

*А.А. Лагутин, Н.В. Волков, Е.Ю. Мордвин,
А.Н. Резников*

Моделирование климата Западной Сибири: результаты модели RegCM4*

*A.A. Lagutin, N.V. Volkov, E.Yu. Mordvin,
A.N. Reznikov*

Modelling Western Siberia Climate: Results of the RegCM4 Model

Представлены первые результаты моделирования современного и будущего климата Западной Сибири, полученные с использованием региональной климатической модели RegCM. Обсуждаются результаты вычислительных экспериментов по исследованию влияния размера области интегрирования на поля приземной температуры воздуха и осадков, по проверке качества воспроизведения моделью современного климата, а также параметры климата региона в 2010–2029 годах. Показано, что модель может быть использована для установления характера будущих изменений климата Западной Сибири.

Ключевые слова: изменение климата, Западная Сибирь, Алтай, региональная климатическая модель.

Введение. Факт глобального потепления в XX в. фиксируется с 70-х гг. XX в. [1, 2]. С этого времени резко возросло количество исследований, посвященных проблеме колебаний климата, сформулирована необходимость слежения за текущим состоянием климата.

По данным инструментальных наблюдений, наиболее значительные изменения приземной температуры воздуха наблюдаются в Сибири (см., например: [2, 3]). Глобальные климатические модели указывают на еще большие изменения климата региона в XXI в. [4]. Вместе с тем полученные к настоящему времени количественные оценки ожидаемых в Сибири климатических изменений не совсем определены. В работе [5], например, отмечается, что главная причина этой неопределенности — недостаточная изученность региональных климатически значимых процессов и обратных связей между региональными и глобальными изменениями климата.

Исследования последних 20 лет показывают, что эффективным инструментом при изучении регионального климата в условиях меняющегося глобального климата являются региональ-

The first results of contemporary and future West Siberia climate performed using the RegCM regional climatic model are presented. We discuss the results of the computer experiments set up to determine the influence of the domain size choice on the resulting near-surface air temperature and precipitation data, and the quality of reproduction of the contemporary climate by the model; and the parameters of the regional climate for 2010–2029. It's shown that the model can be used to determine the character of the future West Siberia climate change.

Key words: climate change, Western Siberia, Altai, regional climatic model.

ные климатические модели [1, 5–14]. Успешность этих моделей при описании поведения системы «атмосфера—подстилающая поверхность» региона обусловлена прежде всего более точным, по сравнению с глобальными моделями, описанием рельефа и процессов теплопереноса в региональной системе.

Отметим, что основная идея моделирования регионального климата, высказанная и впервые реализованная в [6, 7], заключается в интегрировании уравнений динамики атмосферы в течение достаточно длительного времени при непрерывной «подпитке» модели внешними данными анализа (реанализа) или данными глобальной модели на боковых границах рассматриваемой области. На современном этапе значительная часть ключевых параметров подстилающей поверхности (альбедо, температура поверхности океана, состояние растительного покрова и др.) не моделируется явно, а задается с использованием внешних детальных архивов или баз данных. Эксперименты показали, что в силу хорошего описания основных климатообразующих процессов на масштабах 20–50 км, средние многолетние данные модели можно использовать при сопоставлениях с результатами наблюдений при решении климатических задач.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-07-12048), гранта Минобрнауки РФ и Интеграционного проекта СО РАН.

Цель данной работы — исследование возможностей версии 4.1 (май 2011 г.) региональной климатической модели RegCM [15–17] при описании климата Западной Сибири. Выбор этой модели был обусловлен успешным применением RegCM3 для исследований климатических изменений во многих зонах мира, наличием данных о погрешностях моделирования приземной температуры воздуха и осадков в различные сезоны года для разных климатических зон, а также открытого кода, детального описания баз данных, функций подсистем и форматах данных (см., например: [15] и приведенные в ней ссылки).

В работе обсуждаются результаты вычислительных экспериментов, проведенных в Алтайском госуниверситете и Институте вычислительных технологий СО РАН, по исследованию влияния размера области интегрирования на поля приземной температуры воздуха и осадков, по проверке качества воспроизведения современного климата в этих экспериментах, а также первые результаты характеристик климатической системы региона в 2010–2029 гг. Главный результат работы — вывод о возможности применения модели RegCM для установления характера будущих изменений климата Западной Сибири.

1. Климатическая модель RegCM. Динамическим ядром модели RegCM выступает гидростатическая версия мезомасштабной модели MM5 (см.: [15–18]). Работы по созданию, развитию и поддержке модели выполнены в Международном центре теоретической физики им. Абдуса Салама (ICTP, Триест, Италия) [15–17].

Основные модули этой модели: Terrain, SST, ICBC, RegCM, GrADSNcPrepare и GrADSNcPlot.

Блок Terrain выполняет географическую привязку сеток модели посредством задания горизонтальных размеров (количества узлов) и пространственного разрешения сетки региональной модели, долготы и широты центральной точки региональной сетки, 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 RegCM баз данных. Для задания рельефа и свойств подстилающей поверхности имеется возможность использовать глобальные топографические данные различного разрешения — от одного градуса до 30 секунд.

Модуль SST (Sea Surface Temperature) служит для задания модели океана. Несмотря на удаленность границ исследуемой в работе области от океана, без данных SST запуск модели невозможен.

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.

Модуль RegCM предназначен собственно для моделирования климатической системы. В модели имеется набор схем параметризаций для описания физических процессов переноса излучения, переноса потоков тепла и влаги в почве, физических процессов в пограничном слое, конвективных осадков и др. Так, например, для описания переноса потоков тепла и влаги в почве могут быть использованы модели BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) или CLM (The Community Land Model), для описания конвективных осадков имеются три схемы (см. [16]).

Обработка результатов моделирования и их визуализация проводится модулями GrADSNcPrepare и GrADSNcPlot. Для получения доступа к числовым значениям данных NetCDF файлов используются сторонние программные продукты (NetCDF Tools или готовые библиотеки для популярных языков программирования с функциями обработки NetCDF файлов).

Наконец, отметим, что для визуализации модельных данных можно использовать и ГИС, однако это потребует проведения дополнительных преобразований данных RegCM из NetCDF формата, например, в GeoTIFF.

2. Постановка вычислительных экспериментов. Информационной основой работы являются результаты трех вычислительных экспериментов для областей, размеры которых 56×56 ячеек (эксперимент 1; границы $\sim (45\text{--}65^\circ)$ с.ш., $(60\text{--}95^\circ)$ в.д.), 80×60 ячеек (эксперимент 2; границы $\sim (45\text{--}65^\circ)$ с.ш., $(45\text{--}95^\circ)$ в.д.) и 100×70 ячеек (эксперимент 3; границы $\sim (43\text{--}67^\circ)$ с.ш., $(30\text{--}95^\circ)$ в.д.).

Расчеты проведены при следующей конфигурации RegCM версии 4.1: размер ячейки 40 км, равноугольная коническая проекция Ламберта, характеристики подстилающей поверхности — по данным архива с разрешением 30 угловых секунд, начальные и граничные данные по результатам реанализа [19] или глобальной климатической модели [20], буферная зона 12 ячеек, 18 сигма-уровней по вертикали, модель пограничного слоя на основании [21], схема параметризации облаков из [22], верхняя граница на уровне 50 гПа, временной шаг в атмосферной модели — 120 секунд. Остальные параметры модели задавались в соответствии с рекомендациям разработчиков для версии 4.1 [17].

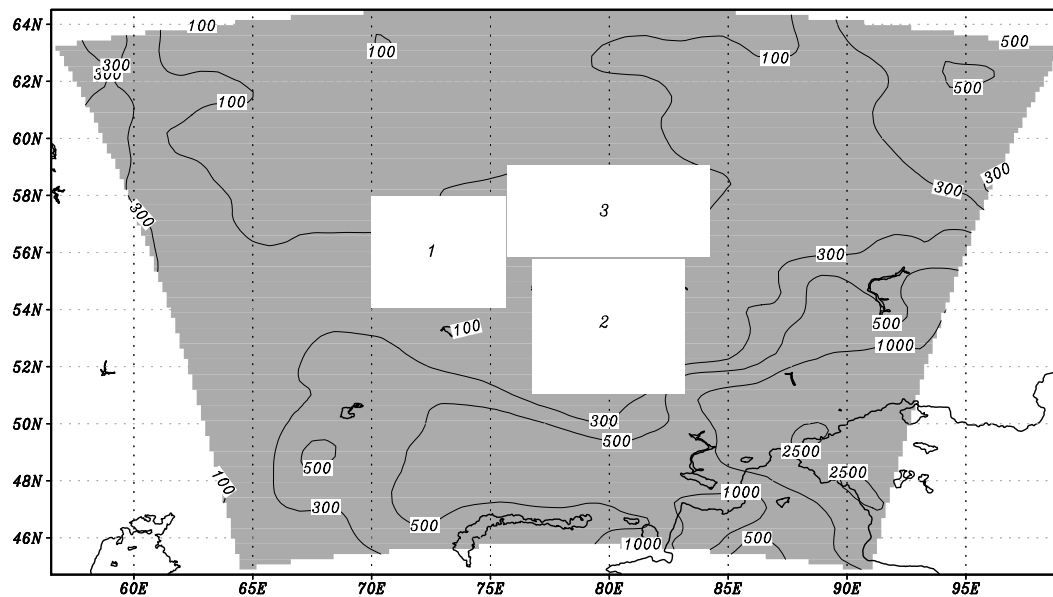


Рис. 1. Положение зон анализа относительно границ области интегрирования в эксперименте 1. Изолинии отражают рельеф рассматриваемой области

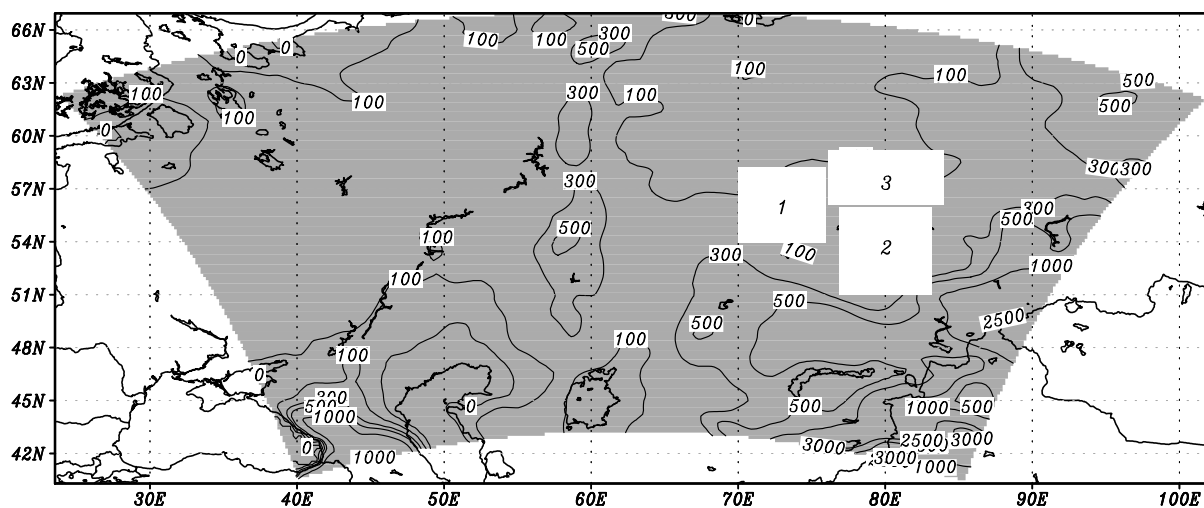


Рис. 2. Положение зон анализа относительно границ области интегрирования в эксперименте 3. Изолинии отражают рельеф рассматриваемой области

Расчеты проведены для периодов 1970–1980 и 1970–2029 гг. В серии 10-летних расчетов, выполненных с целью исследования влияния размера области интегрирования на основные климатические характеристики Западной Сибири, для задания начальных и граничных условий использовался реанализ [19]. Расчеты для 1970–2029 гг. проведены по данным глобальной модели EN5OM [20]. Отметим, что результаты для 2001–2029 гг. получены для сценария A1B [23] на сетке $1.875 \times 1.875^\circ$ при 17 сигма-уровнях.

Качество воспроизведения современного климата региональной климатической моделью в указанных выше экспериментах определялось путем сопоставления среднееголетних данных модели с результатами архива CRU, подготовленного отделом исследования климата Университета Восточной Англии [24]. В силу широкого использования [24] при верификации результатов региональных климатических моделей в работе эти данные рассматривались как «истинные».

Таблица 1

Результаты сопоставления среднемноголетних приземных температур воздуха модели RegCM4.1 с данными архива CRU [24] для 1970–1979 гг. Начальные и граничные данные по результатам реанализа [19]

Зона	Год		Весна		Лето		Осень		Зима	
	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.
Эксперимент 1 (56 × 56)										
1	0.67	0.32	−0.10	0.45	0.28	0.36	−0.02	0.29	2.59	0.39
2	0.65	0.45	−0.28	0.56	0.15	0.42	−0.12	0.38	2.97	0.57
3	0.33	0.27	−0.38	0.35	−0.24	0.16	−0.32	0.21	2.13	0.42
Эксперимент 2 (80 × 60)										
1	0.39	0.26	−0.75	0.35	0.07	0.26	−0.36	0.23	2.70	0.38
2	0.42	0.40	−0.77	0.48	0.01	0.40	−0.39	0.34	2.99	0.59
3	0.19	0.26	−0.71	0.35	−0.26	0.16	−0.54	0.22	2.17	0.43
Эксперимент 3 (100 × 70)										
1	−0.01	0.25	−1.35	0.34	−0.29	0.26	−0.81	0.22	2.42	0.31
2	0.18	0.43	−1.13	0.52	−0.04	0.40	−0.71	0.34	2.69	0.59
3	−0.10	0.23	−1.18	0.32	−0.44	0.16	−0.95	0.19	2.00	0.42

Успешность воспроизведения современного климата определялась в трех зонах областей интегрирования: (54–58° с.ш., 70–76° в.д.) — зона 1; (51–56° с.ш., 77–83° в.д.) — зона 2; (56–59° с.ш., 76–84° в.д.) — зона 3. Положение зон анализа относительно границ областей интегрирования для 1-го и 3-го экспериментов показано на рисунках 1 и 2.

3. Результаты и выводы. Первым этапом исследований, представленных в работе, было установление влияния размеров области интегрирования и положения их границ (западной и восточной) относительно зон анализа на приземную температуру воздуха и интенсивность осадков. При планировании этих экспериментов учитывались итоги [25, 26], которые показали высокую чувствительность результатов моделирования к положению зоны анализа относительно границ области интегрирования в рассмотренные зимний и летний периоды. В частности, добавление нового качества к внешним данным, «подпитывающим» модель на границах, возрастало в зимний период в [25] при увеличении расстояния между границей входа потока, определяющего характер изменения синоптической ситуации в зоне моделирования, и зоной анализа. В силу этого для исследования чувствительности результатов модели к размерам области интегрирования и положению их границ в первом эксперименте зоны анализа располагались в центральной части области интегрирования (см. рис. 1), в третьем — в восточной части (рис. 2). В последнем эксперименте было максимальное расстояние между западной границей и зонами анализа. По мнению авторов, такая постановка вычислительных экспериментов позволяет на количественном уровне исследовать

влияния размеров области интегрирования и положения их границ относительно зон анализа при характерном западном переносе в регионе.

Вычислительные эксперименты 1–3 проведены при двух вариантах «подпитки» модели внешними данными. В первом случае начальные и граничные условия с шагом 6 часов задавались с использованием реанализа [19], во втором — по данным глобальной модели EN5OM [20]. Результаты нескольких серий выполненных расчетов представлены в таблицах 1–4 и на рисунке 3.

Результаты, приведенные в таблицах 1, 2, суммируют информацию о характере изменений среднемноголетней приземной температуры воздуха, а также сезонном и годовом ходе температуры в зонах анализа для 1970–1979 гг. при «подпитке» модели данными реанализа [19]. Среднемесячные значения и годовой ход аномалий интенсивности осадков для 1970–1999 гг. показаны на рисунке 3 и таблице 3. В этом расчете начальные и граничные условия — по данным глобальной модели EN5OM [20].

В таблице 4 представлены результаты по отклонению среднемесячных температур воздуха в приземном слое для трех периодов (2010–2019, 2020–2029, 2000–2029 гг.) от температуры базового (1970–1999 гг.) современного периода в трех зонах анализа. Эта серия расчетов проведена при «подпитке» модели RegCM4 данными глобальной модели EN5OM [20].

Полученные в работе результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Среднемноголетняя приземная температура воздуха и годовой ход температуры для 1970–1979 гг. для всех зон анализа лучше воспроизводятся в эксперименте 3.

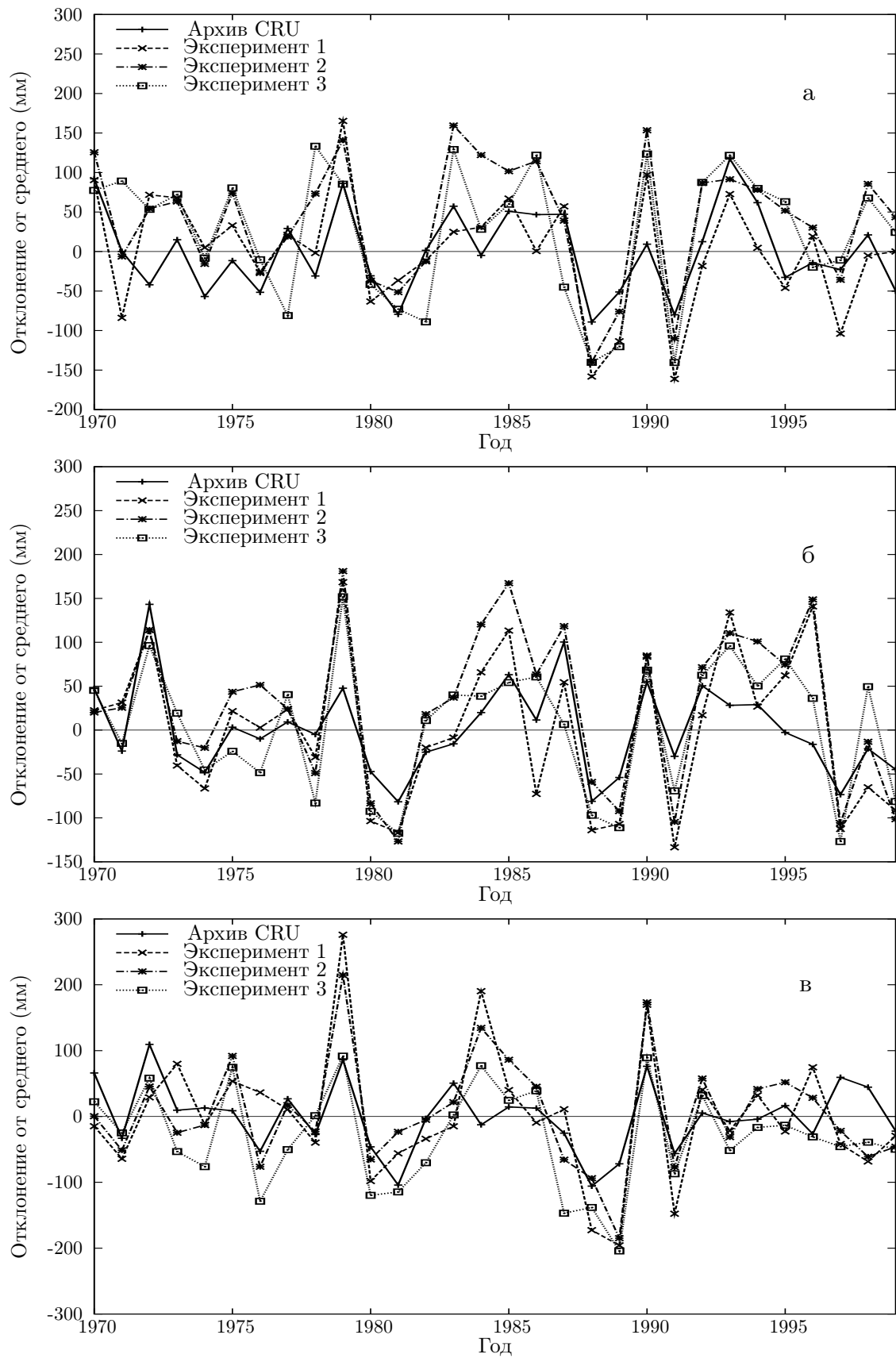


Рис. 3. Сопоставление отклонений интенсивности осадков (мм) от среднего значения в зонах анализа от аномалий архива CRU [24] для трех экспериментов: а — зона 1, б — зона 2, в — зона 3

Таблица 2

Отклонение среднегодовой приземной температуры воздуха, полученной в модели RegCM4.1, от данных архива CRU [24]. Начальные и граничные условия по результатам реанализа [19]

Зона 1						
Год	эксперимент 1		эксперимент 2		эксперимент 3	
	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.
1970	0.38	0.24	0.12	0.20	−0.04	0.20
1971	0.79	0.38	0.15	0.31	−0.30	0.29
1972	0.44	0.29	0.29	0.24	0.04	0.23
1973	0.77	0.41	0.60	0.30	0.04	0.31
1974	1.14	0.33	0.93	0.25	0.50	0.22
1975	0.45	0.42	0.28	0.34	−0.13	0.32
1976	0.55	0.33	0.30	0.31	−0.17	0.31
1977	0.85	0.31	0.87	0.36	0.57	0.31
1978	0.96	0.44	0.44	0.36	−0.37	0.33
1979	0.55	0.42	0.17	0.36	−0.21	0.27
Зона 2						
Год	эксперимент 1		эксперимент 2		эксперимент 3	
	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.
1970	0.33	0.39	0.20	0.32	−0.11	0.36
1971	0.39	0.37	0.08	0.38	−0.12	0.42
1972	0.27	0.47	0.10	0.39	−0.06	0.43
1973	0.91	0.50	0.49	0.44	0.14	0.53
1974	0.87	0.54	0.68	0.48	0.51	0.49
1975	0.53	0.40	0.32	0.41	0.34	0.40
1976	0.76	0.50	0.46	0.46	0.29	0.42
1977	1.07	0.41	1.03	0.39	0.70	0.36
1978	1.04	0.61	0.80	0.58	0.22	0.62
1979	0.65	0.54	0.45	0.51	0.12	0.54
Зона 3						
Год	эксперимент 1		эксперимент 2		эксперимент 3	
	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.	среднее	станд. откл.
1970	0.16	0.32	0.08	0.30	−0.16	0.33
1971	0.18	0.27	−0.10	0.25	−0.42	0.25
1972	0.13	0.25	0.02	0.25	−0.11	0.25
1973	0.32	0.23	0.23	0.24	−0.29	0.24
1974	0.68	0.31	0.63	0.28	0.34	0.23
1975	0.30	0.25	0.18	0.25	−0.08	0.21
1976	0.29	0.22	0.14	0.24	−0.06	0.21
1977	0.67	0.22	0.63	0.20	0.43	0.19
1978	0.23	0.29	−0.02	0.23	−0.61	0.22
1979	0.02	0.23	−0.15	0.22	−0.48	0.22

Таблица 3

Отношение среднемесячной интенсивности осадков модели RegCM4.1 к данным архива CRU [24] для 1970–1999 гг. Начальные и граничные условия по результатам глобальной климатической модели [20]

	Зона 1			Зона 2			Зона 3		
	экспери- мент 1	экспери- мент 2	экспери- мент 3	экспери- мент 1	экспери- мент 2	экспери- мент 3	экспери- мент 1	экспери- мент 2	экспери- мент 3
Январь	1.29	1.44	1.48	1.36	1.46	1.42	1.14	1.23	1.20
Февраль	1.45	1.64	1.66	1.51	1.58	1.49	1.34	1.43	1.45
Март	1.78	2.06	2.03	1.80	1.90	1.83	1.65	1.79	1.74
Апрель	1.83	1.92	1.74	1.73	1.74	1.54	1.74	1.71	1.57
Май	1.77	1.78	1.63	1.75	1.73	1.45	1.80	1.71	1.49
Июнь	1.51	1.45	1.43	1.66	1.66	1.51	1.61	1.39	1.24
Июль	1.40	1.45	1.36	1.46	1.52	1.56	1.66	1.60	1.47
Август	1.37	1.30	1.35	1.51	1.48	1.46	1.40	1.46	1.36
Сентябрь	1.28	1.53	1.39	1.11	1.32	1.32	1.25	1.30	1.26
Октябрь	1.37	1.77	1.81	1.34	1.57	1.54	1.29	1.41	1.40
Ноябрь	1.32	1.53	1.53	1.43	1.57	1.54	1.21	1.32	1.31
Декабрь	1.19	1.37	1.41	1.50	1.63	1.54	1.21	1.31	1.33
Среднее	1.46	1.60	1.57	1.51	1.60	1.52	1.44	1.47	1.40
Станд. откл.	0.22	0.23	0.21	0.20	0.15	0.12	0.24	0.19	0.15

Таблица 4

Среднемесячная температура региона в зонах анализа для разных временных интервалов:
 $T_0 = T[1970; 1999]$, $T_1 = T[2010; 2019]$, $T_2 = T[2020; 2029]$, $T_3 = T[2000; 2029]$. Начальные и граничные
данные по результатам глобальной климатической модели [20]

	Зона 1			Зона 2			Зона 3		
	$T_1 - T_0$	$T_2 - T_0$	$T_3 - T_0$	$T_1 - T_0$	$T_2 - T_0$	$T_3 - T_0$	$T_1 - T_0$	$T_2 - T_0$	$T_3 - T_0$
Январь	0.1	1.6	0.6	0.8	1.4	0.6	0.1	1.6	0.6
Февраль	2.0	1.3	1.7	2.3	1.9	2.1	1.9	1.5	1.7
Март	0.2	1.1	1.0	1.2	1.2	1.5	1.0	1.2	1.3
Апрель	1.2	0.6	0.7	1.1	0.9	0.9	1.9	0.3	0.6
Май	1.3	1.1	1.0	0.2	1.1	0.9	1.9	0.8	1.0
Июнь	0.7	-0.1	0.3	0.4	-1.0	-0.2	0.3	-0.8	-0.2
Июль	0.1	0.7	0.2	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
Август	0.8	0.9	0.6	1.2	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4
Сентябрь	0.6	0.7	0.8	0.5	0.4	0.6	0.8	0.5	0.8
Октябрь	0.8	1.2	0.7	0.5	0.9	0.5	0.9	1.3	0.7
Ноябрь	1.7	2.7	1.3	2.0	3.3	1.8	1.8	3.5	1.7
Декабрь	2.2	2.6	1.8	2.2	2.7	2.0	2.2	3.4	2.2

2. Модель воспроизводит сезонный ход температуры воздуха. Отклонения среднемноголетних весенних и осенних температур RegCM4.1 от данных CRU [24] для 1970–1979 гг. минимальны в эксперименте 1, летних — в эксперименте 2. Зимние температуры лучше моделируются в эксперименте 3, что подтверждает результаты [25].
3. Модельные данные по годовому ходу аномалий интенсивности осадков для 1970–1999 гг. в целом удовлетворительно согласуются с результатами CRU [24]. Вместе с тем расчеты показывают, что абсолютные значения годовых интенсивностей осадков в модели превышают на $\sim (30-40)\%$ имеющиеся оценки анализа [24] для всех зон и всех месяцев. В работе установлено, что максимальные отклонения наблюдаются для весенних месяцев (март, апрель, май).
4. Первые оценки модели RegCM4 изменения климата Западной Сибири в 2010–2029 гг. в зонах анализа для сценария A1B [23] возможной эволюции глобальной климатической си-

стемы показывают, что в ближайшие два десятилетия рост декадных температур следует ожидать в январе, октябре–декабре. Максимальный рост температур прогнозируется в ноябре (от 1.0°C в зоне 1 до 1.7°C — в зоне 3), а также в декабре (0.4°C и 1.2°C для зон 1, 3). Вместе с тем в зонах анализа следует ожидать похолодание в июне, которое может составить $0.5-0.6^\circ\text{C}$, а также в феврале и апреле. Для других месяцев модель показывает различный характер изменения температур (см. табл. 4).

Главным результатом работы является вывод о возможности использования модели RegCM4 для установления характера будущих изменений климата Западной Сибири.

Благодарность. Авторы выражают особую благодарность Институту вычислительных технологий СО РАН за предоставление вычислительных мощностей для проведения расчетов с использованием региональной климатической модели RegCM4.

Библиографический список

1. IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Solomon S., Qin D., Manning M. et al. (eds). New York, 2007.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2003. — Т. 39, №2.
3. Ишполитов 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. // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. — 2008. — Т. 1, №4.
4. Мелешко В.П., Катцов В.М., Говоркова В.А. и др. Антропогенные изменения климата в XXI веке в Северной Евразии // Метеорология и гидрология. — 2004. — №7.
5. Школьник И.М., Мелешко В.П., Катцов В.М. Региональная модель ГГО для территории Сибири // Метеорология и гидрология. — 2007. — №6.
6. Dickinson R.E., Errico R.M., Giorgi F., Bates G.T. A regional climate model for the western United States // Climatic Change — 1989. — V. 15.
7. Giorgi F., Bates G.T. The climatological skill of a regional model over complex terrain // Mon. Wea. Rev. — 1989. — V. 117.
8. Giorgi F., Mearns L.O. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited // J. Geophys. Res. — 1999. — V. 104 (D6).
9. Крупчатников В.Н., Фоменко А.А. Математическое моделирование регионального климата Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 1999. — Т. 12.
10. Denis B., Laprise R., Caya D., Côté J. Downscaling ability of one-way nested regional climate models: The Big Brother Experiment // Climate Dyn. — 2002. — V. 18.
11. Wang Y., Leung L.R., McGregor J.L. et al. Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects // J. Meteor. Soc. Japan. — 2004. — V. 82.
12. Castro C.L., Pielke Sr. R.A., Leoncini G. Dynamical downscaling: Assessment of value retained and added using the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) // J. Geophys. Res. — 2005. — V. 110 (D05108).
13. Rummukainen M. State-of-the-art with regional climate models // WIREs Climate Change. — 2010. — V. 1.
14. 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. — V. 92 (Iss.9).
15. Pal J.S., Giorgi F., Xunqiang B. et al. Regional climate modeling for the developing world:

the ICTP RegCM3 and RegCNET // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 2007. — V. 88.

16. Elguindi N. et al. Regional climatic model RegCM user manual version 4.1. ITCP, Trieste, Italy, 2011. (URL: <http://eforge.escience-lab.org/gf/download/docmanfileversion/21/544/ReferenceMan4.1.pdf>).

17. Giorgi F., Elguindi N. Regional climatic model RegCM user's guide version 4.1. ITCP, Trieste, Italy, 2011. (URL: <http://eforge.escience-lab.org/gf/download/docmanfileversion/23/547/UserGuide4.1.pdf>).

18. Grell G., Dudhia J., Stauffer D. A description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5): Technical report. NCAR Tech. Note, TN-398+STR, 1994.

19. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — V. 77.

20. EH5OM global data for ICTP RegCM4 [Electronic resource]. URL: <http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM4/globedat.htm>

21. Holtslag 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.

22. Grell G. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations // Mon. Wea. Rev. — 1993. — V. 121.

23. IPCC 2000. Special report on emissions scenarios. Nakicenovic N., Davidson O., Davis G. et al. (eds). New York, 2000.

24. Mitchell T.D., Jones P.D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids // Int. J. Climatol. — 2005. — V. 25.

25. Ledus M., Laprise R. Regional climate model sensitivity domain size // Clim. Dyn. — 2009. — V. 32, No6.

26. Ledus M., Laprise R., Moretti-Poisson M. et al. Sensitivity to domain size of mid-latitude summer simulations with a regional climate model // Clim. Dyn. — 2011. — V. 37, No2.