

УДК 551.583

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В XIX – XXI ВЕКАХ

*Л.В. Шайхулмарданова, В.В. Гурьянов, Ю.П. Переведенцев*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

### Аннотация

В статье рассмотрена возможность воспроизведения приземной температуры воздуха климатическими моделями проекта СМIP5. Дана оценка возможного изменения температуры воздуха в XXI в. на территории Приволжского федерального округа (ПФО) на основе ансамбля из 35 климатических моделей. Выполненные расчеты показали, что при умеренном сценарии антропогенного воздействия RCP4.5 на климатическую систему ПФО в XXI в. ожидается рост температуры воздуха. Увеличение температуры будет происходить и зимой и летом. При этом интенсивность зимнего потепления будет выше. Представлен анализ амплитуды и фазы первой гармоники годового колебания приземной температуры воздуха.

**Ключевые слова:** изменение климата, температура воздуха, проект СМIP5, климатические модели, годовые колебания температуры воздуха

### Введение

В XXI в. проблема глобального и регионального изменения климата стала одной из актуальных проблем в связи с усиливающимся влиянием антропогенного фактора на окружающую среду. Современное состояние проблемы климатических изменений отражено в последних оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Росгидромета [1], согласно которым в связи с возрастанием в атмосфере концентрации парниковых газов происходит непрерывный рост глобальной приземной температуры. Этот процесс продолжится в XXI в.

С целью сохранения климата планеты в 2015 г. были подписаны Парижские соглашения, направленные на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу [2]. Кроме роста температуры воздуха все чаще стали возникать экстремальные природные явления, наносящие значительный ущерб экономике и здоровью населения. Международный экономический форум в Давосе (2017) среди главных угроз на первое место поставил опасные гидрометеорологические явления.

Согласно данным Университета Восточной Англии [3], в период 1861–2010 гг. глобальная температура повысилась на 1.04 °С, в регионах изменения происходят более высокими темпами, особенно в высоких и умеренных широ-

тах [4]. МГЭИК регулярно готовит доклады по мониторингу климатических изменений.

На кафедре метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского университета на протяжении многих десятилетий ведутся исследования по проблеме изменений глобального и регионального климата, включая Поволжье. Результаты исследований, выполненные с использованием данных метеонаблюдений на сети станций, опубликованы в работах [5–11]. В настоящей работе впервые рассматриваются результаты расчетов, выполненные по ансамблю климатических моделей CMIP5, применительно к ПФО. Для территории ПФО с использованием модельных методов получены оценки пространственно-временного изменения температурного режима, амплитуд и фаз годовых колебаний температуры воздуха (ТВ) на территории ПФО в XXI в. Годовые колебания ТВ были рассчитаны с помощью гармонического анализа, что позволило рассмотреть средние значения амплитудно-фазовых характеристик метеорологических параметров.

Исходными материалами послужили аномалии приземной температуры HadCRUT4 (1850–2016 гг.) с официального сайта Отдела исследования климата (CRU) Университета Восточной Англии [3] и данные моделирования климата последнего поколения ансамбля климатических моделей CMIP5 [12]. Всего использовались результаты расчетов приземной температуры воздуха для 35 климатических моделей с учетом сценария антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 [12, 13]. Следует отметить, что для прогноза изменений климата используются и другие подходы [14].

### Проект CMIP5

CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5) – это проект взаимосравнения объединенных моделей пятой фазы [15]. Как известно, проект CMIP был основан в 1995 г. с целью получения результатов по различным моделям со стандартными начальными и граничными условиями и основными параметрами, характеризующими изменения климатообразующих факторов. Этот проект использовался специалистами при подготовке докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата [15, 16].

Проект последнего поколения CMIP5 существенно улучшился по сравнению с предыдущими. Главным образом улучшилось качество моделей за счет использования более надежной физической параметризации и полноты описания климатообразующих факторов. Проект позволяет проводить расчеты за прошлый период (1861–2005 гг.), а также прогностические расчеты будущего климата с 2006 г. до конца XXI в. с учетом разных сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему. Всего в проекте участвовало более пяти десятков моделей, разработанных в разных исследовательских центрах мира [13, 15].

При прогнозе будущего изменения климата антропогенное воздействие на него учитывается в соответствии с принятыми сценариями RCP 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 (Representative concentration pathways – репрезентативные траектории концентраций), которые характеризуют величину антропогенного воздействия на климатическую систему до конца века [12, 15].

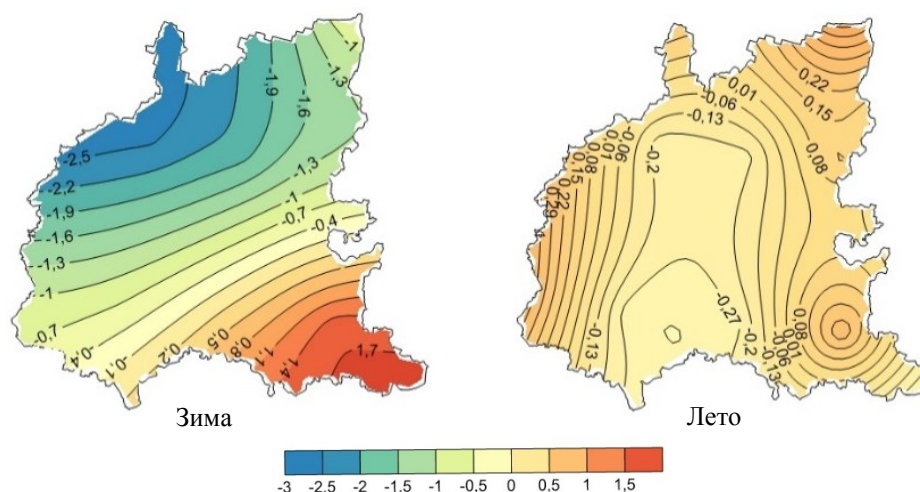


Рис. 1. Отклонения на территории ПФО среднеансамблевых значений температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) от данных наблюдений CRU за период 1981–2000 гг.

В настоящей работе использовалось 35 климатических моделей проекта CMIP5 с учетом более умеренного сценария RCP4.5.

#### Оценка качества климатических моделей

Для оценки качества ансамблевых расчетов модельные значения сравнивались с инструментальными наблюдениями. Оценка адекватности климатических моделей проводилась по отношению к базовому периоду 1981–2000 гг., представленному данными CRU [17].

Результаты показывают, что в зимний период в среднем по территории ПФО модели занижают температуру воздуха на  $-0.7^{\circ}\text{C}$  и имеют большой межмодельный разброс  $\pm 3.1^{\circ}\text{C}$ . Летний период, наоборот, характеризуется положительными отклонениями, которые в среднем составляют  $0.6^{\circ}\text{C}$  (межмодельный разброс  $\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ ).

Распределение отклонений среднеансамблевых значений от данных наблюдений за период 1981–2000 гг. по территории ПФО представлено на рис. 1. Из рисунка видно, что в зимний период климатические модели сильно завышают температуру воздуха на юго-востоке региона (Оренбургская область), где отклонение от данных наблюдений составляет  $1.8^{\circ}\text{C}$ . На северо-западе территории (Кировская и Нижегородская области) зимой модели, наоборот, занижают температуру воздуха, отклонения достигают до  $-2.6^{\circ}\text{C}$ . Как известно, в зимний период температурное поле формируется в основном под влиянием циркуляционного фактора и рельефа местности, что, по-видимому, недостаточно хорошо учитывается в моделях.

Летом поле отклонений температуры более однородно. Положительные отклонения от фактической температуры наблюдаются на востоке (Пермский край и Башкортостан) и западе (от Нижегородской до Саратовской области) территории ПФО. В восточной части региона «эффект» положительного отклонения, по-видимому, обусловлен Уральскими горами, то есть, как было ранее отмечено, модели неполно описывают местные особенности [6].

Табл. 1

Сезонные коэффициенты линейного тренда температуры воздуха по периодам для сценария RCP4.5

	Период	Зима		Лето	
		$a$	$R^2$	$a$	$R^2$
Тренды фактической температуры	1861–1909	–0.34	0.03	–0.14	0.02
	1910–1940	0.53	0.06	–0.05	0.01
	1941–1975	–0.49	0.03	–0.16	0.03
	1976–2010	0.68	0.14	0.38	0.16
Тренды среднеансамблевой температуры	1861–1909	–0.04	0.01	–0.07	0.17
	1910–1940	0.05	0.02	–0.07	0.14
	1941–1975	–0.14	0.17	–0.08	0.16
	1976–2010	0.50	0.63	0.41	0.79
	2011–2030	0.62	0.42	0.38	0.71
	2041–2060	0.34	0.23	0.27	0.53
	2080–2099	0.00	0.00	0.05	0.13

Примечание:  $a$  – коэффициент линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет),  $R^2$  – коэффициент детерминации.

### Тренды и пространственное распределение температуры воздуха

Рассмотрим данные о коэффициенте наклона линейного тренда (КНЛТ) фактической и среднеансамблевой температуры воздуха в историческом периоде (1861–2010 гг.).

Оценка изменений температуры воздуха проводилась с использованием линейного тренд-анализа [18]:

$$y(x) = ax + b,$$

где  $y(x)$  – сглаженное значение температуры воздуха на определенный момент времени,  $a$  – угловой коэффициент наклона линейного тренда, характеризующий скорость изменения температуры,  $b$  – свободный член, начальное значение линии тренда.

Результаты расчетов представлены в табл. 1. Значения КНЛТ показывают, что с 1941 по 1975 г. зимой ( $a = -0.49^{\circ}\text{C}/10$  лет) и летом ( $a = -0.16^{\circ}\text{C}/10$  лет) прослеживается тенденция понижения температуры на территории ПФО. Однако начиная с середины 70-х годов наблюдается значительный рост температуры воздуха, что следует из расчетов. Положительная тенденция температуры сильнее выражена в зимний период ( $0.68^{\circ}\text{C}/10$  лет), чем летний ( $0.38^{\circ}\text{C}/10$  лет). Эти периоды потепления и похолодания, наблюдавшиеся в XX – начале XXI в. и выявленные по фактическим данным, согласуются с результатами расчетов климатических моделей, хотя по величине несколько отличаются. Следовательно, с высокой степенью достоверности можно сказать, что климатические модели проекта CMIP5 могут быть использованы при оценке будущих изменений климата в XXI в.

Оценка будущих изменений температуры воздуха проводилась для периодов 2011–2030 гг., 2041–2060 гг. и 2080–2099 гг. (табл. 1). Согласно полученным результатам, в начале XXI столетия во всех сезонах ожидается заметный рост температуры, с максимальным значением КНЛТ в зимний период  $0.62^{\circ}\text{C}/10$  лет. В конце столетия рост температуры практически прекратится.

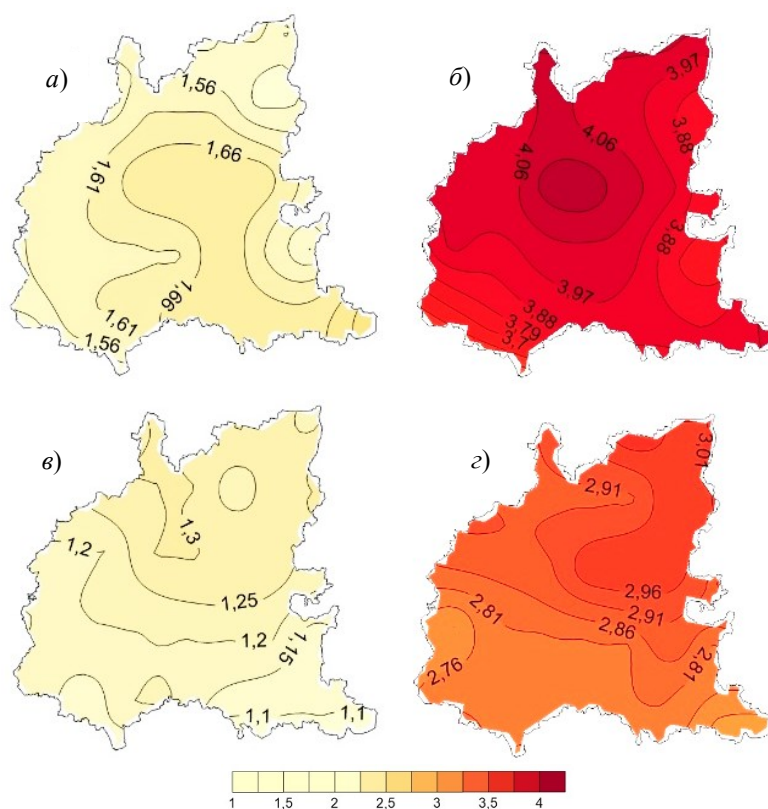


Рис. 2. Распределение аномалий средней сезонной температуры приземного воздуха (°C) в период 2011–2030 и 2080–2099 гг. зимой (а, б) и летом (в, г) по оценкам ансамбля 35 моделей СМIP5 для сценария RCP4.5

Проанализируем пространственное распределение аномалий температуры воздуха в зимний и летний периоды, полученные с использованием 35 моделей проекта СМIP5. Аномалии были рассчитаны как отклонения среднеансамблевых значений за периоды 2011–2030 гг. и 2080–2099 гг. от средних значений, рассчитанных для 1981–2000 гг.

Из рис. 2 видно, что в начале XXI в. зимой и летом аномалии температуры воздуха имеют практически одинаковые значения по всей территории ПФО. В зимний период величина аномалий меняется от 1.5 °C на севере (Пермский край) до 1.7 °C в центральной (Татарстан) и на юго-восточной части региона (Оренбургская область), а летом – от 1.1 °C (Оренбургская область) до 1.3 °C (Кировская область).

В конце XXI в. (2080–2099 гг.) заметное повышение температуры воздуха ожидается зимой и летом, что в 2.3–2.5 раз больше, чем в современный период (2011–2030 гг.). Зимний период характеризуется более высокими значениями аномалии температуры, особенно в северных и центральных областях региона. Величина аномалии по территории меняется в пределах от 3.6 °C до 4.2 °C. В летний период рост температуры менее выражен, чем зимой. Заметное изменение температуры происходит на северо-востоке (Пермский край – +3.0 °C) и менее выражено на юго-востоке (Саратовская область – +2.7 °C) региона.

### Амплитуды и фазы годовых колебаний температуры воздуха

При работе с климатическими моделями большое внимание уделяется способностям воспроизведения ими тех или иных крупномасштабных процессов в системе общей циркуляции атмосферы. В настоящей работе наряду с исследованием тенденций изменения температуры воздуха решалась задача оценки адекватности воспроизведения климатическими моделями годового хода температуры воздуха на территории ПФО. С этой целью для определения амплитуды и фазы годового хода был применен гармонический анализ [18]. С его помощью рассчитывались амплитуды и фазы первой гармоники годового колебания температуры с использованием средних месячных температур воздуха для моделей INMCM4, CESM1-CAM5 и HadGEM2-AO за периоды 2011–2030 гг. и 2080–2099 гг.

Результаты расчетов представлены на рис. 3 и 4. Из рис. 3 видно, что амплитуда годовых колебаний распределяется по территории ПФО неравномерно: её минимальные значения отмечаются на западе, а максимальные – на востоке. При этом величина амплитуды в целом по ПФО уменьшается на 0.4–0.8 °C от более раннего периода 2011–2030 гг. к более позднему 2080–2099 гг. Такая тенденция может быть обусловлена более активным ростом зимних температур по сравнению с летними. Само же широтно-долготное распределение амплитуды объясняется континентальностью климата региона, степенью удаленности его территории от Атлантического океана.

Далее рассмотрим распределение фазы первой гармоники, которая соответствует моменту наступления максимума температуры воздуха в годовом цикле. Как следует из данных рис. 4, в современном периоде (2011–2030 гг.) время наступления максимума температуры приходится на конец июня и начало июля и неравномерно распределено по территории.

Раньше всего температура воздуха достигает летних максимумов на западе (Нижегородская и Саратовская области) и в центральной части региона (юг Пермского края и Удмуртия). А самые поздние сроки отмечаются на юге и юго-востоке ПФО (Оренбургская область), а также на севере Пермского края. Указанное запаздывание составляет около двух суток.

Согласно расчетам (рис. 4, б) во второй половине XXI в. ожидается более раннее время наступления максимума температуры в среднем на 2–3 сут в целом на всей территории ПФО. Как выше было отмечено, такую тенденцию можно объяснить ростом сезонных температур воздуха.

### Заключение

На основе вышеизложенного можно заключить следующее.

1. Оценена возможность ансамбля климатических моделей проекта CMIP5 воспроизводить температуру воздуха на территории ПФО. Сравнение с данными наблюдений показало, что температура воспроизводится небольшой погрешностью, величина которой меняется в пределах от –0.7 °C (зима) до 0.6 °C (лето).

2. Выявлено, что при умеренном сценарии RCP4.5 рост температуры воздуха будет происходить до середины XXI в. Из результатов расчетов следует,

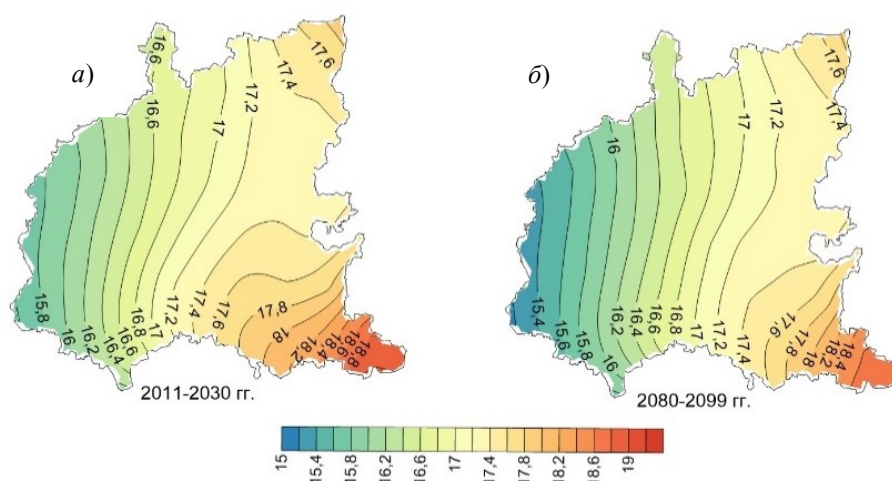


Рис. 3. Распределение по территории ПФО амплитуды первой гармоники (°C) температуры приземного воздуха в периоды: а) 2011–2030 гг., б) 2080–2099 гг. по оценкам ансамбля из трех моделей СМIP5 для сценария RCP4.5

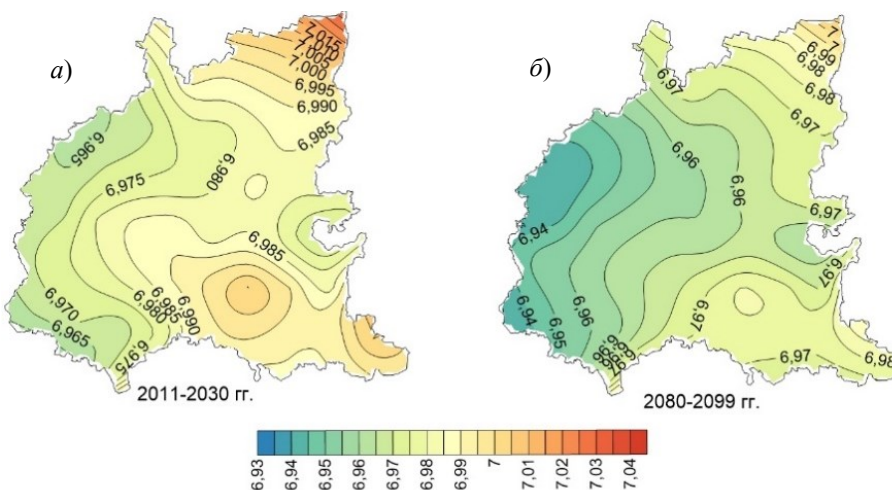


Рис. 4. Распределение по территории ПФО фазы первой гармоники (мес.) температуры приземного воздуха в периоды: а) 2011–2030 гг., б) 2080–2099 гг. по оценкам ансамбля из трех моделей СМIP5 для сценария RCP4.5

что потепление климата в регионе происходит за счет смягчения температурного режима в холодный период. При этом в период 2011–2030 гг. зимой величина КНЛТ составляет  $0.62\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ , а летом –  $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ .

3. Установлено, что для пространственного распределения амплитуды годовой гармоники температуры характерно её меридиональное распределение с минимальными значениями на западе и максимальными на востоке, что свидетельствует об усилении континентальности климата по мере удаления от Атлантического океана.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-05-00721 и 18-45-160006).

#### Литература

1. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – URL: <https://www.ipcc.ch/>, свободный.
2. The Paris Agreement. – URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>, свободный.
3. University of East Anglia. Climatic Research Unit. – URL: <http://www.cru.uea.ac.uk>, свободный.
4. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский-Малевиц С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Хон В.Ч. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 38–49.
5. Переведенцев Ю.П., Важнова Н.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Шарипова Р.Б. Изменения климата Приволжского федерального округа в последние десятилетия // Журн. экологии и промышл. безопасности. – 2012. – № 2. – С. 4–10.
6. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р., Шайхулмарданова Л.В. Изменения основных климатических показателей в тропо-стратосфере Северного полушария // Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: Тез. докл. рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: ООО «Офсет центр», 2017. – С. 80–82.
7. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р., Шайхулмарданова Л.В. Климатические изменения в земной атмосфере в XIX–XXI столетиях // Современная экология: образование, наука, практика: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Науч. кн., 2017. – Т. 1. – С. 364–368.
8. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Мониторинг современных изменений климата Земли // «Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы»: Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Казань: АН РТ, 2017. – С. 101–114.
9. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Неоднородность изменения температурного режима земли в XIX–XXI столетиях // Географ. вестн. – 2011. – № 3. – С. 46–58.
10. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 5–12.
11. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского Федерального округа. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 272 с.
12. Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. A Summary of the CMIP5 Experiment Design. – 2009. – URL: [https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/experiment\\_design.html](https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/experiment_design.html), свободный.
13. KNMI Climate Explorer. – URL: <https://climexp.knmi.nl>, свободный.
14. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 246 с.
15. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 59 с.



16. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.
17. Школьник И.М., Мелешко В.П., Кароль И.Л., Киселев А.А., Надежина Е.Д., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Ожидаемые изменения климата на территории Российской Федерации в XXI веке // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2014. – Вып. 575. – С. 65–118.
18. Пановский Г.А., Браер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 209 с.

Поступила в редакцию  
21.05.18

---

**Шайхулмарданова Ляйсина Васимовна**, аспирант кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [lyaisina.21@mail.ru](mailto:lyaisina.21@mail.ru)

**Гурьянов Владимир Владимирович**, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [Vladimir.Guryanov@kpfu.ru](mailto:Vladimir.Guryanov@kpfu.ru)

**Переведенцев Юрий Петрович**, доктор географических наук, заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru](mailto:Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru)

---

ISSN 2542-064X (Print)  
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2018, vol. 160, no. 3, pp. 531–541

---

### Changes in the Climate Conditions of the Volga Federal District during the 19th – 21st Centuries

*L.V. Shaikhulmardanova* \*, *V.V. Guryanov* \*\*, *Yu.P. Perevedentsev* \*\*\*

*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

E-mail: \*[lyaisina.21@mail.ru](mailto:lyaisina.21@mail.ru), \*\*[Vladimir.Guryanov@kpfu.ru](mailto:Vladimir.Guryanov@kpfu.ru), \*\*\*[Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru](mailto:Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru)

Received May 21, 2018

#### Abstract

The possibility to reproduce the surface air temperature using the climatic models of the CMIP5 projects has been discussed. Potential changes in the air temperature of the Volga Federal District (VFD) for the 21st century have been assessed based on an ensemble of 35 climatic models. The results of the calculations have demonstrated that the air temperature is expected to increase if the scenario of moderate anthropogenic impact (RCP4.5) on the VFD climatic system in the 21st century holds true. The air temperature growth is likely to increase during the winter and summer periods. In this case,

the intensity of winter warming will be higher. The analysis of the amplitude and phase first harmonic of the annual fluctuations in the surface air temperature has been performed.

**Keywords:** climate changes, air temperature, CMIP5 project, climatic models, annual fluctuations in air temperatures

**Acknowledgments.** The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University and supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects nos. 18-05-00721 and 18-45-160006).

#### Figure Captions

Fig. 1. Deviations of the average ensemble values of air temperature (°C) from the data of CRU observations in the VFD territory during the period of 1981–2000.

Fig. 2. Distribution of the anomalies of average air surface seasonal temperature (°C) in 2011–2030 and 2080–2099 during the winter (*a, b*) and summer (*c, d*) periods based on the assessments of the ensemble of 35 CMIP5 models for the RCP4.5 scenario.

Fig. 3. Distribution of the first harmonic amplitude (°C) of average air surface seasonal temperature along the VFD territory during the following periods: *a*) 2011–2030, *b*) 2080–2099 based on the assessments of the ensemble of three CMIP5 models for the RCP4.5 scenario.

Fig. 4. Distribution of the first harmonic phase (month) of surface air temperature along the VFD territory during the following periods: *a*) 2011–2030, *b*) 2080–2099 based on the assessments of the ensemble of three CMIP5 models for the RCP4.5 scenario.

#### References

1. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Available at: <https://www.ipcc.ch/>.
2. The Paris Agreement. Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.
3. University of East Anglia. Climatic Research Unit. Available at: <http://www.cru.uea.ac.uk>.
4. Meleshko V.P., Govorkova V.A., Kattsov V.M., Malevskii-Malevich S.P., Nadezhina E.D., Sporyshev P.V., Golitsyn G.S., Demchenko P.F., Eliseev A.V., Mokhov I.I., Semenov V.A., Khon V.Ch. Anthropogenic climate change in Russia in the 21st century: An ensemble of climate model projections. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2005, no. 4, pp. 22–30.
5. Perevedentsev Yu.P., Vazhnova N.A., Naumov E.P., Shantalinsky K.M., Sharipova R.B. Climate change in the Volga Federal District during recent decades. *Zh. Ekol. Prom. Bezop.*, 2012, no. 2, pp. 4–10. (In Russian)
6. Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Guryanov V.V., Aukhadeev T.R., Shaikhulmardanova L.V. Changes in the major climatic characteristics in the tropo- and stratosphere of the Northern Hemisphere. *Dvenadtsatoe Sibirskoe soveshchanie i shkola molodykh uchenykh po klimato-ekologicheskomu monitoringu. Tez. dokl. ros. konf.* [The 12th Siberian Conference and International School for Young Scientists on Climate and Ecological Monitoring: Proc. Russ. Conf.]. Kabanov M.V. (Ed.). Tomsk, Ofset Tsentr, 2017, pp. 80–82. (In Russian)
7. Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Guryanov V.V., Aukhadeev T.R., Shaikhulmardanova L.V. Climatic changes in the Earth's atmosphere in the 19th – 21st centuries. *Sovremennaya ekologiya: obrazovanie, nauka, praktika: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern Ecology: Education, Science, and Practice: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf.]. Vol. 1. Voronezh, Nauch. Kn., 2017, pp. 364–368. (In Russian)
8. Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M. Monitoring of current changes in the Earth's climate. In: *"Ustoichivoe razvitie regionov: opyt, problemy, perspektivy": Sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* ["Sustainable Development of Regions: Experience, Problems, and Prospects": Proc. Int. Sci.-Pract. Conf.]. Kazan, Akad. Nauk RT, 2017, pp. 101–114. (In Russian)
9. Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M. Heterogeneity of changes in the temperature regime of the Earth during the 19th – 21st centuries. *Geogr. Vestn.*, 2011, no. 3, pp. 46–58. (In Russian)
10. Perevedentsev Yu.P., Gogol' F.V., Naumov E.P., Shantalinsky K.M. Global and regional climate changes at the turn of the 20th and 21st centuries. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser. Geogr. Geoekol.*, 2007, no. 2, pp. 5–12. (In Russian)

11. Perevedentsev Yu.P., Sokolov V.V., Naumov E.P. *Klimat i okruzhayushchaya sreda Privolzhskogo Federal'nogo okruga* [Climate and Environment in Volga Federal District]. Kazan, Kazan. Univ., 2013. 272 p. (In Russian)
12. Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. A Summary of the CMIP5 Experiment Design. 2009. Available at: [https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/experiment\\_design.html](https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/experiment_design.html).
13. KNMI Climate Explorer. Available at: <https://climexp.knmi.nl>.
14. Sherstyukov B.G. *Regional'nye i sezonnye zakonomernosti izmenenii sovremennogo klimata* [Regional and Seasonal Patterns of Changes in Current Climate]. Obninsk, GU VNIIGMI-MTsD, 2008. 246 p. (In Russian)
15. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume* [The Second Assessment Report on Climate Changes and Their Consequences in the Territory of the Russian Federation. General Summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014. 59 p. (In Russian)
16. *Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [The Assessment Report on Climate Changes and Their Consequences in the Territory of the Russian Federation]. Vol. 1: Climate Changes. Moscow, Rosgidromet, 2008. 227 p. (In Russian)
17. Shkol'nik I.M., Meleshko V.P., Karol' I.L., Kiselev A.A., Nadezhina E.D., Govorkova V.A., Pavlova T.V. Expected climate change in the territory of the Russian Federation during the 21st century. *Tr. Gl. Geofiz. Obs. im. A.I. Voeikova*, 2014, no. 575, pp. 65–118. (In Russian)
18. Panovskii G.A., Braer G.V. *Statisticheskie metody v meteorologii* [Statistical Methods in Meteorology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972. 209 p. (In Russian)

*Для цитирования:* Шайхулмарданова Л.В., Гурьянов В.В., Переведенцев Ю.П. Изменение климатических условий на территории Приволжского федерального округа в XIX – XXI веках // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 3. – С. 531–541.

*For citation:* Shaikhulmardanova L.V., Guryanov V.V., Perevedentsev Yu.P. Changes in the climate conditions of the Volga Federal District during the 19th – 21st centuries. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 3, pp. 531–541. (In Russian)