

УДК 551.583.13(574)

**К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СЦЕНАРИЕВ ИЗМЕНЕНИЯ  
КЛИМАТА КАЗАХСТАНА**

Канд. геогр. наук

С.А. Долгих

Е.Ю. Смирнова

А.У. Сабитаева

*Дан краткий обзор результатов моделирования изменения глобального климата при различных сценариях увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. Приводятся некоторые результаты построения сценариев изменения климата Казахстана (изменение температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков) на основе выходных данных моделей глобального климата на период до середины текущего столетия.*

В середине девяностых годов прошлого столетия в процессе подготовки Первого национального сообщения Республики Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (далее Конвенция) были впервые подготовлены сценарии изменения климата Казахстана [2, 3, 8] в условиях ожидаемого глобального потепления. На основании этих сценариев были оценены уязвимость некоторых природоёмких секторов экономики Казахстана, и предложены меры по их адаптации к предполагаемому изменению климата в регионе, обобщенные в [3]. На тот момент в нескольких мировых и национальных центрах по моделированию климата были осуществлены прогоны моделей общей циркуляции атмосферы (МОЦА) с учетом увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере по сценарию IS92, разработанному Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, [5]) в процессе подготовки Второго доклада об оценках изменения глобального климата. Результаты моделирования были распространены среди других стран в рамках различных международных и национальных программ в соответствии с обязательствами развитых стран по статьям 4 и 5 Конвенции. Анализ качества воспроизведения МОЦА современного климата показал, что они более чувствительны к увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере по сравнению с реальной климатической системой, т.е. полученные

оценки ожидаемого потепления климата оказались завышенными. Кроме того, большинство экспериментов, проведенных к середине 90 годов, заключалось в моделировании нового равновесного состояния климатической системы при фиксированной концентрации  $CO_2$  (как правило, удвоенной относительно уровня в доиндустриальный период, около  $280 \text{ млн}^{-1}$ ); т.е. полученные сценарии изменения климата представляли собой довольно отдаленную перспективу, в то время как больший практический интерес представляли более близкие по времени вероятные изменения климата.

Вполне закономерно, что мировое научное сообщество в прошедшее десятилетие уделяло огромное внимание развитию моделей климата как одному из прогрессивных путей построения сценариев изменения климата. Результаты моделирования ответных реакций климатической системы только на воздействия естественные факторов (т.е. реакций на изменчивость в интенсивности солнечной радиации и в деятельности вулканов), изложенные в Третьем докладе об оценках МГЭИК [4], не объясняют наличия потепления во второй половине 20 столетия. Большая часть этих исследований позволяет сделать главный вывод о том, что в течение последних 50 лет оценочные темпы и размер потепления, вызываемого только повышением концентраций парниковых газов, сопоставимы с наблюдаемыми в реальности значениями потепления или превышают их. Более того, большинство оценок, полученных с помощью моделей, в которых учитываются воздействия, как парниковых газов, так и сульфатных аэрозолей (понижающих глобальную температуру), совпадают с данными наблюдений за этот период.

Необходимо отметить, что в период после выпуска Второго доклада об оценках МГЭИК [5] были достигнуты значительные успехи в количественном определении радиационной роли различных видов аэрозолей. Антропогенные аэрозоли недолго сохраняются в атмосфере и оказывают, в основном, отрицательное радиационное воздействие. Основными антропогенными источниками аэрозолей является сжигание ископаемых видов топлива и биомассы. Эти источники также являются одной из причин локального ухудшения качества воздуха и кислотных осадков. Прямое радиационное воздействие, согласно оценкам [4], составляет для сульфата минус  $0,4 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , для аэрозолей от сжигания биомассы – минус  $0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , для аэрозолей, содержащих органический углерод от сжигания ископаемых видов топлива, – минус  $0,1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , и для аэрозолей, содержащих сажу от

сжигания ископаемых видов топлива, – плюс  $0,2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Количественно определить общее прямое влияние аэрозолей и эволюцию этого влияния во времени можно лишь с гораздо меньшей степенью достоверности, чем для парниковых газов. Кроме того, содержание аэрозолей в значительной степени варьирует по регионам и быстро реагирует на изменения в количестве промышленных выбросов. Аэрозоли, в дополнение к своему прямому радиационному воздействию, оказывают также косвенное радиационное воздействие путем влияния на облачный покров. В настоящее время появляется все больше результатов исследований этого косвенного влияния, являющегося также отрицательным, хотя неопределенность в его оценке пока весьма высока.

В 2000 г. был подготовлен Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ) парниковых газов и аэрозолей [7]. Согласно шести сценариям выбросов, представленных в СДСВ, прогнозируемая концентрация  $\text{CO}_2$  в 2100 г. будет составлять  $540\text{--}970 \text{ млн}^{-1}$  против около  $280 \text{ млн}^{-1}$  в доиндустриальную эпоху (1750 г.) и около  $368 \text{ млн}^{-1}$  в 2000 г. Сценарии различаются уровнем социально-экономических допущений (демографических, социальных, экономических и технологических), что дает различные уровни выбросов парниковых газов и аэрозолей в будущем. Дальнейшие факторы неопределенности, прежде всего касающиеся устойчивости нынешних процессов абсорбции (поглощения углерода) и масштабов воздействия климата на земную биосферу, обуславливают колебания концентрации в 2100 г. в пределах от минус 10 до +30 % по каждому сценарию. В этой связи общие пределы составляют  $490\text{--}1260 \text{ млн}^{-1}$  (75...350 % по сравнению с концентрацией 1750 г.). Концентрации других основных парниковых газов, кроме  $\text{CO}_2$ , в 2100 г. прогнозируются в широком диапазоне по всем шести рассматриваемым сценариям. Все сценарии, представленные в СДСВ, следует рассматривать как одинаково обоснованных. Необходимо отметить, что в сценариях не учтены дополнительные инициативы в отношении климата, т.е. ни в один из сценариев не включено допущение об осуществлении Рамочной конвенции ООН об изменении климата или о решении задачи уменьшения выбросов согласно Киотскому протоколу.

Ниже представлено краткое описание результатов моделирования, которые опубликованы в [4]:

– глобальная средняя приземная температура повысится в период с 1990 г. по 2100 г. на  $1,4\text{--}5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эти результаты получены на основе ряда

моделей климата и соответствуют всему диапазону сценариев выбросов, представленных в СДСВ;

- повышение температуры ожидается более существенным, чем указанное во втором докладе МГЭИК и составлявшее 1,0...3,5 °С. Более высокие спрогнозированные значения температуры и более широкий диапазон являются следствием, в основном, более низких спрогнозированных уровней выбросов двуокиси серы в сценариях СДСВ по сравнению со сценариями Второго доклада (IS92);

- спрогнозированные темпы потепления гораздо выше, чем наблюдавшиеся изменения в течение 20 столетия; при этом весьма вероятно, что они будут беспрецедентными по сравнению с наблюдавшимися, по меньшей мере, за последние 10 000 лет, как можно судить по палеоклиматическим данным;

- вероятно, что потепление почти над всеми районами суши будет происходить более быстрыми темпами, чем в среднем по земному шару, особенно это относится к территориям, находящимся в высоких широтах северного полушария, в холодный сезон. Более заметное потепление ожидается в северных районах Северной Америки и в северных и центральных частях Азии, где, согласно результатам моделирования, оно может превысить среднее глобальное потепление более, чем на 40 %. В противоположность этому, потепление меньше среднего глобального ожидается на территориях в южной и юго-восточной частях Азии в летний период и в южной части Южной Америки в зимний период;

- с учетом широкого ряда сценариев изменения глобального климата среднее глобальное содержание водяного пара в атмосфере и количество атмосферных осадков в 21 столетии будут возрастать. Ко второй половине этого столетия количество осадков, вероятно, увеличится зимой в средних и высоких широтах северного полушария и в Антарктиде. Что касается низких широт, над территориями суши будут наблюдаться как увеличение, так и уменьшение осадков в зависимости от регионов. На большинстве территорий, для которых прогнозируется увеличение среднего количества осадков, ожидаются их значительные межгодовые колебания.

С 2004 г., практически через 10 лет после первого цикла работ по оценке уязвимости, Министерство охраны окружающей среды РК инициировало продолжение этих работ. В сравнении с предыдущими исследованиями [2, 3], в данном исследовании для построения сценариев изменения климата в Казахстане были использованы результаты расчетов только по

неравновесным, так называемым, сдвоенным моделям общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). При этом сценарии строились на перспективу до 2050 г. с интервалом 5 лет, что позволяет оценить изменение климата в динамике.

Для построения сценариев применялась версия 4.1 программного комплекса MAGICC/SCENGEN [9], разработанного по заданию МГЭИК в том числе и для проведения работ по оценке уязвимости. Версия 4.1 данного комплекса содержит выходные данные МОЦАО, прошедших апробацию в ходе выполнения международного проекта [6], в рамках которого было проведено сравнение результатов контрольных прогонов с климатическими данными периода 1971-2000 гг. Всего, таким образом, для включения в комплекс MAGICC/SCENGEN было отобрано 17 моделей. Выходные данные моделей приведены к единой широтно-долготной сетке, пространственное разрешение которой составляет  $5 \times 5^\circ$ .

К преимуществам комплекса MAGICC/SCENGEN можно отнести следующее: он позволяет учитывать или не учитывать влияние на температуру приземного воздуха сульфатных аэрозолей в атмосфере; он предусматривает использование по выбору пользователя любого из сценариев увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, вошедших в 6 сценариев, представленных в СДСВ и принятых при составлении Третьего доклада МГЭИК; кроме этого, в программный комплекс включены сценарии стабилизации концентрации парниковых газов на различных уровнях: 350, 450, 550, 650 и 750 млн<sup>-1</sup>.

На данном этапе исследований для Казахстана был использован один сценарий увеличения концентрации парниковых газов (обозначаемый как P50), который представляет собой медиану сценариев СДСВ. По сценарию P50 концентрация  $CO_2$  к 2100 г. достигнет значения около 730 млн<sup>-1</sup>. Так как охлаждающее влияние аэрозолей считается фактом доказанным и в [4] содержатся оценки радиационного воздействия аэрозолей, то в данной работе их влияние учитывалось.

Из 17 моделей комплекса для построения сценариев климата Казахстана было выбрано 5 следующих моделей: CCC1TR – модель Канадского климатического центра (CCC); CSI2TR – модель, разработанная в Австралийской научно-индустриальной Организации; ECH4TR – модель института Макса Планка, Германия; GISSTR – модель, разработанная Годдардовским институтом космических исследований, США; HAD2TR – модель Хадлей-Центра, Великобритания. Выбор осуществлен по значению

коэффициента пространственной корреляции между наблюдаемыми и смоделированными значениями температуры приземного воздуха. В таблице 1 представлены некоторые характеристики выбранных моделей. Последние две буквы в обозначении моделей указывают, что все они – неравновесные (транзиентные).  $\Delta T$  и  $\Delta R$  – изменения средних глобальных температуры приземного воздуха и количества осадков. По значениям  $\Delta T$  и  $\Delta R$  можно судить о чувствительности моделей к удвоению концентрации  $CO_2$  в атмосфере.

Таблица 1  
Характеристики использованных МОЦАО

МОЦАО	Год создания	Разрешение (сетка) модели	Коэффициент пространств. корреляции	Чувствительность к $2 \times CO_2$	
				$\Delta T$ , °C	$\Delta R$ , %
CCC1TR	1999	3,75°×3,75°	0,983	3,5	3,80
CSI2TR	1996	3,20°×5,60°	0,988	3,1	5,92
ECH4TR	1998	2,80°×2,80°	0,995	3,0	1,97
GISSTR	1995	7,83°×10,0°	0,985	4,2	11,0
HAD2TR	1995-1996	2,50°×3,75°	0,995	3,1	5,01

Как видно по данным табл. 1 коэффициент пространственной корреляции для всех выбранных моделей достаточно высок. Из всех представленных моделей модель GISSTR является наиболее чувствительной к удвоению концентрации  $CO_2$  в атмосфере. Остальные модели имеют примерно одинаковый порог чувствительности температуры (около 3 °C). Что касается осадков, то в глобальном масштабе менее всего они изменяются по модели ECH4TR.

Как уже было указано выше, расчеты изменения сезонных и годовых температур приземного воздуха (в °C) и количества атмосферных осадков (в % относительно средних многолетних значений) за период 1971-2000 гг. были выполнены для каждого пятилетия, начиная с 2005 г., для каждой точки широтно-долготного прямоугольника, заключенного между 40 и 55° с.ш. и 45 и 90° в.д. При этом необходимо иметь в виду, что результаты, относящиеся, например, к 2020 г., не характеризуют именно этот год, а являются усредненной характеристикой за период, охватывающий 10 лет до и 10 после указанного года. В целях уменьшения межмодельной неопределенности были выполнены также расчеты изменения

температуры воздуха и количества осадков, осредненного по всем выбранным пяти моделям. Таким образом, всего было получено и проанализировано 6 сценариев изменения климата Казахстана.

Для наглядного представления изменений температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков в динамике были рассчитаны средние по широтам изменения температуры (табл. 2) и осадков (табл. 3).

Таблица 2

Ожидаемые изменения средней годовой температуры воздуха ( $\Delta T$ , °C) в Республике Казахстан по неравновесным моделям относительно средних многолетних значений за период 1971-2000 гг.

Модель/ широта	Год									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CCC1TR</b>										
52,5	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3
47,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	3,0	3,3
42,5	0,5	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	3,1
<b>CSI2TR</b>										
52,5	0,3	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1
47,5	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2
42,5	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9	2,3	2,5
<b>ECH4TR</b>										
52,5	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	3,3	3,7
47,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,3	2,7	3,2	3,6
42,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,2	2,5	3,0	3,3
<b>GISSTR</b>										
52,5	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2
47,5	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,7	2,0	2,2
42,5	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,4
<b>HAD2TR</b>										
52,5	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6
47,5	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,2	2,4
42,5	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,3	2,5
<b>Среднее по пяти моделям</b>										
52,5	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8
47,5	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7
42,5	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8

Анализ данных табл. 2 показывает, что средняя годовая температура приземного воздуха уже к 2015 г. повысится от 0,6...1,1 °C по моделям CCC1TR и ECH4TR. К середине исследуемого периода (2025 г.) толь-

ко по австралийской модели на широтах 47,5 и 52,5° повышение температуры не достигнет 1,0 °С. К 2050 г. максимальный рост температуры ожидается по модели ECH4TR (от 3,3 до 3,7 °С), минимальный – по австралийской модели CSI2TR (от 2,1 до 2,5 °С). Среднее по пяти моделям изменение средней годовой температуры воздуха лежит в пределах 2,7...2,8 °С.

Таблица 3

Ожидаемые изменения годового количества осадков ( $\Delta R$ , %) в Республике Казахстан по неравновесным моделям относительно средних многолетних значений за период 1971-2000 гг.

Модель/ широта	Год									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CCC1TR</b>										
52,5	0,0	0,1	-0,2	-0,5	-0,3	-1,0	-0,9	-0,8	-0,3	-0,5
47,5	-0,1	0,3	-0,1	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1	-1,2	-1,0	-1,7
42,5	-0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,4	-1,8	-2,1	-3,1
<b>CSI2TR</b>										
52,5	1,5	2,3	2,7	3,2	3,8	4,5	5,4	6,6	8,0	8,8
47,5	1,8	3,0	3,7	4,5	5,2	6,0	7,0	8,1	9,6	10,1
42,5	1,1	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,4	4,8	5,3	5,2
<b>ECH4TR</b>										
52,5	0,1	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,3	0,2	0,1
47,5	-0,8	-0,7	-1,4	-2,0	-2,6	-3,3	-3,9	-4,4	-4,6	-5,8
42,5	0,0	0,4	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,7
<b>GISSTR</b>										
52,5	0,4	0,7	0,6	0,6	5,3	0,6	0,9	1,3	2,1	2,1
47,5	-0,5	-0,3	-0,9	-1,3	4,1	-2,3	-2,8	-3,1	-3,1	-4,1
42,5	-1,5	-1,8	-2,6	-3,4	0,0	-5,3	-6,4	-7,4	-8,4	-10,0
<b>HAD2TR</b>										
52,5	2,1	3,1	3,9	4,7	5,6	6,7	8,0	9,5	11,4	12,7
47,5	3,7	5,8	7,4	9,2	11,2	13,2	15,4	17,9	20,7	22,7
42,5	4,1	6,4	8,4	10,6	12,9	15,3	17,8	20,4	23,2	25,6
<b>Среднее по пяти моделям</b>										
52,5	0,8	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,6	3,3	4,3	4,6
47,5	0,9	1,7	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,4	4,2	4,1
42,5	0,7	1,5	1,8	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	2,9

Относительно ожидаемого изменения количества осадков необходимо отметить, что, как и в предыдущих исследованиях, картина получилась довольно пестрая. По модели CCC1TR начиная с 2015 г. изменение осадков характеризуется только отрицательным знаком, хотя по величине



уменьшение незначительное. В 2050 г. осадки по данной модели уменьшатся на величину от 0,5 до 3,1 %. Примерно такая же картина получается по модели ECH4TR, максимальное уменьшение осадков в 2050 г. составит 5,8 % на широте 47,5° с. ш. Более значительное уменьшение годовых сумм осадков ожидается по модели GISSTR, причем, уменьшение будет происходить не повсеместно в исследуемом районе, а только на широтах 42,5° и 47,5° с. ш., и к 2050 г. достигнет 10 % на широте 42,5° с. ш. По моделям CSI2TR и HAD2TR, а также по результатам усреднения по всем 5 моделям, ожидается увеличение количества осадков с самого начала исследуемого периода. По модели HAD2TR к 2050 г. это увеличение наиболее существенное и составит 25,6 % на широте 42,5° с. ш.

Приведем сравнение по сезонам изменений температуры воздуха и атмосферных осадков, ожидаемых по различным МОЦАО в 2050 г. На рис. 1 представлены рассчитанные разности температуры между средней многолетней температурой 20-летнего интервала, серединой которого является 2050 г., и средней многолетней температурой базового периода 1971-2000 г. ( $\Delta T$ , °C). Данные осреднены по точкам широтно-долготной сетки исследуемого региона.

Анализ этих материалов позволяет заключить, что все модели дают рост температуры воздуха во все сезоны года. Максимальный рост сезонной и годовой температуры ожидается по модели ECH4TR: зима – на 3,7 °C, весна – на 3,6 °C, лето – на 4,0 °C, осень – на 3,0 °C, год – на 3,5 °C. Следующие по значимости повышения температуры воздуха ожидаются по модели CCC1TR: значения  $\Delta T$  для зимы, весны, лета и года превышают 3,0 °C и колеблются от 3,2 °C (год) до 3,6 °C (весна), осенью  $\Delta T = 2,7$  °C. По остальным моделям изменение сезонных и годовых температур лежит в пределах от 2,0 °C (весна, модель CSI2TR) до 2,9 °C (лето, среднее по моделям), изменение годовых температур – от 2,3 °C по моделям CSI2TR и GISSTR до 2,8 °C по осредненным по всем моделям. По трем из 6-ти рассмотренных сценариев максимальный рост температуры ожидается летом (ECH4TR, GISSTR, среднее по моделям), по двум – зимой (CSI2TR и HAD2TR), по модели CCC1TR – весной.

Максимальная разница между сезонными  $\Delta T$  составляет всего 1 °C по сценарию ECH4TR. Таким образом, можно сделать вывод, что ожидаемые повышения температуры воздуха незначительно колеблются от сезона к сезону, т. е. их годовой ход относительно плавный.

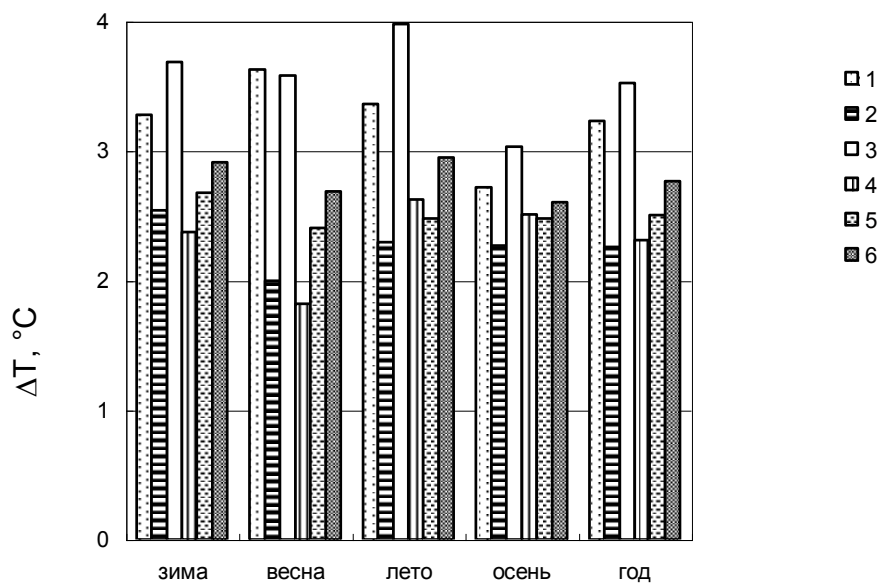


Рис. 1. Расчетное изменение средних многолетних сезонных и годовых температур приземного воздуха ( $\Delta T$ , °C) для периода 2041-2060 гг. относительно периода 1971-2000 гг. по различным моделям общей циркуляции атмосферы и океана в Республике Казахстан. 1 – CCC1TR; 2 – CSI2TR; 3 – ECH4TR; 4 – GISSTR; 5 – HAD2TR; 6 – все модели.

На рис. 2 показано ожидаемое изменение количества атмосферных осадков по сезонам и в целом за год, выраженное в процентах относительно среднего многолетнего количества осадков базового периода 1971-2000 гг.

Зимой по всем сценариям, за исключением сценария по модели GISSTR (минус 2 %), ожидается увеличение осадков от 1 % (CCC1TR) до 28 % (HAD2TR). Весной уже по двум сценариям ECH4TR и GISSTR ожидается уменьшение осадков на 3...5 %, по остальным сценариям – увеличение, но менее значительное, чем в зимний период – на 3...5 % по сценарию CCC1TR и среднему по моделям, и на 14...16 % – по CSI2TR и HAD2TR. Летом по сценариям ECH4TR и GISSTR прогнозируемое уменьшение осадков несколько более существенное, чем весной – на 6...10 %.

Кроме этого, уменьшения на 4 % следует ожидать и по модели CCC1TR. Модели HAD2TR и CSI2TR дают рост осадков на 8 и 25 %, со-

ответственно. Осень - единственный сезон, для которого по всем сценариям ожидается увеличение осадков. Однако по пяти сценариям это увеличение незначительное – от 1 % (GISSTR) до 6 % (средний по моделям сценарий). Модель HAD2TR предсказывает значительное увеличение – на 22 %. Годовое количество осадков по трем из 6-ти сценариев уменьшится на 2...4 %, по трем – увеличится на 4...20 %.

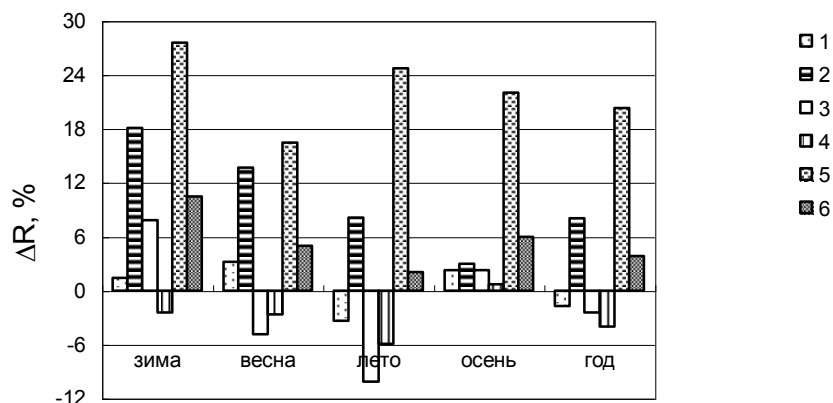


Рис. 2. Расчетное изменение средних многолетних сезонных и годовых сумм осадков ( $\Delta R$ , %) для периода 2041-2060 гг. относительно периода 1971-2000 гг. по различным моделям общей циркуляции атмосферы и океана в Республике Казахстан. 1 – CCC1TR; 2 - CSI2TR; 3 – ECH4TR; 4 - GISSTR; 5 – HAD2TR; 6 – все модели

Зимой по всем сценариям, за исключением сценария по модели GISSTR (минус 2 %), ожидается увеличение осадков от 1 % (CCC1TR) до 28 % (HAD2TR). Весной уже по двум сценариям ECH4TR и GISSTR ожидается уменьшение осадков на 3...5 %, по остальным сценариям – увеличение, но менее значительное, чем в зимний период – на 3...5 % по сценарию CCC1TR и среднему по моделям, и на 14...16 % – по CSI2TR и HAD2TR. Летом по сценариям ECH4TR и GISSTR прогнозируемое уменьшение осадков несколько более существенное, чем весной – на 6...10 %.

Кроме этого, уменьшения на 4 % следует ожидать и по модели CCC1TR. Модели HAD2TR и CSI2TR дают рост осадков на 8 и 25 %, соответственно. Осень - единственный сезон, для которого по всем сценариям ожидается увеличение осадков. Однако по пяти сценариям это увеличение незначительное – от 1 % (GISSTR) до 6 % (средний по моделям сценарий).

нарий). Модель HAD2TR предсказывает значительное увеличение – на 22 %. Годовое количество осадков по трем из 6-ти сценариев уменьшится на 2...4 %, по трем – увеличится на 4...20 %.

Наиболее благоприятным для увлажнения территории является сценарий HAD2TR, предсказывающий самое значительное увеличение осадков во все сезоны года – на 16 % летом и на 26 % зимой. Самый неблагоприятный – сценарий GISSTR, согласно которому в целом за год и во все сезоны за исключением осени следует ожидать уменьшения осадков на 2...6 %, причем наиболее существенное – на 6 % летом.

В глобальном масштабе при росте температуры ожидается увеличение количества осадков за счет возрастания испаряемости. Но в региональном масштабе последний фактор может привести к дополнительному иссушению климата. Поэтому совершенно очевидно, что необходимо оценить изменение климата с учетом взаимодействия таких важных характеристик климата, как температура приземного воздуха и количество осадков. Расчет коэффициентов увлажнения с учетом ожидаемых по моделям значений температуры и количества осадков по формуле, приведенной в [1], показал, что вероятнее всего следует ожидать ухудшения условий увлажнения на большей части территории Казахстана. Наиболее экстремальными для равнинной территории Казахстана можно назвать сценарии CCC1TR и ECH4TR, так как они предполагают наибольшее повышение температуры, сопровождаемое лишь незначительным увеличением осадков и даже их уменьшением. При таких сценариях изменения климата граница засушливой зоны может переместиться к северу на 100...200 км, т.е. засушливая зона расширится и будет занимать примерно 2/3 территории Казахстана. Сценарий HAD2TR – единственный, согласно которому рост температуры будет компенсироваться увеличением атмосферных осадков. В этом случае площадь засушливой зоны уменьшится в результате смещения ее северной границы к югу на 50...70 км в западных и восточных районах Казахстана, в центральных районах – на 70...100 км.

В заключение необходимо отметить, что работы над сценариями изменения климата Казахстана необходимо продолжить с применением либо моделей регионального климата, либо различной техники по регионализации выходных данных моделей глобального климата. Это позволит получить более детальное, а значит представляющее более практический интерес, территориальное распределение основных климатических параметров в условиях глобального потепления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилесов Е.Н., Ю.Ю. Сергеева. Оценка величины испаряемости и некоторых гидроклиматических параметров в условиях природных зон равнинного Казахстана // Гидрометеорология и экология.–1999.– № 2. – С. 145–147.
2. Долгих С.А., Пилифосова О.В. О методах оценки ожидаемых изменений глобального климата и сценарии изменения климата Казахстана // Гидрометеорология и экология. –1996. – № 4. – С. 94–109.
3. Первое национальное сообщение Республики Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата – Алматы, 1998. – 74 с.
4. Climate Change 2001: The Scientific Basis – Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report, 2001. – 1029 p.
5. Climate Change 1995. The science of climate change. IPCC, WGI. / J.T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell. – Cambridge, 1996. – 572 p.
6. Covey C., AchutaRao K.M., Cubasch U., Jones P.D., Lambert S.J., Mann M.E., Phillips T.J. and Taylor K.E. An overview of results from the Couplet Model Intercomparison Project (CMIP) // Global and Planetary Change. – 2003. – № 37. – P. 103–133.
9. Wigley, N.M.L. and Raper, S.C.B. Reason for larger warming projections in the IPCC Third Assessment Report. // Journal of Climate. – 2002. – № 15. – P. 451–454.

Научно-производственный Гидрометцентр РГП «Казгидромет»

### ҚАЗАҚСТАН КЛИМАТЫҢ ӨЗГЕРУ СЦЕНАРИЙІН ҚҰРУ ТУРАЛЫ

Геогр. ғылымд. канд.                    С.А. Долгих  
    Е.Ю. Смирнова  
    А.У. Сабитова

*Атмосферада парникті газдардың концентрацияларының көбеюінің әртүрлі сценарийінде әлемдік климаттың өзгеруін модельдеудің нәтижелеріне қысқаша шолу жасалған. Осы жүзжылдықтың ортасына дейінгі аралықта әлемдік климатты модельдеуден алынған мәліметтер бойынша Қазақстан климатының өзгеру сценарийін құрудың кейбір нәтижелері (жерге жақын орналасқан ауа температурасы мен жауын-шашынның өзгеруі) келтірілген.*