

Влияние глобальных климатических изменений на климат Западной Сибири в первой половине XXI в.

А. А. ЛАГУТИН^{1,2}, Н. В. ВОЛКОВ^{1,2,*}, Е. Ю. МОРДВИН¹

¹Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

²Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

*Контактный e-mail: volkov@theory.asu.ru

Представлены результаты исследований влияния глобальных климатических изменений системы Земля на климат Западной Сибири. Для установления зон региона, в которых к середине XXI в. 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 г. прогнозируются изменения климата.

Ключевые слова: Западная Сибирь, изменение климата, 2050 г., 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 аэронавтике и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration, NASA), опубликованные в ежегодном отчете [1], показали, что в 2016 г. средняя глобальная температура на планете была на 0.94°C выше, чем средняя температура в XX в. Этот факт делает 2016 г. 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 г., дают оценки аномалий температуры, составляющие $3\text{--}4^\circ\text{C}$ по сравнению с первым полугодием базового периода 1981–2010 гг. [2].

Оценки глобальных климатических изменений стимулируют постановку и проведение исследований, направленных на определение зон регионов, в которых прогнозируются изменения климата. Основным источником информации в таких исследованиях являются данные региональных климатических моделей, которые за последние 30 лет показали свою эффективность при изучении регионального климата в условиях меняющегося глобального [3–9]. Успешность этих моделей при описании системы атмосфера —

подстилающая поверхность обусловлена, прежде всего, более высоким по сравнению с глобальными моделями пространственным разрешением и в силу этого более точным учетом рельефа местности, а также более точным описанием физических процессов, происходящих в региональной системе.

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

В отличие от выполненных ранее исследований (см., например, [6, 9, 10]), в которых обсуждаются изменения отдельных климатических переменных на территории Сибири в период глобального потепления, в данной работе для решения поставленных задач анализируется одновременно поведение двух ключевых характеристик климатической системы — температуры и осадков. Установление зон региона, в которых к середине XXI в. прогнозируются изменения, базируется на значениях стандартизованных евклидовых расстояний между характеристиками современного и будущего состояний системы. Использование при анализе максимальных значений евклидовых расстояний между различными состояниями в современный период позволяет ослабить влияние естественных флуктуаций характеристик климата на итоговые выводы работы.

1. Региональная климатическая модель RegCM4

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 [11–14]. Эта модель создана в Международном центре теоретической физики им. Абдуса Салама (ICTP, Триест, Италия) [15].

Модель имеет модульную структуру, в которой выделяются две подсистемы: подготовка входных данных и подсистема моделирования. Основными модулями RegCM4 являются Terrain, MkSurfData, SST, ICBC, RegCM. Блок-схема взаимодействия блоков модели RegCM4 на этапах подготовки данных и моделирования показана на рис. 1.

Блок **Terrain** выполняет географическую привязку узлов сетки модели посредством задания их количества, пространственного разрешения Δx , а также долготы и широты центральной точки области моделирования в используемой картографической проекции (полярной стереографической, Ламберта или Меркатора). Эта подпрограмма служит также для формирования данных о рельефе и типе подстилающей поверхности на основе существующих в системе RegCM4 баз данных. Для задания рельефа и свойств подстилающей поверхности имеется возможность использовать глобальные топографические данные различного разрешения — от одного градуса до 30 с.

Модуль **MkSurfData** (Make Surface Data) служит для интерполяции глобальных PFT-данных (Planing Functionality Type), необходимых для запуска модели подстилающей поверхности CLM (The Community Land Model) [16], в узлы сетки модели. Этот модуль используется только в случае выбора на этапе конфигурации модели CLM для описания процессов переноса тепла и влаги в почве.

Модуль **SST** (Sea Surface Temperature) служит для задания температуры океана в узлах сетки модели. Запуск этой программы на этапе подготовки входных данных необходим даже в случае удаленности границ исследуемой области от океана.



Рис. 1. Блок-схема последовательности подготовки данных и моделирования с использованием региональной климатической модели RegCM4

Подпрограмма **ICBC** (Initial Condition, Boundary Condition) предназначена для задания начальных и граничных условий. При этом выполняется интерполяция внешних данных с исходных изобарических уровней на сигма-уровни модели. ICBC-файлы содержат данные о распределении давления и температуры на уровне подстилающей поверхности, проекциях скорости ветра, профилях температуры и отношения смеси водяного пара.

Ядро **RegCM** предназначено собственно для моделирования климатической системы. В модели имеется набор схем параметризаций для описания физических процессов переноса излучения, потоков тепла и влаги в почве, процессов в пограничном слое, конвективных осадков, модели планетарного приповерхностного слоя и др. Так, например, в модели имеются три схемы для описания конвективных осадков [17]. Для описания переноса потоков тепла и влаги в почве могут быть использованы модели **BATS** (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme [3]) или **CLM** [16]. На основании анализа результатов моделирования полей приземной температуры воздуха и осадков, проведенного нами ранее [11, 12], в данной работе используется модель **CLM4.5**, которая в отличие от **BATS** точнее описывает процессы влагопереноса в почве Западной Сибири.

Результаты моделирования сохраняются в группы файлов для конкретного блока модели. Данные атмосферного блока сохраняются в файлы с префиксом **ATM** в имени. Как правило, это четырехмерные массивы, содержащие данные на каждом временном шаге модели, для каждого узла сетки (векторные данные для центра каждой ячейки модели) и каждого атмосферного уровня. Файлы **SRF** содержат трехмерные массивы приземных данных (встречаются также четырехмерные). Результаты моделей переноса излучения, включенных в **RegCM4**, сохраняются в файлы **RAD**, а химических транспортных моделей — в файлы **CHE**. При использовании модели **CLM** создается отдельная группа файлов с данными на пятнадцати почвенных уровнях.

Основным форматом данных, используемым в RegCM4, является формат NetCDF (Network Common Data Form) [18]. Числовые значения из NetCDF-файлов можно получить с помощью специализированных программных продуктов (например, NetCDF Tools) или библиотек разработки для современных языков программирования с функциями обращения к NetCDF-данным. Для визуализации пространственных NetCDF-данных служат специализированные языки программирования для систем GrADS (Grid Analysis and Display System) [19], NCL (NCAR Command Language) [20] и др.

2. Постановка вычислительных экспериментов

На рис. 2 показаны 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.

Моделирование выполнено для периода 1980–2050 гг. Интегрирование уравнений динамики атмосферы проведено с шагом $\Delta t = 120$ с, результаты моделирования получены

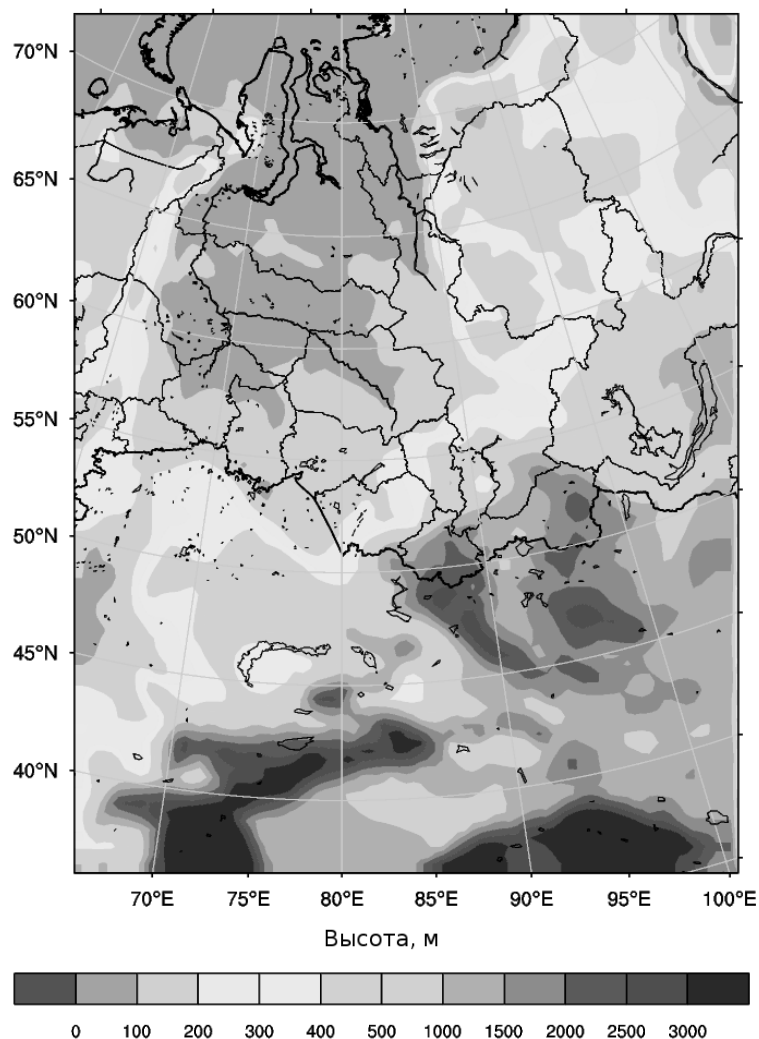


Рис. 2. Топография области интегрирования (метры над уровнем моря)

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 [25]
Схема параметризации облаков	Grell [26]
Модель переноса тепла и влаги в почве	CLM 4.5 [16]
Модель переноса излучения	RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) [27]
Период моделирования	1980–2050 гг. (70 лет). С 1 января 1980 г. по 31 декабря 1985 г. — период “разогрева” модели
Начальные и граничные условия	Для современного периода 1980–2016 гг. по данным реанализа Era-Interim [21], для периода 2017–2050 гг. по данным глобальной модели HadGEM2-ES [22] для сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5 [23]

с интервалом 3 ч. Период 1980–1985 гг. использовался для “разогрева” модели, поэтому эти результаты в расчетах не используются. Начальные и граничные условия для периода 1980–2016 гг. задавались по данным реанализа Era-Interim [21], а для периода 2017–2050 гг. — по данным глобальной модели HadGEM2-ES [22], участвовавшей в эксперименте CMIP5, для сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5 [23]. Выбор этой модели для оценок

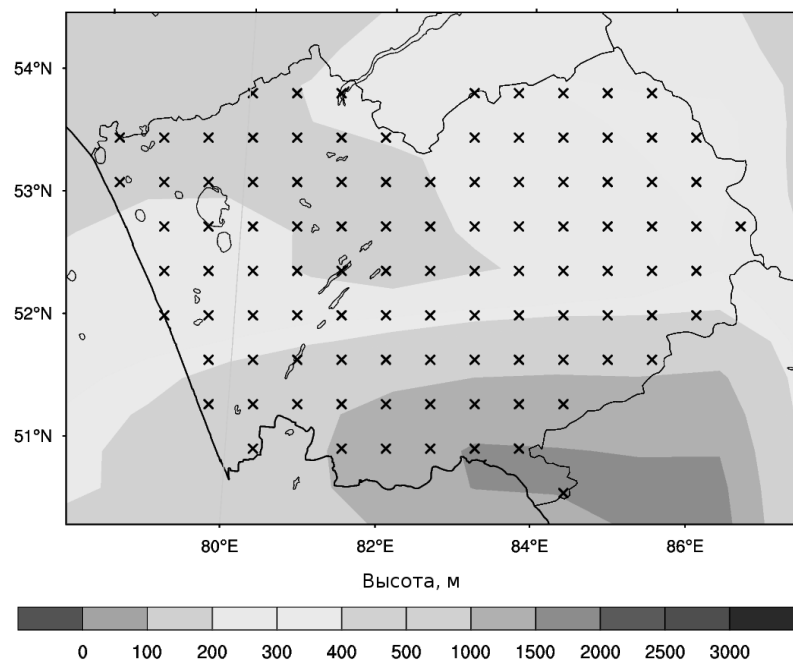


Рис. 3. Территория Алтайского края и узлы сетки модели RegCM4 (символ \times), в которых проводилась верификация модели. Топография области как на рис. 2

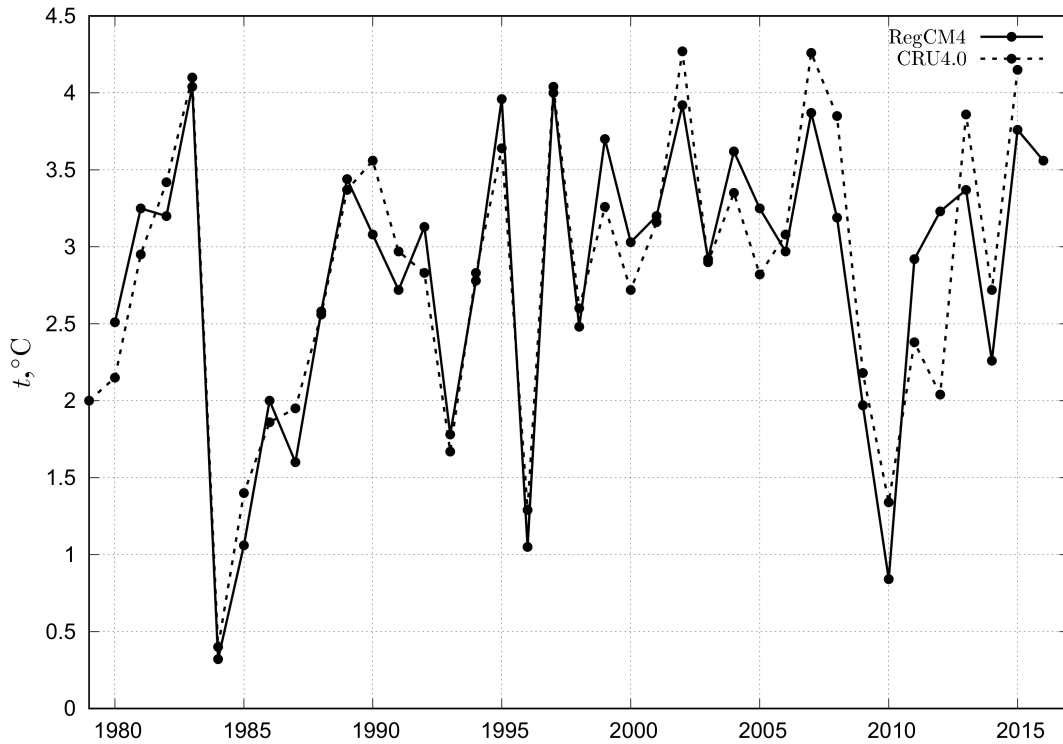


Рис. 4. Сопоставление приземной температуры воздуха, полученной для территории Алтайского края для периода 1980–2016 гг. с использованием модели RegCM4 (сплошная линия), с данными архива CRU4.00 [28] (штриховая)

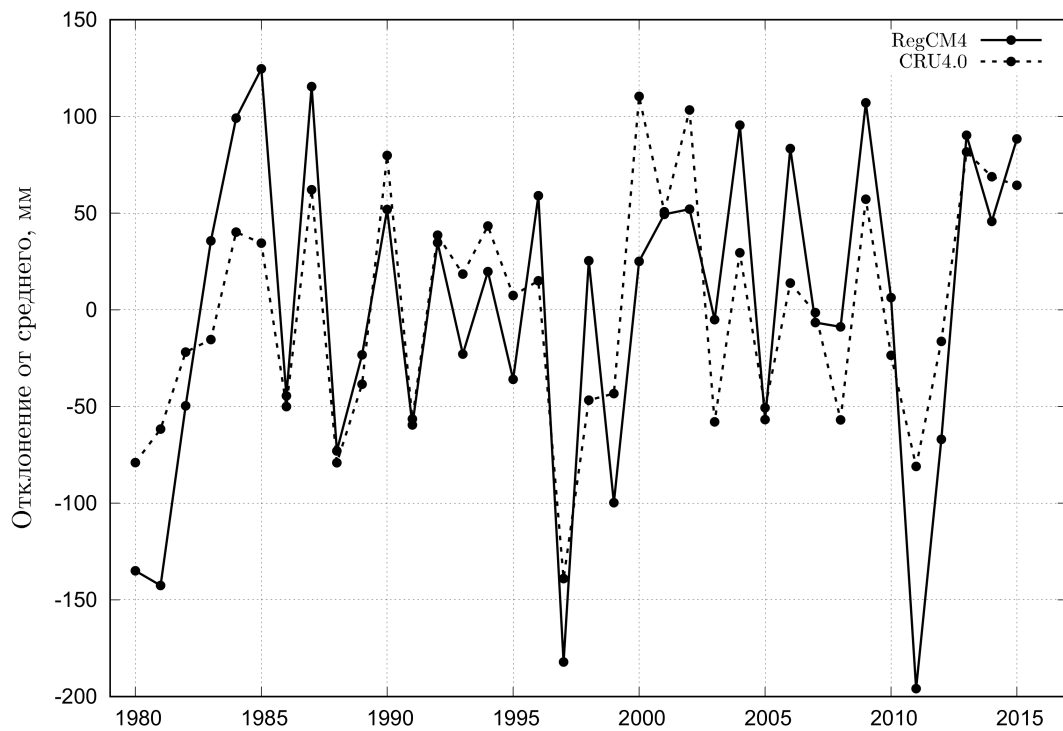


Рис. 5. Сопоставление аномалий суммарных годовых осадков, полученных для территории Алтайского края для периода 1980–2016 гг. с использованием модели RegCM4 (сплошная линия), с данными архива CRU4.00 [28] (штриховая)

изменения климата региона в середине XXI в. обусловлен тем обстоятельством, что результаты этого семейства моделей HadGEM2 для исторического периода 1980–2005 гг. дают минимальные относительные погрешности ключевых климатических переменных по сравнению с медианными значениями этих переменных, полученными усреднением по всем моделям эксперимента CMIP5 (см., например, рис. 9.7 работы [24]).

Верификация модели RegCM4 проводилась путем сопоставления результатов моделирования полей приземной температуры воздуха и осадков для территории Алтайского края (рис. 3) с результатами архива CRU 4.00, подготовленного отделом исследования климата Университета Восточной Англии [28]. В силу широкого использования [28] при верификации результатов региональных климатических моделей в настоящем исследовании эти данные рассматривались как “истинные”.

На рис. 4 и 5 представлены результаты сопоставления температуры воздуха и аномалий суммарных годовых осадков, полученных с использованием региональной климатической модели RegCM4, с данными архива CRU 4.00 [28]. Анализ этих результатов показал, что модель хорошо воспроизводит межгодовую изменчивость температуры и осадков: максимальное отклонение модельных температур воздуха от данных анализа в 1985–2015 гг. не превышает 0.5 °С, а погрешность моделирования осадков составляет порядка 20 %.

3. Результаты

Для получения количественных оценок изменения климата в середине XXI в. по отношению к современному его состоянию в каждой ячейке i сетки RegCM4 региона использовалось принятое в этом классе задач [29–31] стандартизованное евклидово 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} — средние значения климатической переменной k для современного (1991–2000 гг.) и будущего (2041–2050 гг.) климатов в ячейке i ; 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 превышало 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 проведен для пары переменных — приземной температуры воздуха ($k = 1$) и суммарных осадков ($k = 2$).

Узлы сетки модели RegCM4, для которых установлено изменение климата в рамках сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5, показаны на рис. 6. Видно, что в общей сложности климатические изменения затронут всю Западную Сибирь в обоих сценариях.

Для установления зон региона, в которых возможны еще бóльшие изменения климата, проведены дополнительные вычислительные эксперименты, в которых в качестве

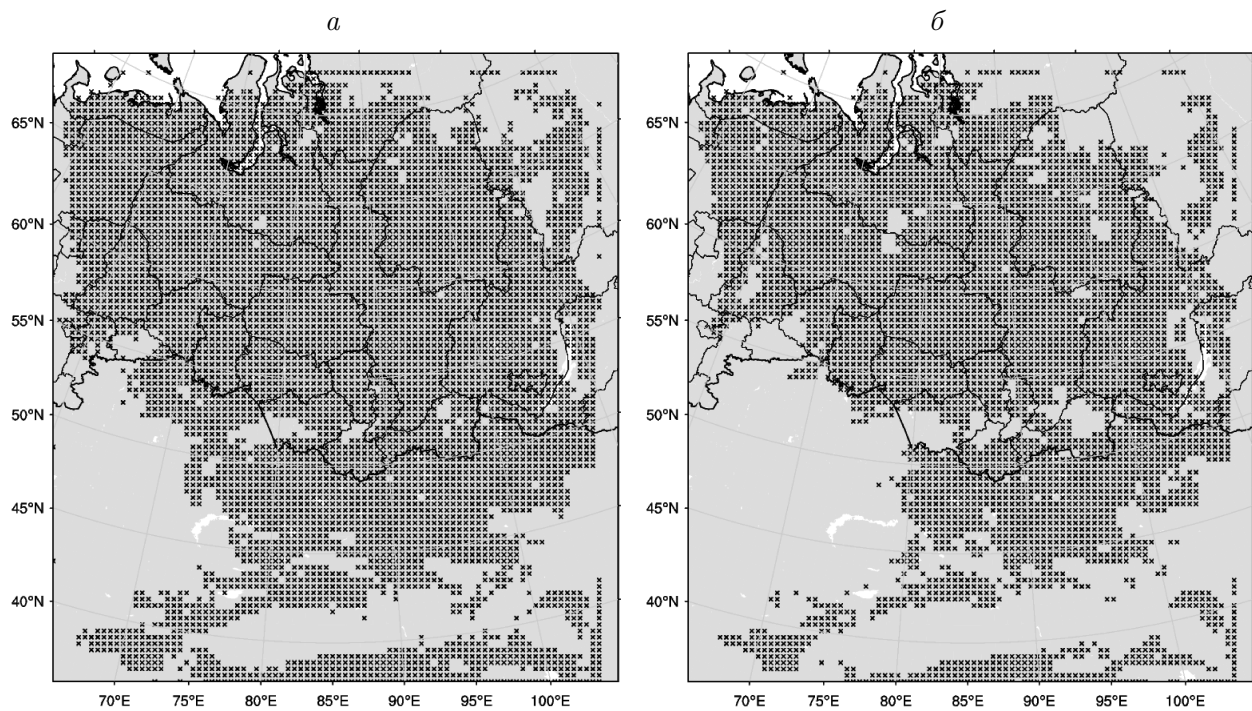


Рис. 6. Узлы сетки модели RegCM4 (символ \times), для которых установлено изменение климата для региона Западной Сибири: *a* — сценарий RCP 4.5; *б* — сценарий RCP 8.5

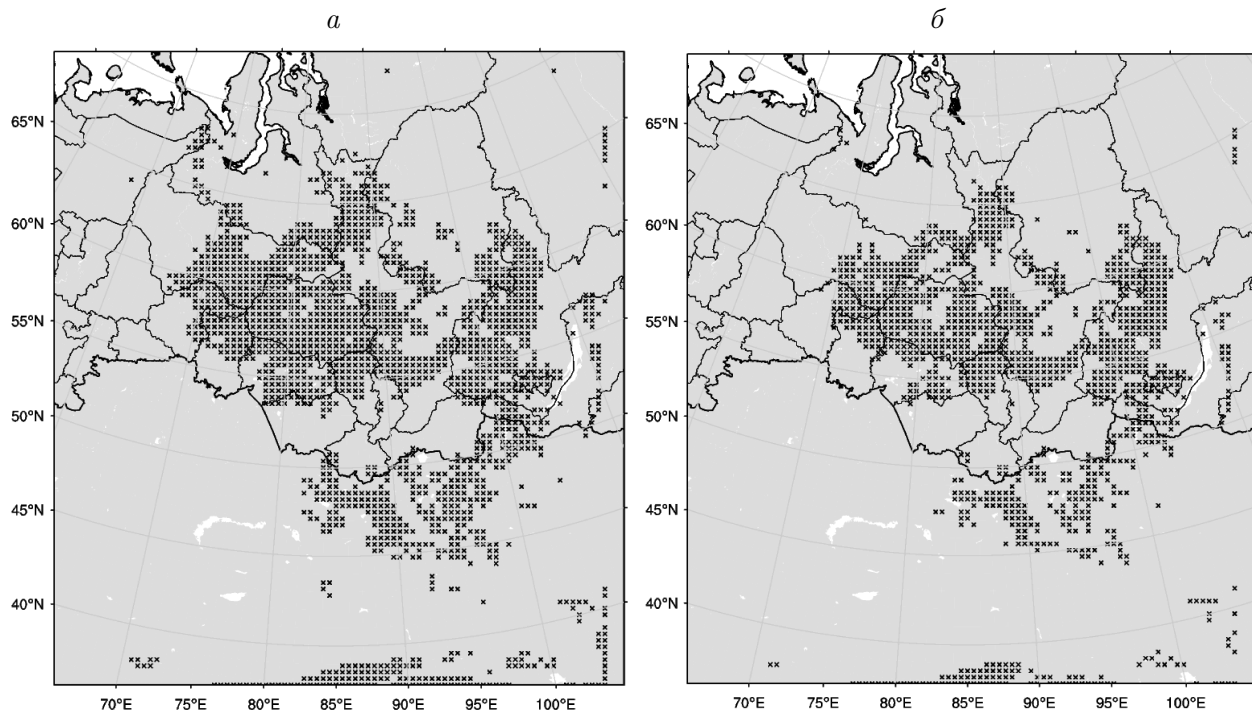


Рис. 7. Узлы сетки модели RegCM4 (символ \times), для которых установлено изменение климата для региона Западной Сибири для базовой температуры 5°C : *a* — сценарий RCP 4.5; *б* — сценарий RCP 8.5

первой климатической переменной выступала среднесуточная температура, превышающая базовую температуру на 5°C , а в качестве второй — осадки. Результаты этих расчетов показаны на рис. 7. Видно, что изменение климата для базовой температуры 5°C прогнозируется преимущественно в предгорных и горных районах, а также в зоне болот Западной Сибири.

Выводы

В данной работе представлены результаты исследований влияния глобальных климатических изменений системы Земля на климат Западной Сибири. Для установления зон региона, в которых к середине XXI в. прогнозируются изменения, использовались модельные данные региональной климатической модели RegCM4, сопряженные с моделью CLM 4.5, описывающей на современном уровне реакцию подстилающей поверхности на эти изменения. Установлено, что включение CLM 4.5 в вычислительный комплекс моделирования климата региона позволило существенно улучшить описание основных характеристик современного климата Западной Сибири.

В отличие от выполненных ранее исследований, в которых обсуждаются изменения отдельных климатических переменных на территории Сибири в период глобального потепления, в данной работе для решения поставленных задач анализируется одновременно поведение двух ключевых характеристик климатической системы — температуры и осадков. Установление зон региона, в которых к середине XXI в. прогнозируются изменения, базируется на значениях стандартизованных евклидовых расстояний между характеристиками современного и будущего состояний системы. Использование в качестве пороговых максимальных значений евклидовых расстояний между различными состояниями в современный период при анализе модельных данных позволяет ослабить влияние естественных флуктуаций характеристик климата на итоговые выводы работы.

Показано, что в рамках сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5 возможной эволюции глобальной системы согласно данным семейства моделей HadGEM2 к 2050 г. климатические изменения затронут всю Западную Сибирь в обоих сценариях. Для уточнения сделанных в работе выводов необходимо проведение дополнительных исследований с использованием нескольких региональных и глобальных моделей.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке ИВТ СО РАН.

Авторы выражают благодарность рецензентам за конструктивные замечания и предложения.

Список литературы / References

- [1] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016, published online January 2017. Available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613> (accessed 30.06.2017).
- [2] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for May 2017, published online June 2017. Available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201705> (accessed 30.06.2017).

- [3] **Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F. et al.** A regional climate model for the western United States // *Clim. Change*. 1989. Vol. 15. P. 383–422.
- [4] **Giorgi, F., Mearns, L.O.** Introduction to special section: regional climate modeling revisited // *J. Geophys. Res.* 1999. Vol. 104. P. 6335–6352.
- [5] **Wang, Y., Leung, L.R., McGregor, J.L. et al.** Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects // *J. Meteor. Soc. Japan*. 2004. Vol. 82. P. 1599–1628.
- [6] **Школьник И.М., Мелешко В.П., Катцов В.М.** Региональная модель ГГО для территории Сибири // *Метеорология и гидрология*. 2007. № 6. С. 5–18.
Shkolnik, I.M., Meleshko, V.P., Kattsov, V.M. The MGO climate model for Siberia // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2007. No 6. P. 351–359. (In Russ.)
- [7] **Rummukainen, M.** State-of-the-art with regional climate models // *WIREs Climate Change*. 2010. Vol. 1. P. 82–96.
- [8] **Feser, F., Rockel, B., von Storch, H. et al.** Regional climate models add value to global model data: A review and selected examples // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2011. Vol. 92, iss. 9. P. 1181–1192.
- [9] **Школьник И.М., Ефимов С.В.** Региональная модель нового поколения для территории северной Евразии // *Тр. ГГО*. 2015. Вып. 576. С. 201–211.
Shkolnik, I.M., Efimov, S.V. A new generation regional climate model for northern Eurasia // *Proc. of MGO*. 2015. Vol. 576. P. 201–211. (In Russ.)
- [10] **Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В.** Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период глобального потепления 1975–2005 гг. // *Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология*. 2008. Т. 1, № 4. С. 323–344.
Ippolitov, I.I., Kabanov, M.V., Loginov, S.V., Kharyutkina, E.V. Structure and dynamic of meteorological fields on the Asian Region of Russia in the period of the global warming for 1975–2005 // *J. of Sib. Federal Univ. Biology*. 2008. Vol. 1, No 4. P. 323–344. (In Russ.)
- [11] **Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю. и др.** Моделирование климата Западной Сибири: результаты модели RegCM4 // *Изв. АлтГУ*. 2012. № 1/2(73). С. 181–189.
Lagutin, A.A., Volkov, N.V., Mordvin, E.Yu. et al. Modelling Western Siberia climate: results of the RegCM4 model // *Bulletin ALSU*. 2012. No. 1/2(73). P. 181–189. (In Russ.)
- [12] **Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю.** Моделирование климата Сибирского региона: результаты модели RegCM/CLM для 1970–2029 гг. // *Вестн. Алтайской науки*. 2013. № 1. С. 191–197.
Lagutin, A.A., Volkov, N.V., Mordvin, E.Yu. Modelling of the Siberian Region climate: Results of the RegCM/CLM model for 1970–2029 // *Vestnik Altaiskoy Nauki*. 2013. No. 1. P. 191–197. (In Russ.)
- [13] **Лагутин А.А., Волков Н.В., Макушев К.М. и др.** Уходящее длинноволновое излучение по данным региональной климатической модели и спутникового комплекса AIRS/AMSU // *Изв. АлтГУ*. 2014. № 1/2(82). С. 155–161.
Lagutin, A.A., Volkov, N.V., Makushev, K.M. et al. Outgoing longwave radiation from the data of regional climate model and AIRS/AMSU satellite suite // *Bulletin ASU*. 2014. No. 1/2(82). P. 155–161. (In Russ.)
- [14] **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. Vol. 10035. DOI:10.1117/12.2249163.

- [15] **Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F. et al.** RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains // *Clim. Res.* 2012. Vol. 52. P. 7–29.
- [16] **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. Vol. 113. G01021.
- [17] **Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F. et al.** Regional climate model RegCM. reference manual. Version 4.6. Available at: <http://gforge.ictp.it/gf/download/docmanfileversion/98/1691/ReferenceMan.pdf> (accessed 30.06.2017).
- [18] Unidata Network common data form (NetCDF). Available at: <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/> (accessed 30.06.2017).
- [19] COLA Grid analysis and display system (GrADS). Available at: <http://cola.gmu.edu/grads/> (accessed 30.06.2017).
- [20] CISL's NCAR command language (NCL). Available at: <https://www.ncl.ucar.edu/> (accessed 30.06.2017).
- [21] **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. Vol. 137. P. 553–597.
- [22] **Collins W. J., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M. et al.** Development and evaluation of an Earth-System model — HadGEM2 // *Geosci. Model Dev.* 2011. Vol. 4. P. 1051–1075.
- [23] **Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A. et al.** The next generation of scenarios for climate change research and assessment // *Nature.* 2010. Vol. 463. P. 747–756.
- [24] **Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B. et al.** Evaluation of climate models // *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2013.
- [25] **Holtzlag, A.A.M., de Bruijn, E.I.F., Pan, H.-L.** A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting // *Monthly Weather Rev.* 1990. Vol. 118. P. 1561–1575.
- [26] **Grell, G.** Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations // *Monthly Weather Rev.* 1993. Vol. 121. P. 764–787.
- [27] **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. Vol. 102. P. 16663–16682.
- [28] **Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. et al.** Updated high-resolution grids of monthly climatic observations — the CRU TS3.10 Dataset // *Intern. J. of Climatology.* 2014. Vol. 34, iss. 3. P. 623–642.
- [29] **Williams, J.W., Jackson, S.T., Kutzbach, J.E.** Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD // *PNAS.* 2007. Vol. 104. P. 5738–5742.
- [30] **Koven, C.D.** Boreal carbon loss due to poleward shift in low-carbon ecosystems // *Nature Geosci.* 2013. Vol. 6. P. 452–456.
- [31] **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 // *Nature Communications.* 2016. No. 7. DOI:10.1038/ncomms12608.

*Поступила в редакцию 28 декабря 2017 г.,
с доработки — 16 апреля 2018 г.*

The influence of global climate changes on Western Siberia climate in the first half of XXI century

LAGUTIN, ANATOLIY A.^{1,2}, VOLKOV, NIKOLAY V.^{1,2,*}, MORDVIN, EGOR YU.¹

¹Altai State University, Barnaul, 656049, Russia

²Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

*Corresponding author: Volkov, Nikolay V., e-mail: volkov@theory.asu.ru

Purpose. An analysis of the influence of a global climate changes on the climate of Western Siberia, determination of zones of the region where changes are expected in the middle of the twenty-first century.

Methodology. Results obtained using the model data of the regional climate model RegCM4 and the standardized Euclidean distances between climate characteristics.

Findings, originality. Simulations of the climate characteristics for the two states of the climate system — contemporary and future — have been carried out. 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.

Acknowledgements. This work was partly supported by the Institute of Computational Technologies of SB RAS.

Received 28 December 2017

Received in revised form 16 April 2018