

УДК 911.52 (575.2) (04)

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ БУДУЩЕГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В КЫРГЫЗСТАНЕ

*Г.А. Десятков* – докт. физ.-мат. наук, профессор,  
*О.Н. Каткова* – ст. преподаватель

---

The paper includes results of investigation of expected future climate change in Kyrgyzstan until year 2100 using software package MAGICC/SCENGEN V.4.1.

В настоящее время одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, является глобальное потепление климата. Наиболее широко в научной общественности распространено мнение, что этот процесс, скорее всего, обусловлен увеличившимися выбросами парниковых газов (ПГ), связанных с антропогенной деятельностью [1].

В рамках обязательств по Рамочной конвенции ООН по изменению климата (РКИК ООН) Кыргызстан обязан периодически подготавливать Национальные сообщения, посвященные проблеме изменения климата в республике.

Основным средством разработки сценариев будущего изменения климата является компьютерное моделирование. Компьютерное исследование изменения климата в Кыргызстане для первого Национального сообщения [2] было проведено, в основном, на основе имеющихся на то время сценариев выбросов парниковых газов IS92 с помощью программного комплекса MAGICC/SCENGEN версии 2.4. Дальнейший анализ результатов исследования показал, что ряд важных секторов социально-экономической системы республики весьма чувствителен к предполагаемому изменению климата.

Вместе с тем, в последние годы Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) разработала новые сценарии экономического, демографического и технологического развития мира [1]. Кроме того, появ-

вились новые модели, методы анализа и программные средства, основанные на уточненной и дополненной информации о ситуации в мире и в республике. Это вызвало необходимость проведения новых исследований будущих климатических изменений в республике (в первую очередь, изменения температуры и уровня осадков) для оценки уязвимости и мер по адаптации с целью их включения во второе Национальное сообщение КР об изменении климата.

В данной работе предсказание изменения климата в республике на период до 2100 года проводится на основе новых сценариев выбросов и глобальных климатических моделей с помощью программной системы MAGICC/SCENGEN последней версии 4.1 [3, 4]. Следует отметить, что эта система широко используется при анализе изменения климата для Национальных сообщений многих стран, в частности, стран, не входящих в Приложение I (NAI). Это обусловлено включением в систему, с одной стороны, представительного набора сценариев выбросов и климатических моделей, а с другой, простотой использования системы и невысокими требованиями к компьютерному оборудованию, генерацией в целом непротиворечивых, хотя и приближенных, проекций изменения климата.

Вместе с тем, следует отметить, что одним из основных недостатков программной системы MAGICC/SCENGEN, реализующей глобальные климатические модели, является ее

низкое разрешение –  $5 \times 5^\circ$  по широте и долготе. Этот недостаток особенно чувствителен для небольших по территории государств, подобных Кыргызстану, когда на ее территорию попадает всего две полные расчетные ячейки. Кроме того, программная система не учитывает изменение рельефа местности, что осложняет анализ изменения климата для высокогорного Кыргызстана.

Кроме глобальных климатических моделей существуют и другие модели анализа изменения климата, имеющие большее разрешение. Например, модель статистического понижения масштаба (Statistical Downscaling Model – SDSM), которая использует статистические соотношения между сетками больших и малых масштабов. Для ее реализации имеется программный комплекс SDSM версии 3.1 [5–7]. Для генерирования сценариев изменения климата с высоким разрешением разработан программный комплекс PRECIS (Providing REgional Climates for Impact Studies) [8, 9]. Однако указанные модели требуют дополнительного анализа с точки зрения возможности и необходимости их использования для прогнозирования изменения климата в республике для второго Национального сообщения КР.

#### **Новые сценарии выбросов парниковых газов МГЭИК**

В настоящее время МГЭИК разработала новый набор долгосрочных сценариев выбросов парниковых газов, которые получили названия A1, A2, B1, B2 [1]. При их разработке было отмечено, что выбросы парниковых газов являются продуктом очень сложных динамических систем, состоящих из таких определяющих факторов, как демографическое развитие, социально-экономическое развитие и технологические изменения.

#### **Краткая характеристика сценариев выбросов парниковых газов**

*Сценарий A1* содержит описание будущего мира, характеризуемого очень быстрым экономическим ростом, глобальным населением, показатели которого достигают пикового значения в середине века с последующим уменьшением, а также быстрым внедрением новых и более эффективных технологий.

*Сценарий A2* дает описание очень неоднородного мира. основополагающей темой явля-

ется самообеспечение и сохранение местной самобытности.

*Сценарий B1* содержит описание движущегося в одном направлении мира с тем же самым глобальным населением, которое достигает максимальной численности в середине века, а затем уменьшается как и в A1, однако при быстрых изменениях в экономических структурах в направлении сервисной и информационной экономики с уменьшением материальной интенсивности и внедрением чистых и ресурсосберегающих технологий.

*Сценарий B2* содержит описание мира, в котором главное внимание уделяется локальным решениям проблемы экономической, социальной и экологической устойчивости.

Отметим, что выбор конкретного сценария, в частности, для Кыргызстана, является сложной задачей, поскольку, как отмечают эксперты МГЭИК, “не существует единого наиболее вероятного основного или наиболее приближенного сценария” [1].

#### **Реализации сценариев выбросов парниковых газов**

В банк данных программы MAGICC/SCENGEN V.4.1 включены конкретные реализации сценариев выбросов парниковых газов, построенные на основе следующих моделей:

- Asian Pacific Integrated Model (AIM);
- Atmospheric Stabilization Framework Model (ASF);
- Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect (IMAGE);
- Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation (MARIA);
- Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE);
- Mini Climate Assessment Model (MiniCAM).

#### **Программная система MAGICC/SCENGEN V.4.1**

Программная система MAGICC/SCENGEN включает в себя объединенную модель “газовый цикл/климат” (MAGICC), предназначенную для генерации региональных сценариев изменения климата (SCENGEN). Отметим, что в MAGICC/SCENGEN V.4.1 климатология осадков охватывает период 1981–2000 гг., а температурная климатология – период 1961–1990 гг.

В состав системы MAGICC/SCENGEN входит два основных компонента:

↪ компонент *MAGICC*, позволяющий исследовать изменение климата на глобальном уровне, использует обширную библиотеку сценариев выбросов парниковых газов. Основной выходной результат работы *MAGICC* – средняя глобальная приземная температура, которая передается в компонент *SCENGEN*.

↪ компонент *SCENGEN*, предоставляющий возможность провести исследование изменения климата на региональном уровне, используя результаты компонента *MAGICC*, библиотеку глобальных климатических моделей и другие данные. Результаты работы *SCENGEN* предоставляются в виде набора климатических характеристик по среднемесячным, сезонным и среднегодовым данным, на основе которых можно сделать вывод о возможных будущих изменениях климата в конкретном регионе.

#### Разработка климатических сценариев для Кыргызстана

Для выбора представительных сценариев выбросов для Кыргызстана были проведены предварительные расчеты прогнозируемых выбросов парниковых газов до 2100 г. по каждой сюжетной линии (A1, B1, A2, B2) среди всех 48 сценариев с различным сочетанием

параметров модели газового цикла. Расчеты проводились для периода 1990–2100 гг. с интервалом 10 лет. В рассмотрение были включены изменения концентрации углекислого газа (другие парниковые газы вносят несущественный эффект) и средней глобальной температуры (рис. 1).

В результате анализа для Кыргызстана были выбраны два наиболее вероятных сценария выбросов ПГ – A2–ASF и B2–MES.

Эти сценарии прогнозируют:

- ✓ максимальные значения концентрации CO<sub>2</sub> к 2100 г. в семействе A2 по сценарию A2–ASF (средне-пессимистический сценарий);
- ✓ минимальные значения концентрации CO<sub>2</sub> к 2100 г. в семействе B2 по сценарию B2–MESSAGE (средне-оптимистический сценарий).

На основе выбранных сценариев выбросов ПГ с использованием компонента *SCENGEN* проведена разработка сценариев будущего изменения климата в Кыргызстане.

Как было отмечено выше, программный комплекс *MAGICC/SCENGEN* имеет низкое пространственное разрешение (5x5° по широте и долготе), поэтому в его схеме Кыргызстан описывается только двумя полными расчетными областями с координатами 40–45° север-

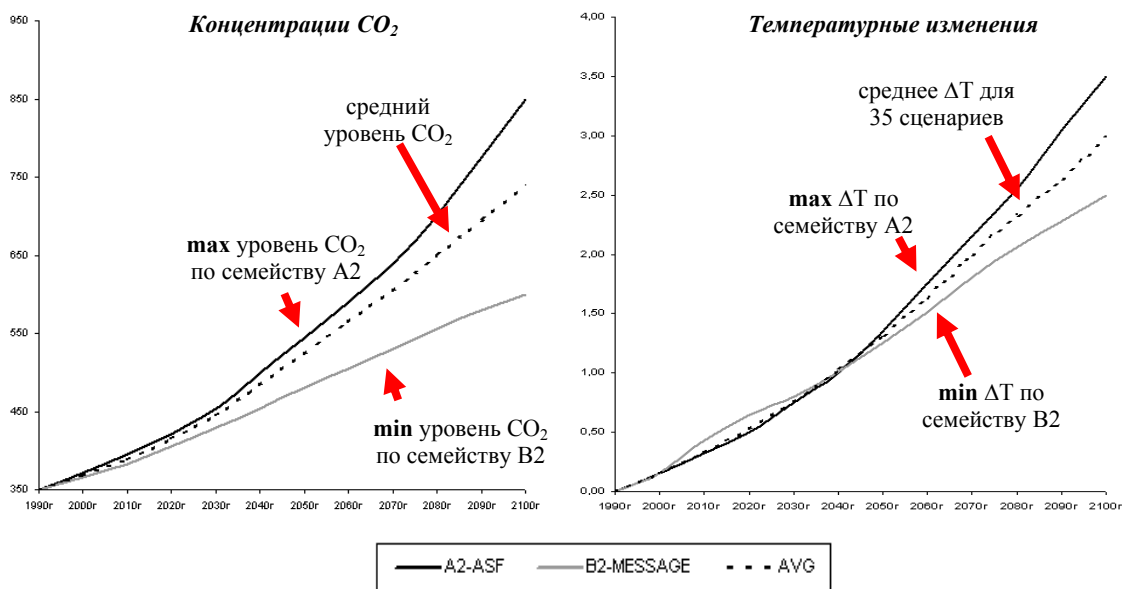


Рис. 1. Изменение концентрации углекислого газа и температуры по сценариям A2 и B2.

ной широты и 70–80° восточной долготы, и одной расчетной областью, в которую частично попадает регион с координатами 35–40° северной широты и 70–75° восточной долготы.

В связи с этим анализ изменения климатических характеристик был проведен для следующих территориальных областей Кыргызстана, попавших в расчетную сетку:

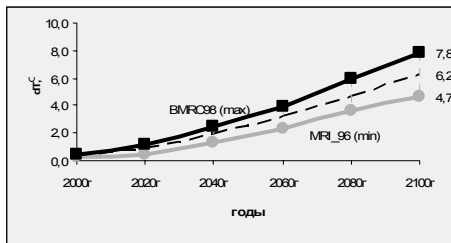
- первая (40–45° с.ш. и 70–75° в.д.) охватывает Таласскую, Чуйскую области и западную часть Жалал-Абадской области;
- вторая (40–45° с.ш. и 75–80° в.д.) охватывает Иссык-Кульскую, Нарынскую области и восточную часть Жалал-Абадской области, а также Внутренний Тянь-Шань;
- третья (35–40° с.ш. и 70–75° в.д.) включает Баткенскую и Ошскую области.

На основе расчетов, выполненных с помощью программного комплекса MAGICC/SCENGEN версии 4.1, были смоделированы проекции будущего изменения климата Кыргызстана до 2100 г.

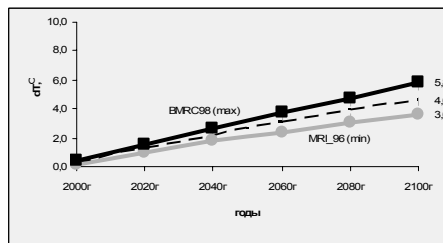
Для расчетных областей на территории Кыргызстана с использованием всех 17 ГKM были получены значения изменений сезонных и годовых температур  $\Delta T^{\circ}\text{C}$ , а также значения изменений сезонных и годовых сумм осадков за период 2000–2100 гг. с интервалом в 5 лет для каждой из трех территориальных областей.

На рис. 2, 3 приведены графики годовых изменений климатических характеристик (по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг.) для всех расчетных территориальных областей с указанием верхней и нижней границ этих изменений.

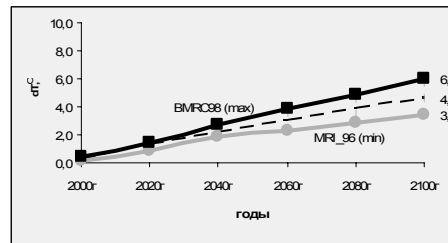
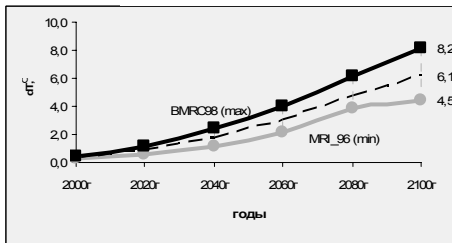
**Сценарий выбросов A2–ASF**



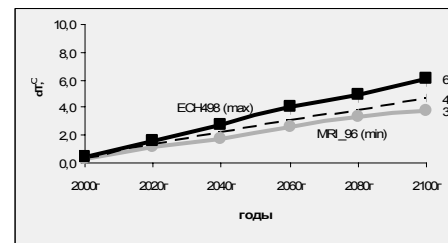
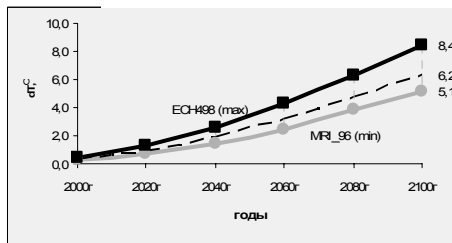
**Сценарий выбросов B2–MESS**



Область с координатами 40–45° с.ш. и 70–75° в.д. (CC3K)



Область с координатами 40–45° с.ш. и 75–80° в.д. (CBK и ВнТШ)



Область с координатами 35–40° с.ш. и 70–75° в.д. (ЮЗК)

Рис. 2. Графики среднегодовых изменений температур по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг. по сценариям выбросов A2–ASF и B2–MESS.

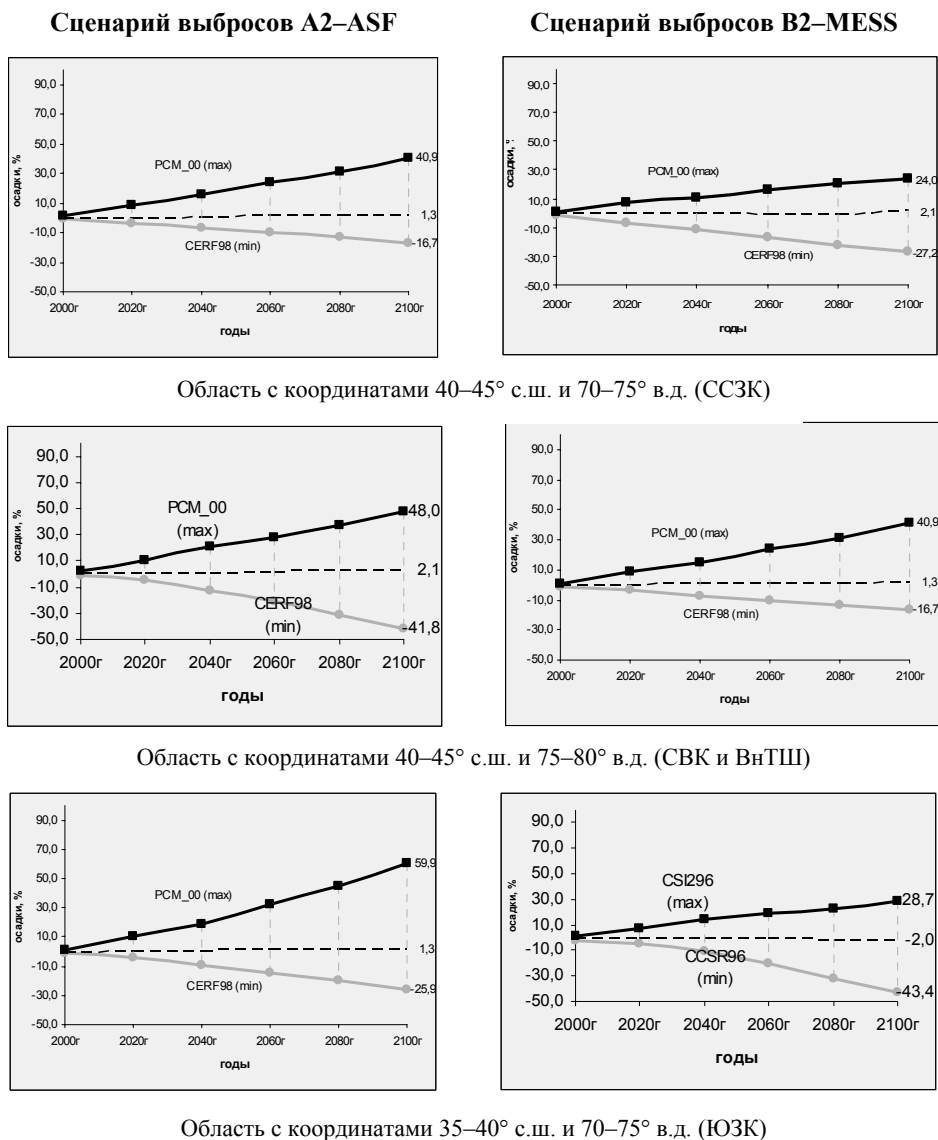


Рис. 3. Графики среднегодовых изменений сумм осадков по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг. по сценариям выбросов A2-ASF и B2-MESS.

Таблица 1

Среднегодовые изменения температур по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг.

Координаты расчетной области	A2-ASF		B2-MES	
	диапазон ΔT	ср.мод. ΔT	диапазон ΔT	ср.мод. ΔT
40–45° с.ш., 70–75° в.д.	4,7–7,8°C	6,2°C	3,6–5,8°C	4,6°C
40–45° с.ш., 75–80° в.д.	4,5–8,2°C	6,1°C	3,5–6,0°C	4,6°C
35–40° с.ш., 70–75° в.д.	5,1–8,4°C	6,2°C	3,8–6,1°C	4,6°C

Среднегодовые изменения сумм осадков по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг.

Координаты расчетной области	A2-ASF		B2-MES	
	диапазон изменений (%)	ср.мод. (%)	диапазон изменений (%)	ср.мод. (%)
40–45° с.ш., 70–75° в.д.	(-)41,8 – 48,0	2,1	(-)27,2 – 24,0	2,1
40–45° с.ш., 75–80° в.д.	(-)25,9 – 59,9	1,3	(-)16,7 – 40,9	1,3
35–40° с.ш., 70–75° в.д.	(-)43,4 – 28,7	(-)2,0	(-)30,9 – 17,5	(-)3,1

В табл. 1, 2 приведены значения изменений (по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг.) годовых температур и сумм осадков согласно двум сценариям выбросов, распределенные по расчетным областям.

В сезонных значениях температур и сумм осадков отмечаются значительные колебания. Оба сценария выбросов предполагают максимальное увеличение температур в летний период в диапазонах 4,7–10,8°C для A2-ASF и 3,7–7,8°C для B2-MES. В зимний и весенний периоды повышение температур для обоих сценариев наименьшее. Диапазон температурных изменений в зимний период: 3,9–8,2°C для A2-ASF и 2,8–6,0°C для B2-MES. Диапазон температурных изменений в весенний период: 3,8–8,3°C для A2-ASF и 2,9–5,9°C для B2-MES. Диапазон осенних изменений температуры характеризуется довольно высокими значениями нижнего предела и средними значениями верхнего предела, т.е. сам диапазон изменений довольно “узок” по сравнению с изменениями летом, зимой и весной: 4,8–8,7°C для A2-ASF и 3,2–6,4°C для B2-MES.

Моделирование осадков является более сложным процессом, поскольку существует высокая пространственная и временная изменчивость осадков. Кроме того, при использовании глобальных моделей с помощью MAGICC/SCENGEN не учитываются присутствие отдельным регионам географические особенности, связанные с рельефом местности. Поэтому результаты использования глобальных моделей для региональной оценки изменения осадков могут давать только приближенную картину.

Согласно проведенным расчетам, годовые суммы осадков по территории Кыргызстана к

2100 г. могут с равной вероятностью измениться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения по отношению к нормам базового периода 1961–1990 гг. По климатическому сценарию A2 диапазон изменения годовых сумм осадков довольно широк: от уменьшения на 43,4% до увеличения на 59,9%. Климатический сценарий B2 дает меньший разброс изменений: от уменьшения на 30,9% до увеличения на 40,9%.

#### Выводы

В рамках выбранных двух сценариев выбросов парниковых газов A2-ASF и B2-MES были проведены расчеты будущих изменений температуры и уровня осадков в Кыргызстане по 17 климатическим моделям, на основе которых разработаны два климатических сценария для Кыргызстана до 2100 года. В частности, анализ результатов показал, что повышение годовых температур к 2100 г. в среднем по Кыргызстану может быть в диапазоне 4,5–8,4°C (сценарий A2-ASF) или 3,5–6,1°C (сценарий B2-MES) по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг.

Данная работа выполнена по проекту ГЭФ/ПРООН “Содействие Кыргызской Республике по подготовке Второго Национального сообщения по Рамочной конвенции ООН об изменении климата”.

#### Литература

1. Climate Change 2001. IPCC Third Assessment Report. – 2001.
2. Первое Национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Бишкек, 2003. – 98с.
3. Technical Manual for MAGICC/SCENGEN V.4.1.

4. User Manual for MAGICC/SCENGEN V.4.1.
5. *Huth R, Kysely J.* Constructing Site-Specific Climate Change Scenarios on a Monthly Scale Using Statistical Downscaling // *Theoretical and Applied Climatology*. – 2000. – №66. – P.13–27.
6. *Wilby R.L. and others.* Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. – 2004.
7. *Wilby L.R, Dawson C.W.* Using SDSM Version 1.4 – A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. – 2004.
8. *Generating High Resolution Climate Change Scenarios using PRECIS // NCSU Handbook*. – 2004.
9. *Wilson S. and others.* Installing and using the Hadley Centre regional climate modeling system, PRECIS. – 2005.