

УДК 551.582;551.583

Канд. техн. наук

Канд. физ.-мат. наук

Канд. географ. наук

Доктор PhD

Доктор PhD

Н.Р. Юничева¹Д.Б. Нурсеитов²И.Б. Есеркепова¹К.А. Бостанбеков²А.Н. Алимова²

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДПРОЦЕССИНГОВОЙ ОБРАБОТКИ
ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕРВОГО ПРИОРИТЕТНОГО ПЕРИОДА
ПРОГРАММЫ CORDEX**

Ключевые слова: климат, изменение климата, парниковые газы, климатические модели, автоматизация

В работе представлен созданный архив данных, полученных при реализации ГКМ (глобальные климатические модели) из списка проекта ПССМ5, одним из преимуществ которого является включение в его программу серии специальных экспериментов по моделированию, основанных на заданных потоках радиационной концентрации (ПРК). Созданный архив необходим для проведения исследований, для улучшения знаний об изменении климата Земли в рамках международного проекта «Эксперимент по скоординированному региональному даунскейлингу климата (CORDEX)», в котором РКМ сопряжены с несколькими ГКМ из списка ПССМ5.

Введение. Необходимость исследований изменчивости и изменения климата обусловлена зависимостью от них многих жизненных показателей человечества, таких, например, как здоровье, безопасность жизнедеятельности, благополучие. Во всем мире был создан ряд программ и проектов, отвечающих за реализацию этих исследований. Осознавая растущую озабоченность в связи с опасностью необратимых изменений, происходящих в природной среде, Всемирная метеорологическая

¹ Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, Казахстан

² Казахский Национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

организация (ВМО) взяла на себя ведущую роль в проведении исследований изменений климатической системы и ее влияния на человечество, мировую энергетику и производство продовольствия, а также запасы воды [1]. Все работы в области климата основаны, в первую очередь, на наблюдениях за, так называемыми, климатическими индикаторами, выбор которых зависит от различных факторов. Сбор данных наблюдений является процессом со своими особенностями и сложностями, связанными, например, с мощностью и локацией оборудования, экономическими затратами и т.д. Но не менее важную часть исследования составляют непрерывная обработка и архивация этих данных, которые являются исходными или входными для климатических моделей. Последние широко используются для исследований изменений климата под воздействием антропогенных и природных факторов. Глобальные климатические модели (ГКМ) предназначены в основном для представления климатических процессов в глобальном масштабе и используются при составлении климатических сценариев. Климатический сценарий описывает вероятный будущий климат, смоделированный для изучения возможных последствий изменения климата в результате деятельности человека, но он также должен отображать будущие условия, которые объясняются природной изменчивостью климата. Доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) являются соответствующим источником информации о будущих климатических сценариях во временных масштабах от нескольких десятилетий до столетия [1]. ГКМ обеспечивают необходимые способы изучения изменчивости и изменения климата в прошлом, настоящем и будущем.

В результате пятого этапа Проекта сравнений связанных моделей (ПССМ5), утвержденные ГКМ рассматриваются в качестве целесообразного средства для обеспечения полезных проекций будущего климата. А именно, Пятый оценочный доклад МГЭИК (ОД5) содержит проекции, основанные на ряде возможных значений радиационного вынуждающего воздействия в 2100 году по отношению к доиндустриальным значениям (+2,6; +4,5; +6,0 и +8,5 Вт/м²) [5]. Эти потоки называются потоками радиационной концентрации (ПРК 2.6, 4.5, 6 и 8.5). Использование ПРК как входных данных в модели климата является новейшим подходом к получению описаний возможных перспективных оценок будущего климата. Так как ГКМ не могут

обеспечивать напрямую информацию для масштабов, которые меньше, чем их собственное разрешение, то были разработаны региональные климатические модели (РКМ), имеющие более высокое разрешение для ограниченного пространства. Поскольку РКМ управляются, главным образом, ГKM, надлежащее функционирование ГKM имеет первостепенную важность для моделирования в меньшем масштабе.

Создание архива данных ГKM из списка ПССM5. В работе описывается создание архива данных, полученных при реализации ГKM из списка проекта ПССM5, одним из преимуществ которого является включение в его программу серии специальных экспериментов по моделированию, основанных на заданных потоках радиационной концентрации (ПРК). Созданный архив необходим для проведения исследований для улучшения знаний об изменении климата Земли в рамках международного проекта «Эксперимент по скоординированному региональному даунскейлингу климата (CORDEX)», в котором РКМ сопряжены с несколькими ГKM из списка ПССM5.

Использование стандартного набора симуляций моделей в ПССM5 позволяет оценить их реалистичность при моделировании недалекого прошлого, а также предоставить прогнозы будущего изменения климата в двух временных масштабах: ближайшем (до 2035 года) и долгосрочном (до 2100 года и далее). Более того, ПССM5 поддерживает стандартный набор симуляций моделей и для того, чтобы обозначить некоторые факторы, ответственные за различия в модельных проекциях, включая количественную оценку некоторых ключевых обратных связей, которые связаны с облаками и углеродным циклом.

На четвертом этапе оценок Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК4) рассматривались сценарии выбросов парниковых газов. На пятом этапе (МГЭИК5) предлагается использование заданных (исходных) потоков радиационной концентрации (ПРК). В качестве источника данных выступают различные уровни стабилизации радиационного воздействия до 2100 г. Заметим, что предложенные исходные ПРК не обеспечивают полную интегрированность сценариев проекта ПССM5. Тем не менее они позволяют исследовать актуальные вопросы социально-экономического, климатического и экологического будущего: моделирование климата, масштабирование моделей и химическое моделирование атмосферы.

Как известно [5], независимые группы разработали четыре различных способа моделирования климата: ПРК 2.5, ПРК 4.5, ПРК 6 и ПРК 8.5, которые соответствуют сценариям с соответствующими уровнями стабилизации 2.5, 4.5, 6.0 и 8.5 ppm, приведенными на рисунке 1. Наивысший приоритет согласно ПССМ5 имеют уровни ПРК 4.5 и ПРК 8.5.

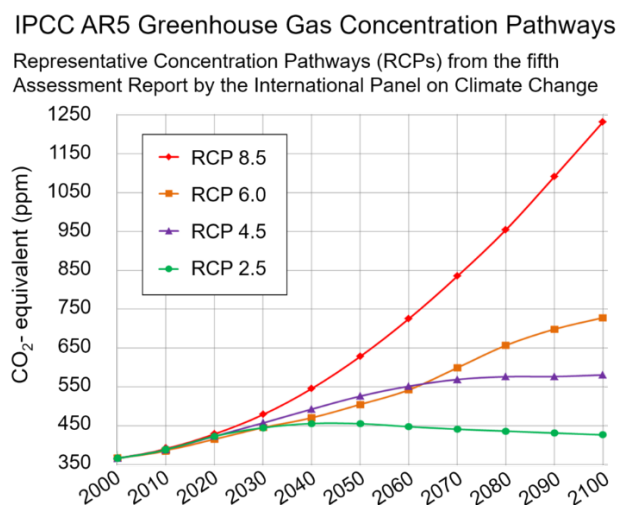


Рис. 1. Траектория концентрации парниковых газов Пятого оценочного доклада МГЭИК [3].

Глобальная служба предоставляет индикаторы воздействия на климат (СИ) с пространственным и временным разрешением, отличным от современной производственной цепочки, начиная с результатов ГКМ, за которыми следуют масштабирование и корректировка смещения, до воздействия на моделирование и расчетов индикаторов. В течение 2017 года ВМО совместно с партнерскими организациями, включая организации, участвующие в Глобальной системе наблюдения за климатом (ГСНК) и Всемирной программе исследования климата (ВПИК), приступила к подготовке окончательного списка «ключевых» индикаторов, позволяющих отследить изменения в системе физического климата. Для отражения глобального изменения климата мировым научным сообществом были выделены следующие «ключевые» индикаторы: глобальная среднегодовая приземная температура, содержание тепла в океане, концентрация двуокиси углерода в атмосфере, глобальный средний уровень моря, изменения протяженности или массы криосферы, глобальные осадки [2].

Первоначальным источником данных глобальной климатической модели является проект сравнения климатических моделей (ПССМ5) МГЭИК, использующий 19 моделей общей циркуляции с разрешением 2 градуса (табл. 1), которые доступны в хранилище климатических данных C3S [3].

Таблица 1

Глобальные климатические модели, используемые для получения индикаторов воздействия на климат

Институт	Наименование ГKM	Сценарий	Разрешение:	
			широта	долгота
CSIRO-BOM	ACCESS1-0	historical, rcp45, rcp85	1,25	1,875
CSIRO-BOM	ACCESS1-3	historical, rcp45, rcp85	1,25	1,875
BNU	BNU-ESM	historical, rcp45, rcp85	2,7906	2,8125
IPSL	IPSL-CM5A-MR	historical, rcp45, rcp85	1,2676	2,5
IPSL	IPSL-CM5A-LR	historical, rcp45, rcp85	1,8947	3,75
IPSL	IPSL-CM5B-LR	historical, rcp45, rcp85	1,8947	3,75
MPI-M	MPI-ESM-MR	historical, rcp45, rcp85	1,8653	1,875
MPI-M	MPI-ESM-LR	historical, rcp45, rcp85	1,8653	1,875
MOHC	HadGEM2-ES	historical, rcp45, rcp85	1,25	1,875
MOHC	HadGEM2-CC	historical, rcp45, rcp85	1,25	1,875
NCC	NorESM1-M	historical, rcp45, rcp85	1,8947	2,5
NOAA-GFDL	GFDL-ESM2G	historical, rcp45, rcp85	2,0225	2,5
GFDL-ESM2M	GFDL-ESM2M	historical, rcp45, rcp85	2,0225	2,5
NOAA-GFDL	GFDL-CM3	historical, rcp45, rcp85	2	2,5
CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	historical, rcp45, rcp85	1,4008	1,40625
INM	INM-CM4	historical, rcp45, rcp85	1,5	2
BCC	BCC-CSM1.1	historical, rcp45, rcp85	2,7906	2,8125
BCC	BCC-CSM1.1(m)	historical, rcp45, rcp85	2,7906	2,8125
ICHEC	EC-EARTH	historical, rcp45, rcp85	1,1215	1,1215

В оптимальном случае, все региональные модельные эксперименты CORDEX должны охватывать период 1951...2100 гг. для того, чтобы включить последний исторический период и весь XXI век. Для многих исследовательских групп расчеты при моделировании CORDEX для всего вышеуказанного периода могут оказаться слишком трудоемкими. Поэтому целесообразно разделить период 1951...2100 гг. на пять 30-летних временных отрезков, причем порядок приоритетности, следующий: 1981...2010 гг., 2041...2070 гг., 2011...2040 гг., 2071...2100 гг. и 1951...1980 гг. Первый период (1981...2010 гг.) является исходным для оценки модели и расчета изменения климата. Второй временной отрезок, охватывающий будущий период, был выбран как компромисс между потребностями сообщества, с точки зрения будущего периода времени, и

потребностями в получении четкого сигнала изменения. Все участвующие группы должны, как минимум, выполнить расчеты для этих двух временных отрезков, чтобы иметь приемлемый ряд модельных экспериментов для анализа и взаимного сравнения.

Ключевым аспектом программы CORDEX является наличие высокопроизводительных вычислительных средств и управление большим количеством требуемых входных данных моделей, а также выходная продукция моделей и взаимное сравнения. Результаты моделирования необходимо хранить так, чтобы они были легко доступными для конечных пользователей. Также требуется стандартизация форматов (в соответствии с нормативами формата ПССМ5).

Заключение. Таким образом в нашем исследовании сформирован архив данных из 19 глобальных моделей климата (ПССМ5), указанных в таблице 1, по трем сценариям: историческому, ПРК 4.5 и ПРК 8.5. В качестве источника для скачивания данных выбран домен «Центральная Азия», имеющий официальное обозначение CORDEX. Для проведения эксперимента используются три индикатора: минимальная температура, максимальная температура и осадки. Сервис для скачивания предоставляет ежесуточные данные по указанным параметрам для следующих периодов: исторические с 1950 по 2005 гг., ПРК 4.5 и ПРК 8.5 с 2006 по 2100 гг. На рисунках 2...3 представлены изменения средней температуры, являющийся основным индикатором воздействия на климат, по сценариям ПРК 4.5 и ПРК 8.5 для периода 2071...2100 гг. с пространственным разрешением 2 градуса из ансамбля глобальных моделей климата. Как видно из данных на рисунках, для Центральной Азии повышение температуры наблюдается от 2 °С до 4 °С по сценарию ПРК 4.5, и от 4 °С до 7 °С по сценарию ПРК 8.5. Наибольшие изменения температуры прогнозируются на территории Арктики.

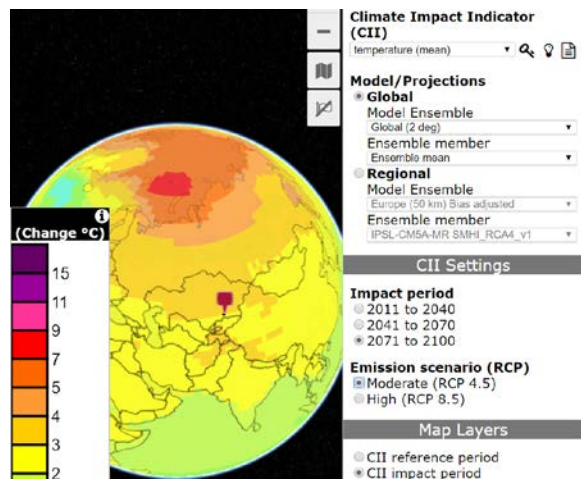


Рис. 2. Индикатор воздействия на климат (CII). Средняя температура по сценарию RCP 4.5 для периода 2071...2100 гг.

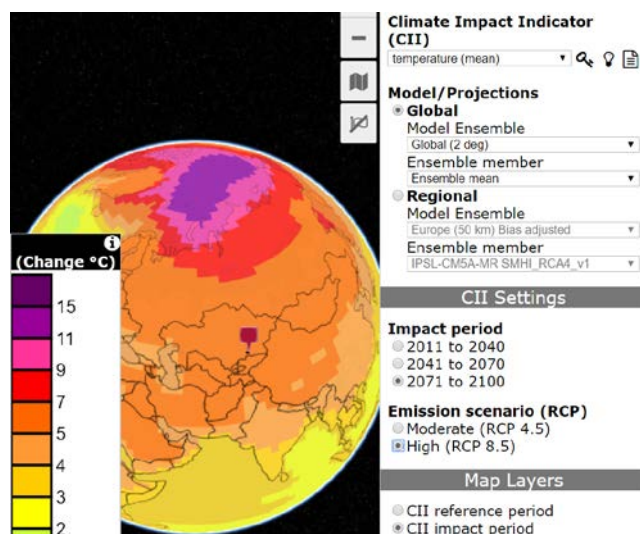


Рис. 3. Индикатор воздействия на климат (CII). Средняя температура по сценарию RCP 8.5 для периода 2071...2100 гг.

Для дальнейшего сравнения и анализа данных с результатами расчета, полученные данные были усреднены по месяцам с помощью разработанного членами исследовательской группы скрипта, написанного на языке Python. В результате был сформирован архив данных глобальных моделей климата из списка ПССМ5 для использования в исследовании в рамках проекта CORDEX для первого приоритетного периода.

Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования научных проектов КН МОН РК №АР05135848 «Моделирование будущего климата Центральной Азии в рамках международного проекта CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по климатологической практике. – Изд. ВМО-№100, 2018 г. – С. 182.
2. Climate Change 2013: The Physical Science Basis [Электронный ресурс] / Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)] – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013 –. – Режим доступа: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf
3. Climate Now by Copernicus / Climate Change Service – 20192013 – [Электрон. ресурс]: <https://climate.copernicus.eu/>
4. File:All forcing agents CO2 equivalent concentration.png [Электронный ресурс] / From Wikipedia, the free encyclopedia – 2011 –. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:All_forcing_agents_CO2_equivalent_concentration.png
5. Williams M., Eggleston S. Using indicators to explain our changing climate to policymakers and the public. – World Meteorological Organization Bulletin. – 2017. – № 66 (2). – P. 33-39.

Поступила 04.06.2020

Канд. техн. наук	Н.Р. Юничева
Канд. физ.-мат. наук	Д.Б. Нурсеитов
Канд. географ. наук	И.Б. Есеркепова
Доктор PhD	К.А. Бостанбеков
Доктор PhD	А.Н. Алимова

**CORDEX БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ БІРІНШІ ПРИОРИТЕТТІК
АРАЛЫҒЫ ҮШІН АЙМАҚТЫҚ КЛИМАТТЫҚ МОДЕЛЬДЕРДЕ
ЕСЕПТЕУГЕ ЖАҒАНДЫҚ КЛИМАТТЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІҢ
МӘЛІМЕТТЕРІН ӨНДЕУДІ АВТОМАТТАНДЫРУ**

Түйінді сөздер: климат, климаттың өзгеруі, көшеттік газдар, климаттық моделдер, автоматтандыру

Аңдатпа. Бұл жұмыста CMIP5 жобалық тізімінен ЖКМ (жаһандық климаттық модельдер) іске асыру кезінде алынған мәліметтерден құрылған мұрағат ұсынылған, оның артықшылықтарының бірі берілген бағдарламаларға радиациялық концентрация ағындарының (RCP) негізінде арнайы модельдеу эксперименттерінің сериясына ену болып табылады. Құрылған мұрағат АКМ (аймақтық климаттық модельдер) CMIP5 тізіміндегі бірнеше ЖКМ-мен байланыстырылған «Климатты келісілген аймақтық даунскейлинг жасау бойынша эксперимент (CORDEX)» халықаралық жобасының аясында Жердің климатының өзгеруі туралы білімді жақсарту үшін қажет.

N.R. Yunicheva, D.B. Nurseitov, I.B. Yesserkepova, K.A.
Bostanbekov, A.N. Alimova

AUTOMATION OF PRE-PROCESSING DATA OF GLOBAL CLIMATE MODELS FOR THE CALCULATION OF REGIONAL CLIMATE MODELS FOR THE FIRST PRIORITY PERIOD OF THE CORDEX PROGRAM

Keywords: climate, climate change, greenhouse gases, climate models, automation

The paper presents the created archive of data obtained during the implementation of GCM (global climate models) from the CMIP5 project list, one of the advantages of which is the inclusion in its program of a series of special modeling experiments based on given radiation concentration fluxes (RCP). The created archive is necessary for research to improve knowledge of Earth's climate change within the framework of the international project "Experiment on Coordinated Regional Downscaling of the Climate (CORDEX)", in which RCMs are coupled with several GCMs from the CMIP5 list.