegCM4.

Модель RegCM4 и постановка вычислительных экспериментов. Моделирование характеристик климатической системы Сибирского региона проведено для периода 1980-2050 гг. с использованием созданного авторами и верифицированного по данным о современном климате вычислительного комплекса, основанного на региональной климатической модели RegCM4 (см., например, [3–5]). Эта модель создана в Международном центре теоретической физики им. Абдуса Салама (ICTP, Триест, Италия) [6]. Описание основных модулей RegCM4 и схем параметризаций физических процессов, используемых в расчетах, приведены в серии наших предыдущих работ [3-5].

На рисунке 1 показано положение и топография (в метрах над уровнем моря) области моделирования, используемой в данной работе. Центр области – в точке с координатами 55.5° с.ш., 85.0° в.д., площадь – 3600×4000 км². Конфигурация модели RegCM4, используемая в расчетах современного и будущего климатов, приведена в таблице.

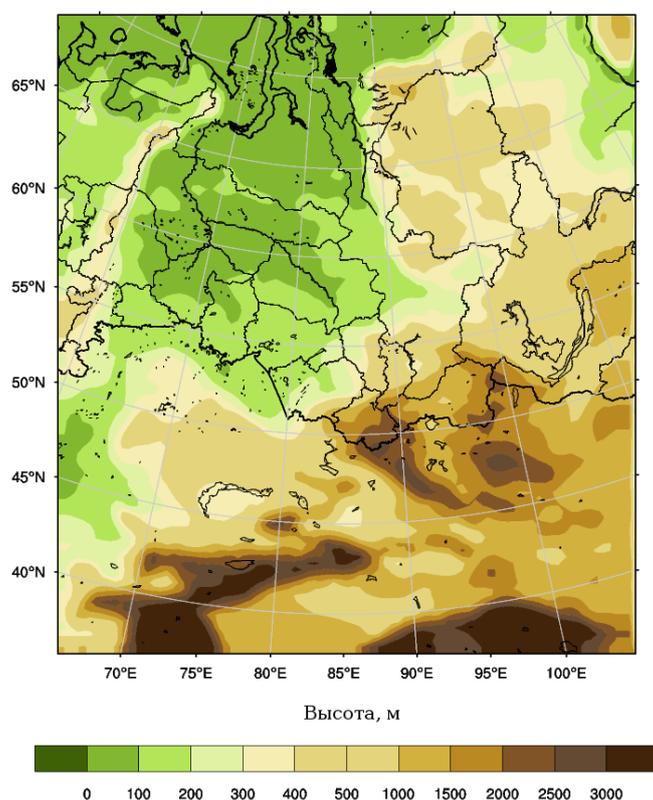


Рис. 1. Топография области моделирования (метры над уровнем моря).

Моделирование проведено для периода 1980-2050 гг. Интегрирование уравнений динамики атмосферы проведено с шагом $\Delta t = 120$ с, результаты моделирования получены с интервалом 3 часа. Период 1980-1985 гг. использовался для «разогрева» модели, поэтому эти результаты в расчетах не используются. Начальные и граничные условия для современного периода 1980-2016 гг. задавались по данным реанализа Era-Interim [7], а для периода 2017-2050 гг. – по данным глобальной модели HadGEM2-ES [8] для сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5.

Конфигурация модели, используемая в расчетах.

Конфигурация	Описание
Размер области моделирования. Пространственное разрешение.	90×100 ячеек. $\Delta x = 40$ км
Размер буферной зоны.	12 ячеек.
Тип проекции.	Равноугольная коническая проекция Ламберта.
Количество вертикальных уровней (верхняя граница атмосферы).	18 сигма-уровней (50 гПа).
Схема пограничного слоя.	Holtslag PBL [9].
Схема параметризации облаков.	Grell [10].
Модель переноса тепла и влаги в почве.	CLM 4.5 [11].
Модель переноса излучения.	RRTM [12].
Период моделирования.	1980-2050 гг. (70 лет). С 1 января 1980 года по 31 декабря 1985 года – период «разогрева» модели.
Начальные и граничные условия.	Для современного периода 1980-2016 гг. по данным реанализа Era-Interim [7], для периода 2017-2050 гг. по данным глобальной модели HadGEM2-ES [8] для сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5.

Для получения количественных оценок изменения климата в середине XXI века по отношению к современному его состоянию в каждой ячейке i сетки RegCM4 региона использовалось принятое в этом классе задач (см., например, [13,14]) стандартизованное евклидовое расстояние

$$R_i = \sqrt{\sum_{k=1}^2 \frac{(b_{ki} - a_{ki})^2}{\sigma_{ki}^2}}. \quad (1)$$

Здесь a_{ki} и b_{ki} — есть средние значения климатической переменной k для современного (1991–2010 гг.) и будущего (2041–2050 гг.) климатов в ячейке i , а σ_{ki} — среднеквадратичное отклонение этой переменной для современного климата.

При анализе результатов расчетов считалось, что климат в ячейке i сетки RegCM4 изменился, если R_i превышает пороговое значение R_{i0} . Пороговая величина R_{i0} находилась с использованием (1) для современного периода (1991–2010 гг.). При построении оценки R_{i0} этот период случайным образом делился на два множества по 10 лет каждое. Одно множество принималось за современный климатический период, а другое — за будущий. Максимальное значение полученного в этом эксперименте стандартизованного евклидова расстояния рассматривалось далее в качестве R_{i0} . Вычислительный эксперимент по выявлению влияния глобального потепления на климат Западной Сибири был проведен для пары переменных — приземная температура воздуха ($k = 1$) и суммарные осадки ($k = 2$).

Результаты и выводы. Узлы сетки модели RegCM4, для которых установлено изменение климата в рамках сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5, показаны на рисунке 2. Видно, что в общей сложности климатические изменения затронут всю Западную Сибирь в обоих сценариях.

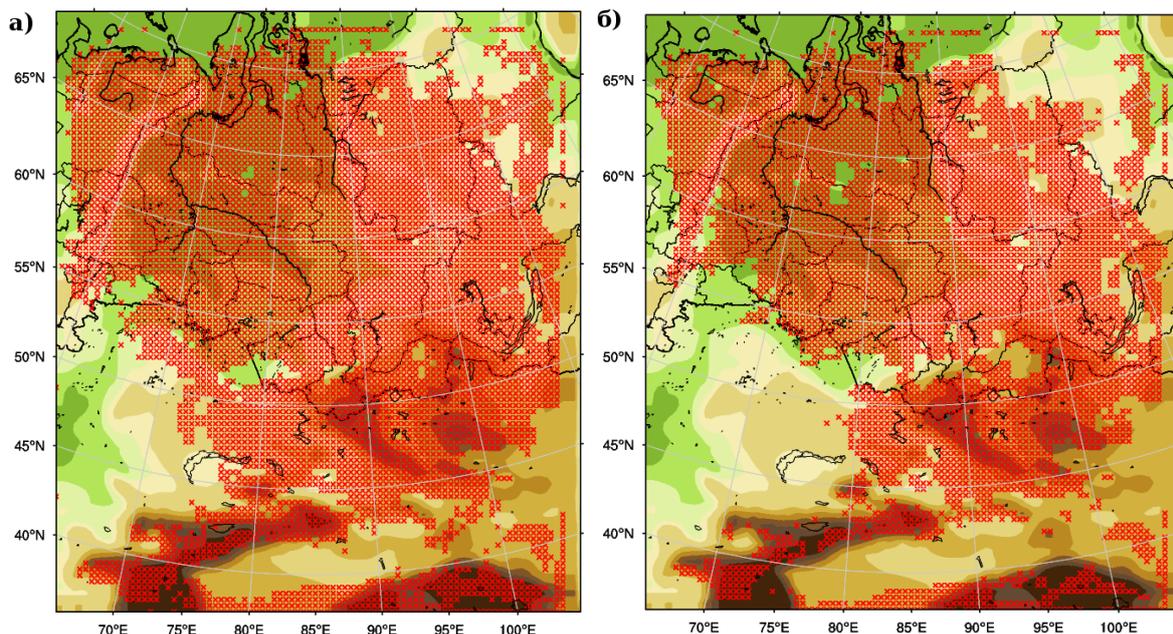


Рис. 2. Узлы сетки модели RegCM4 для которых установлено изменение климата для региона Западной Сибири: а) сценарий RCP 4.5; б) сценарий RCP 8.5. Высота над уровнем моря, как на рис. 1.

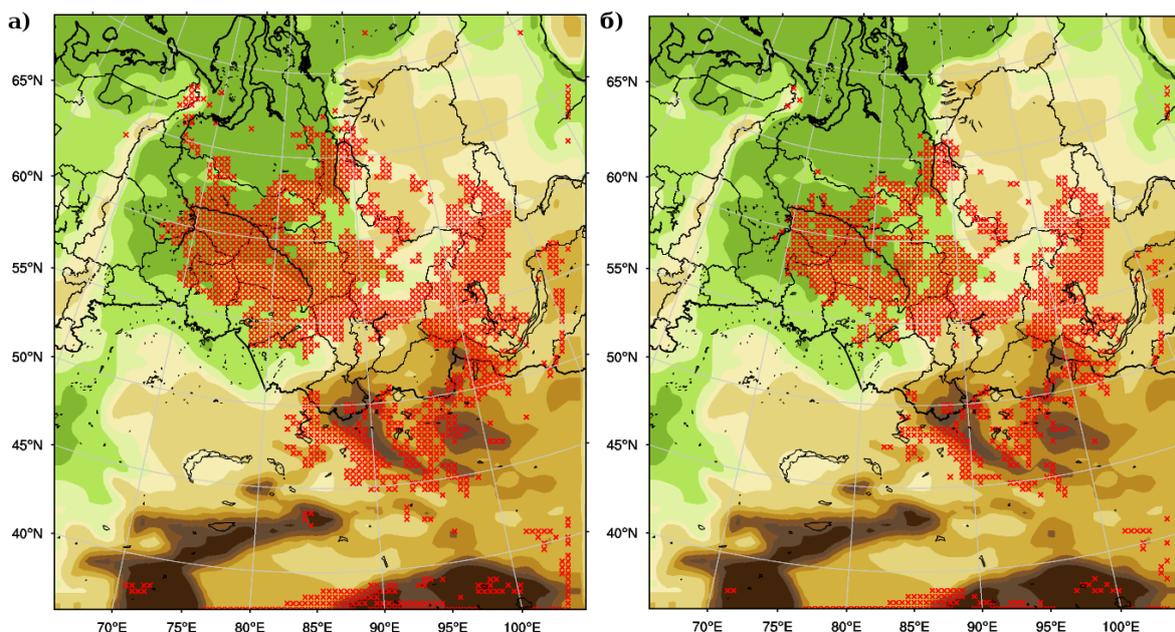


Рис. 3. Узлы сетки модели RegCM4 для которых установлено изменение климата для региона Западной Сибири: а) сценарий RCP 4.5, б) сценарий RCP 8.5. Высота над уровнем моря, как на рис. 1.

Для установления зон региона, в которых возможны еще большие изменения климата, были проведены дополнительные вычислительные эксперименты, в которых в качестве первой климатической переменной выступала среднесуточная температура, превышающая базовую температуру на 5°C , а в качестве второй — осадки. Результаты этих расчетов показаны на рисунке 3. Видно, что изменение климата для базовой температуры 5°C прогнозируется преимущественно в предгорных и горных районах, а также в зоне болот Западной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016, published online January 2017. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613> (дата обращения 30.06.2017).
- [2] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for May 2017, published online June 2017. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201705> (дата обращения 30.06.2017).
- [3] Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю. и др. Моделирование климата Западной Сибири: результаты модели RegCM4 // Известия АлтГУ. 2012. № 1/2(73). С. 181–189.
- [4] Лагутин А.А., Волков Н.В., Макушев К.М. и др. Уходящее длинноволновое излучение по данным региональной климатической модели и спутникового комплекса AIRS/AMSU // Известия АлтГУ. 2014. № 1/2(82). С. 155–161.
- [5] Makushev K.M., Lagutin A.A., Volkov N.V., Mordvin E.Yu. Validation of the RegCM4/CLM4.5 regional climate modeling system over the Western Siberia // Proc. SPIE. 2016. V. 10035. doi: 10.1117/12.2249163
- [6] Giorgi F., Coppola E., Solmon F. et al. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains // Clim. Res. 2012. V. 52. P. 7–29.
- [7] Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2011. V. 137. P. 553–597.
- [8] Collins W.J., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M. et al. Development and evaluation of an Earth-System model - HadGEM2 // Geosci. Model Dev. 2011. V. 4. P. 1051–1075.
- [9] Holtzlag, A. A. M., de Bruijn, E. I. F., Pan, H.-L. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting // Mon. Wea. Rev. 1990. V. 118, P. 1561–1575.
- [10] Grell, G. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations // Mon. Wea. Rev., 1993. V. 121, P. 764–787.

- [11] Oleson, K.W., Niu, G.-Y., Yang, Z.-L. et al. Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113, G01021.
- [12] Mlawer E.J., Taubman S.J., Brown P.D. et al. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102. P. 16663-16682.
- [13] Williams J.W., Jackson S.T., Kutzbach J.E. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD // *PNAS.* 2007. V. 104. Pp. 5738–5742.
- [14] Pugh T.A.M., Muller C., Elliott J. et al. Climate analogues suggest limited potential for intensification of production on current croplands under climate change // *Nat. Commun.* 2016. No. 7:12608. doi:10.1038/ncomms12608.