

УДК 551.583.13(574)

О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА КАЗАХСТАНА

С.А. Долгих

Канд. геогр. наук О.В. Пилифосова

Рассматриваются методы построения сценариев ожидаемых изменений климата. На основе данных моделирования по пяти моделям общей циркуляции атмосферы дана оценка качества воспроизведения моделями современного климата Казахстана и рассмотрены сценарии изменения регионального климата на момент удвоения концентрации CO_2 в атмосфере.

Вопрос о возможных изменениях климата под влиянием человеческой деятельности привлекает пристальное внимание как ученых, так и широких кругов общественности. Причина этого внимания состоит в следующем. Во-первых, по данным наблюдений обнаружено так называемое глобальное потепление - по оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) за последнее столетие температура воздуха у поверхности континентов и океанов повысилась примерно на $0,53^\circ C$ в северном полушарии и на $0,52^\circ C$ в южном. Во-вторых, после Международного геофизического года (1957-1958 гг.) организованы регулярные измерения концентрации углекислого газа и зафиксирован рост его содержания в атмосфере, связанный с увеличением количества сжигаемого органического топлива. А поскольку теоретические расчеты показывают, что рост концентрации парниковых газов может быть причиной потепления приземного воздуха, эти два факта были связаны друг с другом и на их основе сделаны прогнозы о дальнейшем повышении температуры. Как показывают данные за последнее десятилетие, эта тенденция сохраняется - 1995 год

оказался экстремально теплым в глобальном масштабе, и если не будет ограничений на выбросы парниковых газов, то при удвоении концентрации CO_2 в атмосфере, это примерно к середине следующего столетия, средняя глобальная температура воздуха ожидается выше, чем она наблюдалась за последние 150 000 лет. Значительная величина потепления и плюс к этому беспрецедентная скорость изменения климата создают угрозу необратимости процесса глобального потепления климата в случае неконтролируемых выбросов парниковых газов. Это подтолкнуло правительства более чем 150 стран, в том числе и Казахстан, к подписанию Рамочной конвенции ООН об изменении климата, что активизировало сотрудничество ученых и целых научных центров в этой области исследований. Работы в данном направлении ведутся во многих странах в рамках Всемирной климатической программы, осуществляемой под руководством ВМО и при активной поддержке со стороны ЮНЕП. Полученные результаты уменьшили неопределенности в оценке причин и величины глобального потепления и относительно поведения глобальной климатической системы. В целом, результаты исследований указывают на то, что наблюдаемые тенденции маловероятно связаны с природной изменчивостью климатической системы [4].

Несмотря на чрезвычайную сложность проблемы поведения климатической системы, ученые пытаются различными способами заглянуть в будущее и дать прогноз изменения климата. Прогнозы климата в значительной степени носят условный характер и не могут рассматриваться в полной мере как предсказание климата будущего, поэтому их принято называть сценариями изменения климата. Они необходимы как первый шаг при оценке уязвимости и выработке адаптационных мер в природоёмких отраслях экономики к потенциальным изменениям климатических условий. В целом ряде стран, в том числе и в Казахстане, ведутся подобные работы [3,6]. На основании результатов этих исследований в дальнейшем должны разрабатываться методы смягчения влияния негативных последствий изменения климата.

В настоящее время существует несколько ос-

новых подходов к построению сценариев изменения климата. Остановимся на некоторых из них.

Метод палеореконокструкций [1] заключается в использовании сведений о климатических условиях прошлого, в котором средняя глобальная температура была равна прогнозируемой. Ограничения применения метода палеореконокструкций возникают в результате неточностей в интерпретации последствий изменения ландшафтов и орографии, перенесения стационарных климатических условий на нестационарную ситуацию, неопределенности роли различных факторов в прошлом.

Статистические методы, основанные на использовании данных наблюдений, когда при прогнозе региональных климатических условий последние связывают со средней глобальной или полушарной температурой воздуха, а затем экстраполируют найденные связи на будущее, принимая за основу тот или иной прогноз глобальной температуры воздуха. Однако, этот подход имеет и ряд существенных недостатков, основной из которых то, что в качестве предиктора используется прогноз глобальной температуры воздуха. Последний сам, в свою очередь, строится на прогнозе роста концентрации CO_2 и других парниковых газов и не является вполне однозначным.

В России для прогноза изменения климата на 20-летний период применяется метод вероятностного прогноза короткопериодных колебаний климата [2], который основан на подборе групп аналогов в зависимости от изменения предиктанта - концентрации CO_2 , и позволяет получить прогноз в виде функции распределения вероятностей предиктанта. К ограничениям возможности применения данного метода можно отнести следующее: этим методом практически невозможно дать прогноз климата с учетом антропогенного роста концентрации CO_2 более чем на 20 лет, так как в ряду данных о CO_2 за последнее столетие не наберется достаточного количества периодов-аналогов, чтобы получить надежные статистические характеристики их выборки. В работе [7] данный метод был применен для построения сценариев изменения термического режима и увлажнения территории Республики Казахстан до 2010 года. По-

лучено, что по всей территории Казахстана ожидается рост средней месячной температуры воздуха - максимальный в зимнее время (до 5-6 °С), и минимальный в переходные сезоны (1-2 °С). Рост температуры будет сопровождаться некоторым уменьшением количества осадков весной - на 5-8 %, более существенным уменьшением летом - на 25-30 %, в холодное полугодие предполагается незначительное увеличение количества осадков - на 12-15 %. Среднее годовое количество осадков несколько уменьшится - на 4-6 %.

На наш взгляд, из всех существующих в настоящее время путей построения сценариев изменения климата наиболее прогрессивным является использование детальных моделей теории климата. При таком подходе поведение климатической системы Земли рассчитывается по основным законам физики, таким как законы сохранения энергии, массы и второй закон Ньютона. Эти законы, выраженные через уравнения, решаемые с применением численных методов, определяют скорость, с которой происходят изменения приземной температуры, давления воздуха, концентрации водяного пара, температуры и влажности почвы, массы снега, скорости ветра и т.д., то есть, описывают изменения характеристик атмосферы во времени и пространстве. Существуют три класса математических моделей: энергобалансовые, радиационно-конвективные и модели общей циркуляции атмосферы (модели ОЦА). Остановимся подробнее на последних, т. к. модели ОЦА - это единственный тип моделей климата, с помощью которых кроме температуры можно определить ряд других характеристик (осадки, влажность почвы, облачность), а также их географическое распределение, что позволяет получить оценки региональных изменений климата. Для описания процессов, которые не могут быть воспроизведены в моделях, применяется параметризация, то есть закономерности физических процессов мелкого масштаба описываются в моделях ОЦА с помощью параметров крупномасштабных процессов (турбулентный перенос тепла и влаги, конвекция, конденсация, перенос инфракрасного излучения, формирования облаков, образование и таяние снега,

потоки тепла в почву). И, наконец, задаются граничные условия и параметры, это: радиус Земли, ускорение свободного падения и угловая скорость вращения Земли, орбитальные параметры Земли, масса атмосферы, характеристики облаков и газов (термодинамика), альbedo, орография. Атмосферу делят на слои, вертикально и горизонтально, время - на интервалы. Модели ОЦА имеют от 2 до 11 вертикальных слоев и горизонтальное разрешение до 1000 км. Для регионов это, конечно, мало, но эти шаги выбираются, исходя из возможностей вычислительной техники. При моделировании воздействия CO_2 на климат, модели ОЦА комбинируются с разными моделями общей циркуляции океана (ОЦО), что еще больше усложняет модели и, следовательно, продолжительность расчетов. Заметим, что создание компьютера, который позволил бы дать адекватное разрешение для всех физических процессов, происходящих в климатической системе, остается делом будущего.

Для вычислений с помощью моделей изменения климата в результате роста CO_2 и других парниковых газов в атмосфере существует 2 пути: первый - исследование равновесных состояний климата; второй - исследование изменения климата в зависимости не только от роста концентрации CO_2 , но и от времени (неравновесные состояния климата). В первом случае определяют, как изменится климат, если концентрация парниковых газов увеличится на определенное постоянное значение, а климатическая система достигнет нового равновесия при этих более высоких значениях, независимо от времени, необходимого для достижения нового состояния. В таких исследованиях сначала производится расчет состояний климата для некоторой концентрации CO_2 в доиндустриальный период (обычно около 300 млн^{-1}), а затем с другой фиксированной концентрацией CO_2 , которая в 2, 4, и в 10 раз превышает контрольное значение. При моделировании с помощью ОЦА любой осредненной по времени величине присуща изменчивость при стационарном состоянии климата. Эта естественная изменчивость представляет собой шум, на фоне которого выделяется сиг-

нал - разница между характеристиками экспериментального и контрольного климата. Если отношение сигнала к шуму достаточно велико, то можно утверждать, что экспериментальный расчет в действительности отражает его новое состояние, а не является другим вариантом исходного. Модели ОЦА и ОЦО постоянно совершенствуются. Так, учет влияния облачности, аэрозолей, усовершенствование цикла углерода приводят к более низким прогнозам температуры. Например, если по оценкам МГЭИК, опубликованным в 1990 г., диапазон предполагаемого изменения средней годовой глобальной температуры составлял 1,0-4,5 °С по различным моделям ОЦА, то в отчетах МГЭИК за 1995 г. диапазон уменьшился и составляет 1,0-3,5 °С. Разброс прогнозируемых значений объясняется различием в моделях принятых исходных состояний средней глобальной температуры и значительной неопределенностью при расчете чувствительности приземной температуры к увеличению концентрации парниковых газов. Хотя величина, пространственное и сезонное распределения изменений климата по различным моделям имеют свои особенности, можно выделить некоторые общие черты предполагаемых изменений глобального климата. Изменения температуры увеличиваются в направлении от тропиков к полюсам, зимой потепление максимально, летом - минимально. Практически все модели показывают увеличение средних глобальных осадков. Изменения количества осадков по направлению к полюсам, в основном, положительны и зимой и летом. Географическое распределения изменения осадков при удвоении концентрации CO₂ по различным моделям различается в гораздо большей степени, чем расчеты изменений температуры, особенно в зоне 30° с.ш. - 30° ю.ш. Коэффициенты корреляции изогий между различными моделями не превышают 0,1. Это не является неожиданностью, так как многие физические процессы, которые определяют осадки, имеют горизонтальный масштаб, выходящий за рамки разрешения моделей. Как говорилось выше, эти невоспроизводимые процессы параметризуются. Чтобы улучшить положение, необходимо воспроизводить в моделях, по крайней мере, мезомасштабные

атмосферные процессы. Это потребует десятикратного увеличения горизонтального разрешения моделей и, следовательно, в тысячу раз больших затрат вычислительных ресурсов.

Установить правильность расчетов чувствительности температуры и осадков по моделям весьма непросто, даже если полученные по ним оценки, относящиеся к современному климату, достаточно точны. Сравнение расчетов по моделям и данных наблюдений (для глобальной температуры) показало, что модели обладают чувствительностью, превышающей естественную чувствительность климатической системы. Это объясняется тем, что модели более упрощенно учитывают такие свойства климатической системы, как, например, инерционность, нелинейность, обратные связи, переходные явления и другие.

Это результаты экспериментов модельных расчетов по равновесному состоянию климата. Казалось бы, зная прогноз температуры к 2000-2010 гг., можно определить величину потепления. Однако, напрямую интерполировать равновесные изменения климата для того, чтобы узнать, как изменится климат предположительно к 2000-2010 гг., нельзя. Если интерполировать найденные по моделям изменения температуры в результате удвоения концентрации CO_2 , то к настоящему времени изменение температуры составит $1,6^\circ\text{C}$, а по данным наблюдений изменение составляет лишь $0,53^\circ\text{C}$. Таким образом, необходимы модельные оценки с учетом изменения концентрации CO_2 со временем, то есть, необходимы данные соответствующих расчетов по неравновесным моделям (в равновесных моделях принято, что концентрация CO_2 - const). Расчеты показали, что в отличие от результатов по равновесным моделям, на картах постоянно присутствуют районы, в которых изменения температуры отрицательны. Таким образом, если повышение концентрации CO_2 невелико, невелик и сигнал, и в некоторых районах изменчивость может доминировать над ним.

Это - кратко о существующих сценариях глобального климата с помощью моделей ОЦА. Какой можно сделать вывод об этих сценариях? К достоинствам моделей ОЦА можно отнести то, что модели по

возможности учитывают физику процессов, позволяющих воспроизводить и прогнозировать климат. К ограничениям возможностей существующих моделей относятся: горизонтальное разрешение моделей, не позволяющее вполне адекватно воспроизводить региональный климат и, следовательно, достаточно реалистично прогнозировать его; с помощью моделей затруднительно получить прогнозы на более ближние сроки, не на середину будущего века, а на 10-20 лет, что практически является более ценным; уровень шума в моделях настолько высок, что при удвоении (и при учетверении) концентрации CO_2 в атмосфере не удастся выделить статистически значимые изменения осадков, в результате чего модели плохо согласуются между собой в оценке осадков. Лучше обстоит дело с термическим режимом, однако, величина потепления по различным моделям разная.

Сценарии климата отдельных регионов являются наиболее неопределенными и сложными, так как изменения температуры в отдельных регионах могут быть более или менее значительными, или даже противоположного знака по сравнению с изменением средней глобальной температуры, и могут также сопровождаться изменением других климатических элементов: осадков, влажности и т.д. в соответствии с региональными особенностями формирования климата. Однако, поскольку такие прогнозы представляют большой научный и, главное, практический интерес, они разрабатываются и даются.

Задача данной работы - рассмотреть сценарии изменения климата Республики Казахстан на период удвоения концентрации углекислого газа в атмосфере (т.е. на 2050-2075 гг.). Для этого были использованы данные численных экспериментов по пяти моделям ОЦА. Приведем их краткое описание.

Модели GFDL и GFDL-T. GFDL - равновесная модель, была разработана в Геофизической лаборатории динамики жидкости (США). В эту модель 3-го поколения GFDL включен верхний квазиоднородный слой перемешивания океана глубиной 68 м, разрешение улучшено до $2,22^\circ$ по широте и до $3,75^\circ$ по долготе. Неравновесная модель GFDL-T имеет худшее разрешение: $4,44^\circ$ на $7,50^\circ$, что соответствует

первым двум поколениям GFDL. Однако полагается, что эта модель лучше имитирует климатическую систему, поскольку включает океанский слой мощностью 5 км, что соответствует средней глубине Мирового океана. Модели GFDL и GFDL-T дают среднеглобальное потепление 4,0 и 3,2 °С при 2хCO₂ по сравнению с 1хCO₂ и не учитывают суточный ход.

Модель UKMO. Равновесная модель Метеорологического Агентства Соединенного Королевства, имеет разрешение 2,50° на 3,75°, содержит 50-метровый верхний слой океана и учитывает суточный ход. Модель 11-ти уровневая.

Модель CCC. Равновесная модель Канадского климатического центра с разрешением 3,75° на 3,75°, содержит 50-метровый верхний слой океана и учитывает суточный ход. Величина среднего глобального потепления равна 3,5 °С. Модель 10-ти уровневая. В отличие от других моделей она содержит типичную схему относительной влажности для облакообразования, что позволяет надеяться на реалистичность воспроизведения осадков.

Модель GISS. Равновесная модель, разработанная Годдардовским Институтом Космических Исследований (США). Горизонтальное разрешение 7,83° на 10,00°. Температура океана и ледового покрова рассчитывается на основе почасового обмена энергии с атмосферой, при этом учитывается способность межуровневого перемешивания тепла в толще океана не более 65 м.

В таблице обобщены некоторые характеристики моделей ОЦА.

Результаты численных экспериментов по этим моделям были использованы в виде банка данных GRADS, которые представляют собой результаты расчетов моделями полей приземной температуры воздуха (Т, °С), атмосферных осадков (R, мм/сутки) и солнечной радиации в узлах регулярной сетки на поверхности Земного шара за каждый из 12 месяцев года при концентрации CO₂ в атмосфере, соответствующей современному уровню концентрации CO₂ в атмосфере (1хCO₂) и удвоенному (2хCO₂). Результаты расчетов, соответствующие современному уровню концентрации CO₂ в атмосфере (1хCO₂) являются

контрольными прогонами и показывают способность моделей воспроизводить реальный климат. В качестве реальных климатических условий в модели заложены данные периода 1951-1980 гг., назовем его базовым.

Таблица.

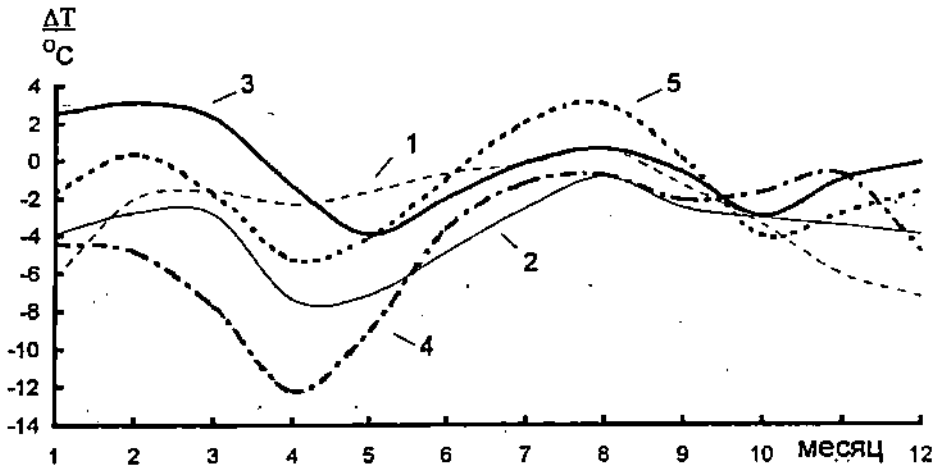
Характеристики моделей ОЦА

Модель ОЦА	Год создания	Разрешение модели	Суточный ход	ΔT , °C	ΔR , %
GISS	1989	$7,83^0 \times 10,00^0$	да	4,2	11,0
GFDL	1989	$2,22^0 \times 3,75^0$	нет	4,0	10,0
UKMO	1989	$2,50^0 \times 3,75^0$	да	3,5	9,9
CCC	1989	$3,75^0 \times 3,75^0$	да	3,5	3,8
GFDL-T ¹	1991	$4,44^0 \times 7,50^0$	нет	$3,2^2$	$7,0^2$

Примечание: 1- транзитная модель; 2- изменение между исходным (60-е годы) и десятым прогностическим десятилетием.

Как уже говорилось, воспроизведение моделями ОЦА всех физических процессов, происходящих в климатической системе, остается делом будущего. Пока даже не стоит вопрос о выборе лучшей модели ОЦА, идет только оценка возможностей моделей, судить о которых можно по степени адекватности воспроизведения моделями реального климата, причем, на уровне регионального. Оценка степени адекватности является первым необходимым шагом при построении сценариев изменения регионального климата. Логично считать, что по модели, которая даст наиболее приближенные к реальным климатические условия в регионе, можно получить и более правдоподобный сценарий изменения климата в будущем. Кроме того, интересно сопоставить результаты расчетов по различным моделям, так как одни из моделей лучше воспроизводят поля температуры, другие - осадков, причем, степень приближения к реальному климату меняется и внутри модели в зависимости от сезона года. Согласно методики, предложенной в [5], для получения сравнимых ре-

а



б

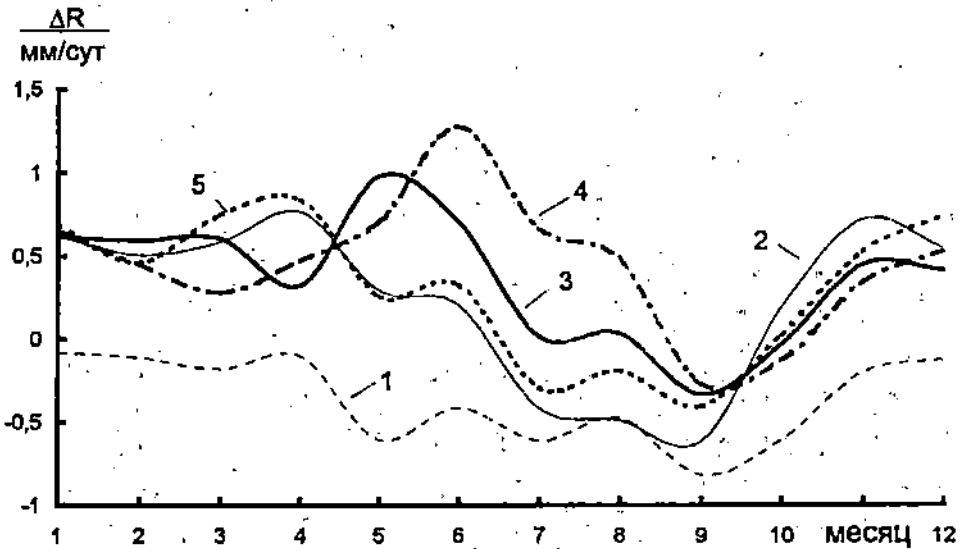


Рис. 1. Особенности сезонного распределения отличий между смоделированными и фактическими данными по температуре воздуха (а) и количеству осадков (б).

1 - модель GFDL; 2 - модель UKMO; 3 - модель GISS; 4 - модель CCC; 5 - модель GFDL-T.

зультатов контрольных прогонов (для уровня $1 \times \text{CO}_2$) по различным моделям, каждая из которых использует свою координатную сетку, был произведен выбор общей оптимальной широтно-долготной сетки: это широты 44, 46, 51 и 54° и долготы 49, 56, 60, 65, 70, 76, 80, 86° , проходящие по территории Казахстана. Таким образом был получен широтно-долготный прямоугольник, к узлам которого подбирались станции на территории Казахстана с наиболее близкими координатами, всего было подобрано 25 станций, и только затем в эти 25 точек осуществлялась интерполяция контрольных результатов по каждой модели. Данная процедура позволяет уменьшить погрешности, возникающие при интерполяции данных из узлов используемых в моделях широтно-долготных сеток, и получить сравнимые оценки воспроизведения текущего климата различными моделями ОЦА. Линейная интерполяция предусмотрена в пакете GRADS. В результате рассчитывались разности между воспроизведенными моделями и фактическими многолетними (за период 1951-1980 гг.) данными по средним месячным температуре воздуха и количеству осадков в сутки.

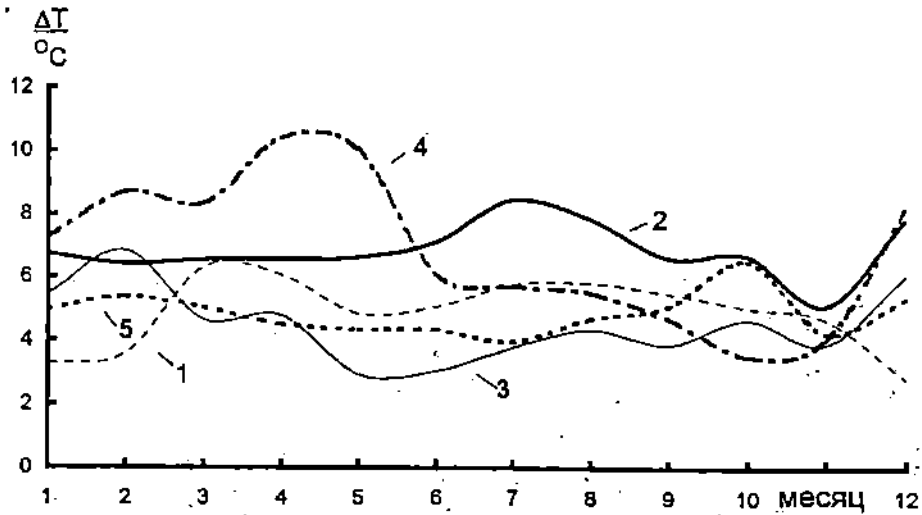
Расчеты показали, что смоделированный климат отличается от реального, а в распределении отличий между смоделированными и фактическими данными существует некоторая сезонность, которая по-разному проявляется в каждой модели. Для наглядности приведены графики на рис.1, где разности для каждого месяца осреднены по 25 выбранным точкам. Видно, например, что все модели занижают фон средних месячных температур в базовый период, за исключением января-марта по модели GISS, июля-августа по моделям GFDL-T, GISS и GFDL. С июня по ноябрь практически все модели относительно лучше воспроизводят поля температуры. Общими является также следующие особенности: по всем моделям, кроме модели GFDL, максимально занижена температура воздуха в весенние месяцы (до 12°C в апреле по СССР), по модели GFDL максимально занижена температура декабря. Средняя годовая температура воздуха занижена минимально на $0,3^\circ \text{C}$ по модели GISS и максимально на 4°C по модели СССР.

При оценке моделирования осадков, следуя методики [5], для получения сравнимых результатов с другими регионами использовались разности между средним количеством осадков за сутки. Получилась следующая картина. Большинство моделей дает завышенное количество осадков по сравнению с базовым периодом, (исключая июль-сентябрь, для некоторых моделей - октябрь), завышение наиболее значительно по величине в апреле-июне (ΔR более 1 мм/сутки по моделям GFDL-T, GISS и CCC). Модель GFDL дает заниженное количество осадков $-\Delta R$ до 0,8 мм/сутки. Однако, с ноября по апрель именно эта модель наиболее приближенно воспроизводит поля осадков.

Таким образом, смоделированный климат для базового периода более прохладный и менее сухой (исключая модель GFDL). То, что температура воздуха базового периода оказалась занижена практически всеми моделями, подтверждает сказанное выше о том, что модели более чувствительны к увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере, чем реальная климатическая система, так как плохо учитывают обратные связи. Исходя из этого следует ожидать, что оценка ожидаемого потепления климата окажется несколько завышенной.

Рассмотрим диапазон потенциального изменения климата, полученного с помощью всех пяти моделей. При построении сценариев изменения климата для получения сравнимых результатов по различным моделям использовалась та же широтно-долготная сетка, что и при оценке контрольных прогонов. Проведем сравнение полученных сценариев и выделим общие черты. На рис.2 представлены рассчитанные по различным моделям разности температуры и отношения количества осадков, осредненных по всей территории региона для климатических условий при $1xCO_2$ и $2xCO_2$. Анализ этих материалов позволяет заключить, что все модели дают рост температуры воздуха на всей территории Казахстана и во все сезоны года. Максимальный рост ожидается по моделям CCC и UKMO, средняя за год и по территории величина повышения температуры по этим моделям составляет $6,9^\circ C$. По остальным трем моделям эта величина около $5,0^\circ C$.

а



б

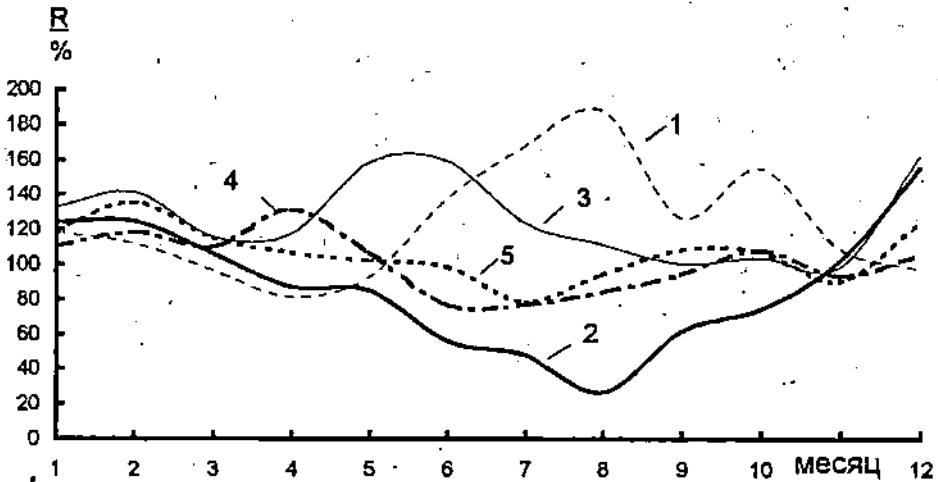


Рис. 2. Годовой ход потенциальных изменений температуры воздуха (а) и количества осадков (б) по сценариям различных моделей ОЦА.

1 - модель GFDL; 2 - модель UKMO; 3 - модель GISS; 4 - модель CCC; 5 - модель GFDL-T.

Модель ССС в отличие от других имеет выраженный годовой ход величины изменения температуры с максимумом в весенние месяцы (ΔT около $10,0^{\circ}\text{C}$) и минимумом в осенние (ΔT около $3,6^{\circ}\text{C}$). Остальные модели имеют более плавный годовой ход величины изменения температуры воздуха.

Ожидаемое изменение количества осадков характеризуется следующими особенностями. По сценариям моделей ССС и GFDL-T среднее по региону годовое количество осадков остается практически неизменным, по сценарию UKMO несколько уменьшается - на 12 %, а по сценариям GFDL и GISS - увеличивается на 24-27 %. Ожидаемые значения месячного количества осадков (см. рис.2) по моделям ССС и GFDL-T находятся в пределах нормы для базового периода (для осадков это 20 % от нормы), модель GFDL имеет хорошо выраженный максимум в летние и осенние месяцы - в августе R составляет около 190 %, модель GISS имеет максимум в мае-июне и в декабре (R около 160 %), модель UKMO предсказывает значительное уменьшение количества осадков в период с июня по сентябрь - R составляет около 30-60 % нормы.

И так, по всем рассмотренным сценариям ожидается повышение годовой и среднемесячной температуры приземного воздуха при практически неизменном количестве осадков, если брать во внимание годовые суммы. Хотя представленные здесь сценарии изменения климата в регионе не являются совершенными, как не совершенны сами модели ОЦА, но тот факт, что все модели предполагают дальнейшую аридизацию и без того достаточно засушливого климата нашего региона, является весьма неутешительным для природоemких отраслей экономики Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыко М.И. Изменение климата. - Л.: Гидрометеониздат, 1974. - 472 с.
2. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Вероятностный прогноз приземной глобальной температуры воздуха до 2005 года // Метеорология и гидрология. - 1991. - N.4. - С. 95-103.

3. A model-based climate change vulnerability and adaptation assessment for wheat yields in Kazakhstan /S.V. Mizina, I.B. Eserkepova, O.V. Pilifosova, E.F. Gossen, et al. // Adapting to climate change. - New York: Springer-Verlag New York Inc., - 1996. - P. 148 - 163.
4. Climate Change 1995. The science of climate change/ J.T. Houghton et al. (Ed.)// Cambridge, 1996. - 572 p.
5. Global Comparisons of Selected GCM Control Runs and Observed Climate Data. // Report, Editor Laurence S.Kalkstein. - 1991.- P. 252.
6. Golubtsov V.V., Lee V. I., Scotselias I. I. Anthropogenic Climate Change and Reduction of Water Resources: Adaptation Issues Related to the Economy in Kasakstan., in: Joel Smith et al. Adapting to Climate Change. Assessment and Issues., Springier NY Inc., - 1996. - P. 225-231.
7. Vulnerability and adaptation assessment for Kazakhstan/ O.V. Pilifosova, I.B. Eserkepova, G.N. Chichasov, S.V.Mizina, et al. // Vulnerability and adaptation to climate change. A Sinthesis of results from the U.S. Country Studies Program.- 1996. - P. 161-181.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

КЕҢ КӨЛЕМДІ КЛИМАТТЫҢ БОЛАШАҚ ӨЗГЕРІСІН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ ТУРАЛЫ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАН КЛИМАТЫНЫҢ ӨЗГЕРІС ЖОЛДАРЫ

С.А.Долгих
Геогр. ф. канд. О.В.Пилифосова

Климаттың болашақ өзгерісі жолдарын табу әдістері қаралды. Кәзіргі Қазақстан климатын берілген үлгінің негізі бойынша, жалпы атмосфера айналымының 5 үлгісі бойынша жаңадан өңдеудің сапалық бағасы берілді және CO₂ -нің атмосферада 2 есе өсу кезіндегі аймақ климатының өзгеру жолдары қаралды.