

# ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА В СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПОТЕПЛЕНИЕМ КЛИМАТА

В.П. МЕЛЕШКО

*Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова,*

*Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: [director@main.mgo.rssi.ru](mailto:director@main.mgo.rssi.ru)

The regional climate warming and its dependence on adopted scenarios of greenhouse gases increases are discussed in the study. The sources of errors in evaluation of climate change, such as hypotheses on radiative forcing and inadequate description of physical processes in climate models are also considered. Expected changes of climate in Russia during 21st century, as simulated by the new generation of IPCC AOGCM ensemble of models are analyzed. Particular attention was given to changes of surface air temperature, precipitation, runoff, soil moisture and some other variables on regional scale in relation to climate of the end of the 20th century. Statistical significance of changes is also evaluated. In conclusion some thoughts on needs of the further refinement of the regional climate evaluation are discussed that aimed at long-term adaptation measures to expected climate changes in Russian Federation.

## Введение

Изучение климата и его изменений представляет одну из наиболее сложных задач современной науки в силу чрезвычайной сложности взаимодействия физических, химических и биологических процессов, происходящих в природной среде. Данные наблюдений показывают, что глобальный и региональный климат меняется с начала доиндустриальной эпохи, и особенно значительные его изменения наблюдались в последней четверти 20 века. С другой стороны, исследования также показывают, что хозяйственная деятельность человека может оказывать влияние на климатическую систему, включающую атмосферу, океан, материковый и морской лед, поверхность суши и биосферу. В Третьем оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1] отмечалось, что в течение 20 века наблюдался беспрецедентный с начала эпохи индустриализации (1750 г.) рост концентрации парниковых газов в глобальной атмосфере<sup>1</sup>. Содержание в атмосфере двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) увеличилось на 31 %; такой рост не

---

<sup>1</sup>В настоящее время в атмосферу Земли ежегодно выбрасывается 7 млрд т двуокиси углерода, около 600 млн т метана, 16 млн т закиси азота, 70 млн т сульфатного аэрозоля. Перечисленные газы вызывают нарушение радиационного баланса климатической системы, что может служить первопричиной глобального потепления.

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2006.

наблюдался последние 20 тыс. лет. Содержание метана ( $\text{CH}_4$ ) увеличилось в 1.5 раза и продолжает расти; нынешняя концентрация  $\text{CH}_4$  не превышала последние 420 тыс. лет. Концентрация закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) увеличилась на 17 % и не превышала этой величины последние тысячи лет.

Примерно 75 % антропогенной эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу связано со сжиганием ископаемого топлива, а остальная доля вызвана уменьшением его стока в результате освоения новых земель и вырубке лесов. Скорость роста  $\text{CO}_2$  составляет в среднем 0.4 % в год за последние 20 лет; при этом океан и суша поглощают только половину эмиссии двуокиси углерода. Газовый состав атмосферы будет продолжать меняться в результате увеличения содержания в атмосфере указанных газов в течение 21 века. Непрерывно возрастающий объем наблюдений дает общую картину изменений климата, которые в принципе могут быть обусловлены как естественными колебаниями в системе атмосфера–океан–криосфера, так и антропогенным воздействием.

В Третьем оценочном докладе МГЭИК на основе данных наблюдений и многочисленных расчетов с помощью физико-математических моделей климата было отражено следующее.

1. Существует малая вероятность того, что потепление климата за последние 100 лет вызвано только его внутренней изменчивостью.

2. Климатические данные за последние 1000 лет показывают, что наблюдаемое потепление является необычным и маловероятно, чтобы оно было всецело естественным по своей природе.

3. Новые методы обнаружения и интерпретации климатических изменений указывают на наличие антропогенного сигнала в климатических наблюдениях за последние 35–50 лет.

4. Расчеты реакции климата на естественные воздействия (изменения солнечной постоянной и вулканическая активность) не могут объяснить потепление во второй половине 20 века. Однако эти расчеты воспроизводят потепление климата в первой половине 20 века с учетом роста парниковых газов в атмосфере.

5. Антропогенное потепление климата за последние 50 лет может быть установлено, несмотря на наличие неопределенностей, обусловленных влиянием естественных воздействий и внутренней изменчивости климатической системы.

Современные исследования показывают, что повышение глобальной приземной температуры воздуха будет продолжаться десятки и сотни лет, а повышение уровня Мирового океана — более тысячи лет, даже если рост выбросов парниковых газов может быть каким-то образом прекращен, так как климатическая система обладает большой инерцией и накопленные парниковые газы могут оставаться в атмосфере длительное время.

Расчеты с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) показывают, что изменения ряда важных характеристик климата на территории России качественно согласуются с данными наблюдений (приземная температура воздуха, сток, ледовитость северных морей и др.). Однако эти изменения происходят на фоне значительной естественной изменчивости разных временных масштабов — от межгодовой до многолетней и более долговременной.

## 1. Особенности климата России

Климат России характеризуется чрезвычайно большим разнообразием вследствие огромной протяженности ее территории и значительными сезонными изменениями темпера-

турного режима и влажности деятельного слоя почвы. Криосферные процессы играют важную роль в сезонных изменениях гидрологического режима на водосборах крупных рек. Так, в холодное время года на большей части России осадки выпадают в виде снега и аккумулируются в течение этого периода. Весной накопленная за зиму масса снега начинает быстро таять, вызывая весенние паводки и нанося значительный ущерб региональным инфраструктурам и различным видам хозяйственной деятельности. С наступлением лета верхний слой почвы иссушается, способствуя созданию засушливых условий в южных регионах России и Сибири.

На фоне глобального потепления региональные изменения климата России будут проявляться в разнообразных формах вследствие взаимодействия термических, гидрологических и криосферных процессов. Влияние этих изменений на отдельные виды хозяйственной деятельности может быть как благоприятным, так и пагубным. Данные наблюдений и модельных расчетов показывают, что значительная часть территории России находится в области заметно большего потепления по сравнению с глобальным.

## **2. Зависимость изменения климата от сценариев роста парниковых газов**

Межправительственной группой экспертов по изменениям климата разработаны долгосрочные сценарии эмиссии парниковых газов и аэрозоля в атмосферу [2]. Эти сценарии основаны на прогнозных оценках наиболее вероятных тенденций развития мирового сообщества в 21 веке и включают широкий перечень демографических, экономических и технологических факторов, определяющих эмиссии парниковых газов. Изменения концентраций газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и др.) в атмосфере в течение 21 века исследовались с помощью современных фотохимических и углеродных моделей [1].

Мультимодельные расчеты изменений климата 21 века, выполненные при различных сценариях роста парниковых газов в атмосфере (A2, A1B, B2 и B1), показывают, что региональное потепление на территории России, по существу, не зависит от выбранного сценария в первые 40–50 лет расчета, поскольку в начальный период они незначительно различаются и скорость потепления определяется концентрацией парниковых газов, уже накопленной в атмосфере за предшествующие годы. Это означает, что в климатической системе уже сформировался неравновесный радиационный режим и ее адаптация к новому состоянию потребует несколько десятков лет. Эти изменения в отдельно взятых моделях включают также межгодовую изменчивость климатической системы, которая фильтруется в средних изменениях, полученных по ансамблю МОЦАО. Аналогичный временной ход также проявляется в средних за год изменениях других переменных.

В работе основное внимание уделяется изменению климата до середины 21 века по сравнению с базовым периодом конца 20 века (1980–1999 гг.).

## **3. Неопределенности оценок изменения климата**

На различных этапах модельного прогноза изменения климата, вызванные ростом концентрации парниковых газов и аэрозоля, возникают неопределенности, которые вносят погрешности в конечные оценки. Всегда остаются неизвестными будущие изменения солнечной постоянной и активность вулканов, которые приводят к дополнительному наруше-

нию радиационного баланса глобальной атмосферы. Вместе с тем известно, что колебания потока солнечной радиации на верхней границе атмосферы на порядок меньше радиационного воздействия, которое оказывают парниковые газы, накопленные в атмосфере с начала индустриального периода. Что касается вулканической деятельности, то крупные эпизодические извержения, которые происходили в 20 веке, вызывали лишь кратковременные (до пяти лет) нарушения радиационного баланса глобальной атмосферы.

Затем следует рассчитать реакцию климатической системы на воздействие посредством моделирования климатически значимых физических и биохимических процессов. На каждом этапе на реальные изменения климата оказывают влияние ошибки описания физических процессов и внутренняя изменчивость климатической системы. Некоторые процессы в современных моделях могут отсутствовать, а учитываемые процессы могут содержать общие систематические погрешности. Это означает, что полученное по ансамблю моделей распределение изменений включает в себя некоторую неопределенность и степень этой неопределенности зависит от качества современных моделей.

#### 4. Модели МГЭИК нового поколения

В работе [3] приводятся результаты оценок изменения климата России в 21 веке, основанные на ансамбле из семи МОЦАО, расчеты по которым использовались при подготовке Третьего оценочного доклада МГЭИК. Эти модели созданы в 90-х годах, и пространственное разрешение их было относительно малым. В связи с подготовкой Четвертого доклада МГЭИК за последние пять лет было объявлено о создании новых тринадцати МОЦАО, которые принимали участие в расчетах климата 21 века. Поэтому новые оценки изменений климата России основаны на результатах этой серии экспериментов, проводившихся в рамках координированной программы МГЭИК. Ансамблевые расчеты большей размерности позволяют установить неопределенности изменений характеристик климата по разбросу моделей и оценить некоторые вероятностные параметры. Международному научному сообществу стали доступны мультимодельные расчеты климата 20 века при известном радиационном воздействии, а также расчеты возможных изменений климата 21 века при нескольких сценариях роста парниковых газов и аэрозоля в атмосфере (сценариях МГЭИК А1В, А2 и В1). Средние месячные поля для большого набора переменных, включая поля с суточным разрешением, собраны в едином формате и хранятся в базе данных Ливерморской лаборатории (США) под эгидой Программы диагностики и сравнения климатических моделей. Необходимая информация о программе и архивированных глобальных данных размещена на Интернет-сайте <http://www-pcmdi.llnl.gov/about/index.php>.

В работе рассматриваются расчеты с учетом сценария роста парниковых газов А2, хотя, как показано ранее, вопрос о выборе сценария не имеет принципиального значения, если исследуются изменения климата до середины 21 века.

В работах [1 и 4] обсуждается вопрос применения мультимодельного ансамбля при оценках будущих изменений климата и отмечаются преимущества такого подхода по сравнению с использованием одной модели, даже если она зарекомендовала себя как наиболее успешная при расчетах современного климата. Как известно, даже наиболее успешные модели содержат систематические ошибки, которые в мультимодельном ансамбле являются случайными и поэтому могут уменьшаться или исключаются полностью. При расчетах используется ансамбль из 16 моделей.

## 5. Ожидаемое потепление климата в 21 веке

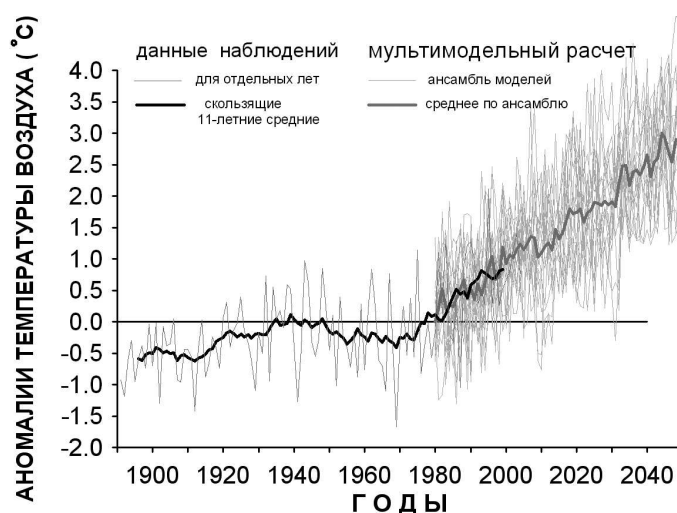
*Изменения приземной температуры воздуха.* Результаты модельных расчетов показывают, что в 21 веке Россия будет находиться в области заметно большего потепления по сравнению с глобальным, особенно арктические и субарктические регионы. Среднее за год потепление в середине века составит  $2.6 \pm 0.7^\circ\text{C}$ . Указанный диапазон изменения температуры характеризует разброс модельных оценок в ансамбле. Распределение ожидаемого потепления зависит от времени года и региона. Количественные значения среднего повышения температуры и их стандартные отклонения зимой и летом в трех регионах России, рассчитанные по ансамблю из 16 МОЦАО при сценарии роста парниковых газов А2, даны в табл. 1.

Все без исключения модели показывают потепление, которое оказывается наиболее значительным в холодное время года, особенно в Сибири. Летом, наоборот, потепление заметно меньше в указанных регионах. Изменения температуры во всех регионах России зимой и летом, полученные по ансамблевой выборке, являются статистически значимыми с доверительной вероятностью 95 %.

На рисунке показаны осредненные по всей России изменения аномалий средней за год приземной температуры воздуха, полученные по данным наблюдений и расчетов с помо-

Т а б л и ц а 1. Изменение температуры воздуха у земли ( $^\circ\text{C}$ ) зимой и летом в начале, середине и конце 21 века по отношению к базовому периоду 1980–1999 гг.

Период	Европейская часть России		Западная Сибирь		Восточная Сибирь	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
2011–2030	$1.2 \pm 0.9$	$0.9 \pm 0.5$	$1.4 \pm 0.7$	$0.8 \pm 0.5$	$1.5 \pm 0.6$	$0.7 \pm 0.4$
2041–2060	$3.4 \pm 0.9$	$2.1 \pm 0.7$	$3.4 \pm 1.0$	$2.0 \pm 0.8$	$3.6 \pm 0.9$	$1.7 \pm 0.7$
2080–2099	$6.8 \pm 1.4$	$4.2 \pm 1.4$	$7.2 \pm 1.8$	$4.4 \pm 1.4$	$7.7 \pm 1.7$	$3.9 \pm 1.4$



Временной ход изменения аномалий средней годовой приземной температуры воздуха России, полученных по данным наблюдений и рассчитанных по мультимодельному ансамблю из 16 МОЦАО с учетом сценария роста парниковых газов А2. Климатическая норма определена по данным 1961–1990 гг.

щью ансамбля из 16 МОЦАО. Из рисунка следует, что сглаженные тренды температуры по наблюдениям и расчетам хорошо согласуются между собой на временном интервале 1980–2000 гг. Это однако не означает, что аналогичное согласование трендов следует ожидать в регионах России вследствие большого влияния непредсказуемой естественной изменчивости климата, которая проявляется как в наблюдениях, так и в расчетах отдельных моделей.

*Изменения осадков.* Расчеты показывают, что в среднем за год осадки возрастают на  $8.2 \pm 2.5\%$  на территории России к середине века по отношению к количеству выпадающих осадков в базовый период 1980–1999 гг. Это, в первую очередь, объясняется увеличением влагоемкости атмосферы, особенно в холодное время года, а также интенсификацией гидрологического цикла летом. Как следует из табл. 2, преимущественный рост осадков зимой достаточно сильно проявляется в Западной и Восточной Сибири. Диапазон разброса оценок изменения по отношению к средним изменениям осадков существенно превышает аналогичный диапазон для температуры. Результаты изменения осадков во всех регионах России, полученные по ансамблевой выборке (использованы 16 моделей при сценарии роста парниковых газов А2), являются статистически значимыми с доверительной вероятностью 95% только зимой, начиная с середины 21 века.

Возможные изменения фазового состава осадков могут оказывать влияние на сезонное изменение гидрологического цикла и в первую очередь на изменение стоков зимой и интенсивность таяния снега весной. Рассмотрим три достаточно крупных по размерам региона России: Европейскую часть, Западную и Восточную Сибирь.

Из сравнения табл. 2 и 3 следует, что на Европейской территории России рост суммарных осадков происходит преимущественно за счет жидкой фазы, в то время как в Западной и Восточной Сибири основную долю роста суммарных осадков составляет твердая фаза (снег). Это означает, что здесь создаются условия для дополнительного накопления снежной массы в зимний период и последующего интенсивного ее таяния весной.

*Изменения влажности почвы.* Под влажностью верхнего слоя почвы здесь понимается количество воды, содержащееся в столбе единичной площади глубиной 10 см. С практической точки зрения влагосодержание почвы является чрезвычайно важным параметром,

Т а б л и ц а 2. Изменение суммарных осадков (%) зимой и летом в начале, середине и конце 21 века по отношению к базовому периоду 1980–1999 гг. Сценарий А2

Период	Европейская часть России		Западная Сибирь		Восточная Сибирь	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
2011–2030	$4.1 \pm 2.9$	$1.4 \pm 3.9$	$7.1 \pm 3.9$	$1.4 \pm 1.3$	$9.6 \pm 3.4$	$2.6 \pm 3.0$
2041–2060	$11.2 \pm 4.7$	$1.0 \pm 4.6$	$16.2 \pm 7.6$	$3.7 \pm 3.0$	$18.8 \pm 7.4$	$6.4 \pm 4.3$
2080–2099	$24.8 \pm 7.8$	$-2.0 \pm 8.8$	$39.2 \pm 11.3$	$7.2 \pm 6.3$	$45.1 \pm 14.3$	$13.5 \pm 7.4$

Т а б л и ц а 3. Изменение осадков твердой фазы (снег) зимой в 21 веке, рассчитанное по ансамблю из 16 МОЦАО в трех крупных регионах России (%) по отношению к суммарному количеству осадков в базовый период (1980–1999 гг.). Сценарий А2

Период	Европейская часть России	Западная Сибирь	Восточная Сибирь
2011–2030	$0.5 \pm 2.6$	$7.1 \pm 5.7$	$8.7 \pm 3.6$
2041–2060	$1.6 \pm 4.8$	$15.1 \pm 8.7$	$16.9 \pm 7.5$
2080–2099	$-1.7 \pm 11.3$	$31.3 \pm 16.1$	$36.4 \pm 17.0$

характеризующим условия на подстилающей поверхности. При потеплении климата засушливые условия начинают формироваться уже весной и усиливаются летом на большей части континента. Если в северных относительно увлажненных регионах России некоторое уменьшение влажности почвы, по-видимому, не будет иметь серьезных негативных последствий, то в южных регионах, которые периодически подвержены влиянию засух при современном климате, дальнейшее уменьшение влагосодержания почвы весной и летом приведет к повышению вероятности возникновения засух. Особого внимания заслуживают три российских региона: Южный, Центральный и Приволжский федеральные округа.

Несомненный интерес представляет вопрос, как может изменяться во времени влажность почвы в самом южном регионе России — Южном федеральном округе. Минимальное влагосодержание верхнего слоя почвы устанавливается в рассматриваемом регионе в июле и составляет 55 % от среднего за год. Наибольшие средние месячные уменьшения влажности почвы, выраженные в процентах по отношению к их значениям в базовый период, достигаются в июле и августе и составляют 9–10 % в середине 21 века. Несмотря на значительные изменения влажности почвы в регионе, эти расчеты имеют большую степень неопределенности вследствие значительного разброса оценок индивидуальных моделей. В результате полученные изменения оказались статистически значимыми при доверительной вероятности 95 % в половине месячных значений в середине века. Это означает, что для оценки такой важной характеристики климата, как влажность почвы, требуется дальнейшее совершенствование методов моделирования тепло- и влагообмена между атмосферой, с одной стороны, и подстилающей поверхностью и деятельным слоем почвы — с другой.

*Изменения годовых и сезонных стоков на водосборах крупных рек.* Изменения годового стока в середине 21 века на территории России и сопредельных регионов рассчитывались по ансамблю из 13 МОЦАО. Рост среднегодовых осадков при потеплении климата приводит к заметному увеличению стока на водосборах крупных речных систем при условии, что увеличение испарения не превышает роста осадков. Кроме того, на водосборах южных рек, где ожидается слабый рост осадков или его отсутствие, годовой сток может заметно сокращаться в результате увеличения испарения.

Наибольший рост годового стока ожидается на водосборах северных и сибирских рек, и он может составить 8 % в начале и 17 % в конце века. Однако имеется лишь один бассейн, который включает несколько крупных рек (Днепр, Дон, Днестр) и где следует ожидать уменьшения годовых стоков в 21 веке.

Следует отметить, что МОЦАО дают большой разброс оценок изменения стоков на большинстве водосборов по отношению к среднему по ансамблю. В результате только к середине столетия выделяются некоторые водосборы, в первую очередь Лена, Енисей, северные и чукотские реки, на которых изменения годовых стоков заметно превышают значения межмодельного разброса. Оценка доверительных интервалов для вероятности 95 % показывает, что на большинстве водосборов изменения стоков оказались статистически значимы. Исключением является лишь водосбор Волга — Урал.

Большой практический интерес представляет вопрос о том, как перераспределяются стоки в годовом цикле при потеплении климата. Известно, что годовой цикл речного стока определяется процессами накопления снега зимой и его таянием весной и в начале лета. Жидкие осадки и таяние снега на поверхности почвы играют определяющую роль при формировании поверхностного стока и стока грунтовых вод. Данные наблюдений и результаты расчетов показывают, что в целом по России максимальный сток приходится на три месяца года (апрель–июнь) и составляет 62 % от полного годового стока. Из этого

следует, насколько важным при оценках последствий на хозяйственную деятельность может быть перераспределение этой доли стока, вызванное ускоренным таянием снега при потеплении климата.

Основными особенностями гидрологического цикла на территории России являются формирование зимнего минимума и весеннего максимума, обусловленных преимущественным выпадением осадков в твердой фазе в первом случае и интенсивным таянием накопленного снега во втором. Причем в Сибири этот максимум наступает на 1–2 месяца позже по сравнению с Европейской территорией России и оказывается наиболее выраженным в Западной Сибири. Более того, формирование зимнего стока наиболее выражено на Европейской территории России. Заметный вклад в летний сток в Восточной Сибири также вносят осадки.

При потеплении климата помимо роста среднего за год стока будет также происходить его сезонное перераспределение, особенно зимой и весной. В настоящей работе оценивались изменения месячных стоков и таяния снега в различных регионах России в процентах по отношению к годовому стоку в базовый период.

На Европейской территории России максимальный сток приходится на апрель и его рост ожидается на 3.9 % в начале века и на 7.3 % в середине века. Основная доля прироста стока приходится на холодную половину года (октябрь — март) вследствие роста осадков, особенно жидких. Рост стока за этот период составит 4.7 и 11.7 % соответственно в начале и середине 21 века. С другой стороны, весной и в начале лета (апрель — июнь), когда сток достигает максимальных значений в базовый период, ожидается его падение на 1.2 и 5.0 % в начале и середине века из-за уменьшения массы снега. Важный вклад в изменение стока вносят сезонные колебания интенсивности таяния снега. Так, в октябре — марте таяние возрастает на 1.2 и 5.9 % в начале и середине века, а в апреле — июне — уменьшается на 3.0 и 11.4 % соответственно.

В Западной Сибири максимальный сток приходится на май в базовый период и его рост ожидается на 5.4 % в начале века и на 10.6 % в середине века в результате роста осадков в течение всего года и особенно зимой. Наибольшее увеличение стока происходит в марте — мае в результате таяния большого количества снега, накопленного за зиму. Так, рост стока в этот период может увеличиться на 4.0 % в начале века и на 8.5 % в середине века. Уменьшение стока ожидается только в июне на 1.1 и 2.8 % соответственно. Основной вклад в перераспределение стока весной и в начале лета вносит таяние снега, интенсивность которого особенно возрастает в марте — апреле на 3.3 и 8.8 %, уменьшается в мае — июне на 2.7 и 7.2 % для указанных выше периодов.

В Восточной Сибири максимальный сток также приходится на май, однако его сезонное распределение больше смещено к лету. В этом регионе следует ожидать наибольший рост годовых стоков по сравнению с ранее рассмотренными. Расчеты показывают, что он может увеличиться на 6.4 % в начале века и на 14.4 % в середине века. Наибольшее его увеличение приходится на апрель — май и составляет 4.6 и 9.1 % по отношению к среднему за год, это связано преимущественно с ростом таяния снега в этот период, который составляет 4.3 и 8.4 % соответственно. Незначительное уменьшение стока следует ожидать только в июне в результате более раннего таяния снега. Это уменьшение составит соответственно 0.7 и 2.0 %. В отличие от Европейской территории России потепление климата здесь практически не вызывает роста стока зимой, поскольку в этот период температуры воздуха остаются низкими и интенсивное таяние снега начинается только с апреля. Некоторый рост стока в период июль — ноябрь (соответственно на 2.0 и 6.6 %) обусловлен увеличением жидких осадков, преимущественно на Дальнем Востоке.



Таким образом, при потеплении климата на Европейской территории России следует ожидать уменьшения вероятности возникновения весенних паводков, а в Западной и Восточной Сибири, наоборот, предполагается их рост.

## Заключение

Значительная часть современных исследований посвящается изучению ожидаемых изменений климата 21 века. Этот вопрос, несомненно, заслуживает пристального внимания и широко освещается в средствах массовой информации. Вместе с тем из-за чрезвычайно большой инерции климатической системы, огромной теплоемкости Мирового океана и большой памяти других компонентов климатической системы (ледники и биосфера) антропогенное изменение климатической системы в результате накопленных в атмосфере парниковых газов будет происходить в течение нескольких столетий. Это означает, что потенциально серьезная угроза, связанная с глобальным потеплением, ожидается в более отдаленной перспективе, если рост парниковых газов будет продолжаться. С другой стороны, долговременные программы ранних превентивных мер, рассчитанные на реализацию в течение нескольких десятков лет, являются недостаточно убедительными для правительственных организаций, которые не готовы рассматривать долговременные программы, направленные на предотвращение негативных последствий, связанных с потеплением климата за пределами 10–20 лет.

Глобальное потепление создает для России — с учетом ее географического положения, экономического потенциала, демографических проблем и геополитических интересов — ситуацию, когда руководству страны необходимо осознать возможные последствия изменения климата для национальных интересов, целесообразность разработки долговременных программ и выработки внутренней и внешней политики в отношении возникающих экологических проблем мирового масштаба.

Антропогенное потепление будет иметь значимые последствия для экосистем, экономики и населения различных регионов России, причем как благоприятные, так и пагубные. Смягчение климатических условий может отодвинуть к северу границу зоны комфортного проживания, сократить потребление энергии в отопительный сезон. Кроме того, потепление чревато вытеснением одних биологических видов другими, ростом повторяемости засух в одних регионах и наводнений в других, протаиванием вечномерзлых грунтов, которое может нанести серьезный ущерб строениям и коммуникациям в северных регионах России. При этом неопределенность влияния возможного изменения климата на сельское хозяйство России, ее водные ресурсы, растительный и животный мир, демографическую ситуацию весьма велика. Снижение существующего уровня неопределенности оценок изменений климата и их последствий для России с целью своевременного принятия надлежащих адаптационных мер может иметь очень большой экономический эффект.

## Список литературы

- [1] CLIMATE Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. (Eds). Cambridge: Cambridge Univ. Press, N.Y.: United Kingdom and New York, IPCC, 2001. 881 p.

- [2] IPCC-TGCI: Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1. Prepared by Carter T.R., M. Hulme, and M. Lal, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 1999. 69 p.
- [3] МЕЛЕШКО В.П., КАТЦОВ В.М., ГОВОРКОВА В.А. и др. Антропогенные изменения климата в 21 веке в северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2004. № 7. С. 5–26.
- [4] PHILLIPS T.J., GLECKLER P.J. Evaluation of continental precipitation in 20<sup>th</sup> century climate simulations: Utility of multi-model statistics // Water Resources Research. 2005. Vol. 42. W03202.
- [5] RÄISÄNEN J. Probability distribution of CO<sub>2</sub>-induced global warming as inferred directly from multimodel ensemble simulations // Geophysica. 2005. Vol. 41, N 1–2. P. 19–30.

*Поступила в редакцию 19 октября 2006 г.*