

Г.М. Виноградова¹, Н.Н. Завалишин¹, В.И. Кузин²

Внутривековые изменения климата Восточной Сибири

¹ Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт Роскомгидромета РФ,

² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 13.02.2002 г.

Целью настоящего исследования является продолжение анализа внутривековых изменений климата по данным длиннорядных станций. Проведено изучение изменчивости приземной температуры и осадков для Восточной Сибири. В статье также сделана попытка выделить связи прошедших климатических изменений с изменениями циркуляционного режима атмосферы северного полушария и выявить закономерности, которые бы могли стать основой оценки климатических изменений на ближайшие 10–20 лет.

В начале 2000 г. были рассмотрены и приняты основные разделы третьего доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (ТДО МГЭИК). Основная их часть опубликована в [1]. В отечественной научной литературе современные представления о наблюдаемых изменениях климата, климатических моделях, роли антропогенного воздействия на климат и ожидаемых изменениях климата наиболее полно, на наш взгляд, изложены в работе [2].

В течение XX в. глобальная температура воздуха у поверхности земли увеличилась на $(0,6 \pm 0,2)$ °С. Наибольшее потепление глобальной температуры воздуха отмечалось с 1910 по 1945 г. и с 1976 по 2000 г., а в 1946–1975 гг. наблюдалось некоторое похолодание. Увеличение температуры воздуха у поверхности земли происходило в основном за счет увеличения ночных минимальных температур. Это привело к увеличению безморозного периода во многих районах средних и высоких широт.

Уровень Мирового океана за прошедший век повысился на 0,1–0,2 м; наблюдения за температурой нижних слоев океана указывают на рост теплоемкости океана с конца 1950-х гг. Количество атмосферных осадков в XX в. увеличивалось на 0,5–1,0% за десятилетие в большинстве районов высоких и средних широт северного полушария.

Несмотря на достигнутые успехи в области изучения изменений климата, ряд вопросов, связанных с интерпретацией современных изменений климата, с региональными откликами на изменения климата более крупного масштаба, с оценками будущих изменений климатических параметров, остаются недостаточно изученными. Анализ изменений климата в Западной Сибири, проведенный на основе 100-летних данных по среднемесячной приземной температуре воздуха, месячным суммам осадков и индексам атмосферной циркуляции *W*, *E*, *C* Вангенгейма–Гирса, представлен в работах [3, 4]. Для получения более целостной картины климатических изменений и их связи с атмосферной циркуляцией северного полушария анализ внутривековых изменений климата был продолжен по Восточной Сибири.

1. Исходные данные

Для анализа привлекались данные за период 1901–2000 гг. по среднемесячной приземной температуре воздуха, месячным суммам осадков, месячным индексам атмосферной циркуляции Вангенгейма–Гирса в первом и втором «естественном синоптическом районах» (далее – ЕСР). Первый ЕСР – территория северного полушария севернее 30° с.ш. от Гренландии до Таймыра – характеризуется индексами *W* (западная форма циркуляции), *E* (восточная), *C* (меридиональная). Второй ЕСР – территория северного полушария севернее 30° с.ш. от Таймыра до Берингова пролива – характеризуется индексами *Z* (западная), *M1* (меридиональная), *M2* (восточная форма циркуляции). Данные по указанным индексам циркуляции атмосферы брались из Каталога макросиноптических процессов, который создан и поддерживается отделом долгосрочных метеорологических прогнозов Научно-исследовательского института Арктики и Антарктики (Санкт-Петербург).

Территория Восточной Сибири разделена на северную и южную части с границей раздела по 60° с.ш. на основе анализа естественных ортогональных функций (ЕОФ), о чем более подробно будет сказано ниже. По температуре воздуха 12 гидрометеостанций разделены на 7 «северных» (Диксон, Челюскин, Туруханск, Тура, Подкаменная Тунгуска, Ербогачен, Вилюйск) и 5 «южных» (Красноярск, Киренск, Нижнеудинск, Чита, Иркутск). По осадкам 10 гидрометеостанций разделены на 4 «северных» (Тура, Туруханск, Подкаменная Тунгуска, Вилюйск) и 6 «южных» (Красноярск, Киренск, Братск, Иркутск, Нижнеудинск, Улан-Удэ).

2. Методика

Согласно решению Всемирной метеорологической организации для анализа климата рекомендовано использовать 30-летние периоды осреднения данных. Общепринятыми являются три периода осреднения: 1901–1930, 1931–1960 и 1961–1990 гг. Для

анализа изменений климата на первом этапе использовались естественные ортогональные функции для выделения пространственно однородных частей региона, а затем применялись скользящие 30-летние средние значения, причем первая осредненная точка относилась к 1915 г., а последняя — к 1985 г. Анализ проводился в годовом, сезонном и месячном раз-

решении, причем сезоны определялись следующим образом: весна — март — май, лето — июнь — август, осень — сентябрь — ноябрь, зима — декабрь, январь, февраль. Метеоэлементы анализируются в форме вековых аномалий, т.е. из сезонных значений вычитаются их средние за 1901–2000 гг., которые представлены в таблице.

Средние значения сезонных метеоэлементов по Восточной Сибири (за период 1901–2000 гг.)

Метеоэлемент	Сезон				Год
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Температура приземного воздуха, °С:					
Север	–28,2	–9,8	10,8	–7,9	–8,67
Юг	–20,6	–0,4	16,1	–1,4	–1,44
Сумма атмосферных осадков, мм:					
Север	63	71	169	122	425
Юг	37	52	208	82	380
Индексы атмосферной циркуляции:					
<i>Z</i>	28,8	36,0	34,0	42,9	141,6
<i>M1</i>	13,6	21,4	38,8	17,1	91,0
<i>M2</i>	47,8	34,6	19,2	31,0	132,7

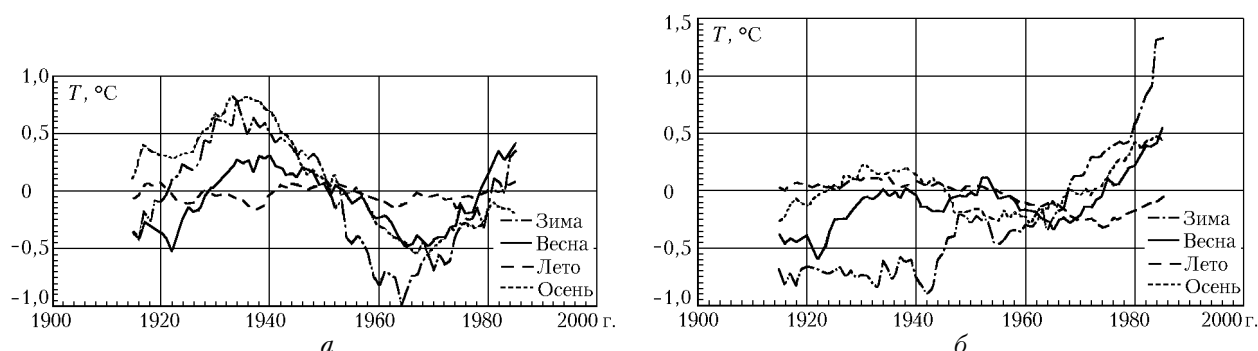


Рис. 1. Аномалии среднесезонных температур воздуха по регионам Восточной Сибири, сглаженные 30-летней скользящей средней: *a* — север; *б* — юг

3. Анализ приземной температуры воздуха

Переход от исходных рядов среднемесячных температур воздуха к их ЕОФ показывает, что 3/4 изменчивости температуры региона сосредоточено в двух первых ЕОФ. При этом ЕОФ-1 можно с хорошим приближением интерпретировать как среднее по всему региону, а ЕОФ-2 как разницу средних (контраст) между северной и южной частями Восточной Сибири. Граница раздела проходит в районе 60° с.ш. По этой причине основное внимание при анализе изменчивости температуры необходимо сосредоточить на ЕОФ-1, ЕОФ-2 или эквивалентной им паре характеристик: средние значения по северу и по югу региона.

Сглаженная по 30 годам среднесезонная температура воздуха в отдельности для севера и юга Восточной Сибири представлена на рис. 1. За прошедшее столетие среднегодовая температура воздуха увеличилась на 0,9° по югу и на 0,4° по северу Вос-

точной Сибири. Потепление произошло в основном по югу региона за счет зимнего, весеннего и осеннего сезонов, где оно составило 2; 0,9; 0,9° соответственно. Следует также отметить, что наибольшее потепление произошло в последние 20–25 лет.

4. Анализ изменчивости атмосферных осадков

Рассмотрение ЕОФ показывает, что, как и в случае анализа приземной температуры, целесообразно перейти к раздельному анализу севера и юга Восточной Сибири, так как ЕОФ-1 и ЕОФ-2 имеют аналогичную температуре интерпретацию и представляют половину общей изменчивости осадков.

Сглаженные по 30 годам аномалии суммы сезонных осадков представлены на рис. 2. За прошедший век годовое количество осадков в Восточной Сибири увеличилось, особенно по северу территории (на 80 мм).

В целом, изменчивость сезонных осадков по северу и югу региона схожа, но по югу осадков меньше

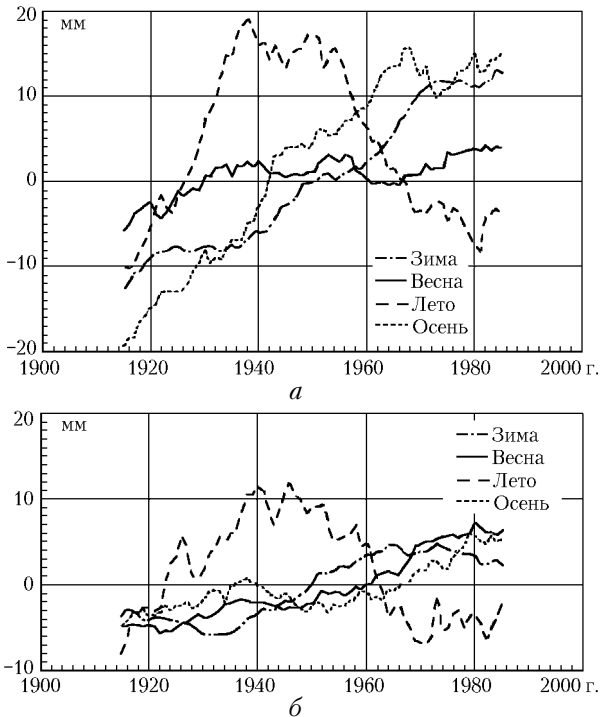


Рис. 2. Аномалии сезонных сумм осадков по регионам Восточной Сибири, сглаженные 30-летней скользящей средней: *а* – север; *б* – юг

и рост их менее значителен, за исключением летнего сезона, в котором увеличение осадков в первой половине века сменялось их уменьшением во второй половине прошедшего века.

5. Анализ атмосферной циркуляции

Исходные данные представляют собой количество дней в месяце с каждой из форм циркуляции в первом (*W*, *E*, *C*) и во втором (*З*, *М1*, *М2*) ЕСР. Формы циркуляции связаны с определенным характером преобладающих тропосферных переносов. Так, при западной форме циркуляции (*W*, *З*) барические образования смещаются преимущественно с Атлантики по направлению с запада на восток. Температурный градиент между тропиками и полюсами усилен, в толще тропосферы преобладает интенсивный западный перенос воздушных масс. Меридиональный массо- и теплообмен ослаблен.

Характерно развитие и распространение с запада на восток волн малой амплитуды и связанных с ними подвижных приземных циклонов и антициклонов атмосферных фронтов. При меридиональной форме циркуляции (*C*, *М1*) межширотный тепло- и воздухообмен в северном полушарии усилен. Мощные меридиональные массопереносы зимой сосредоточены над океанами, а летом – над материками. Исландская депрессия ослаблена. Большие очаги холода располагаются над Канадой и Восточной Сибирью. В Западной Сибири преобладает теплая погода. Процессы восточной формы (*E*, *М2*) связаны с перемещением барических образований, преимущественно антициклонов, с востока в западном направлении.

Сибирский антициклон хорошо развит и сдвинут относительно своего климатического положения к западу. Одним из основных вариантов установления процессов восточной формы циркуляции является «надвижение сибирского антициклона».

Сглаженные по 30 годам индексы атмосферной циркуляции представлены на рис. 3 (первый ЕСР) и на рис. 4 (второй ЕСР). Анализ графиков показывает, что индексы циркуляции в XX столетии вели себя весьма упорядоченно, а именно: в первом ЕСР преимущественное развитие до 70-х гг. имела восточная форма циркуляции *E*, а затем началось увеличение числа дней с западным переносом, особенно хорошо

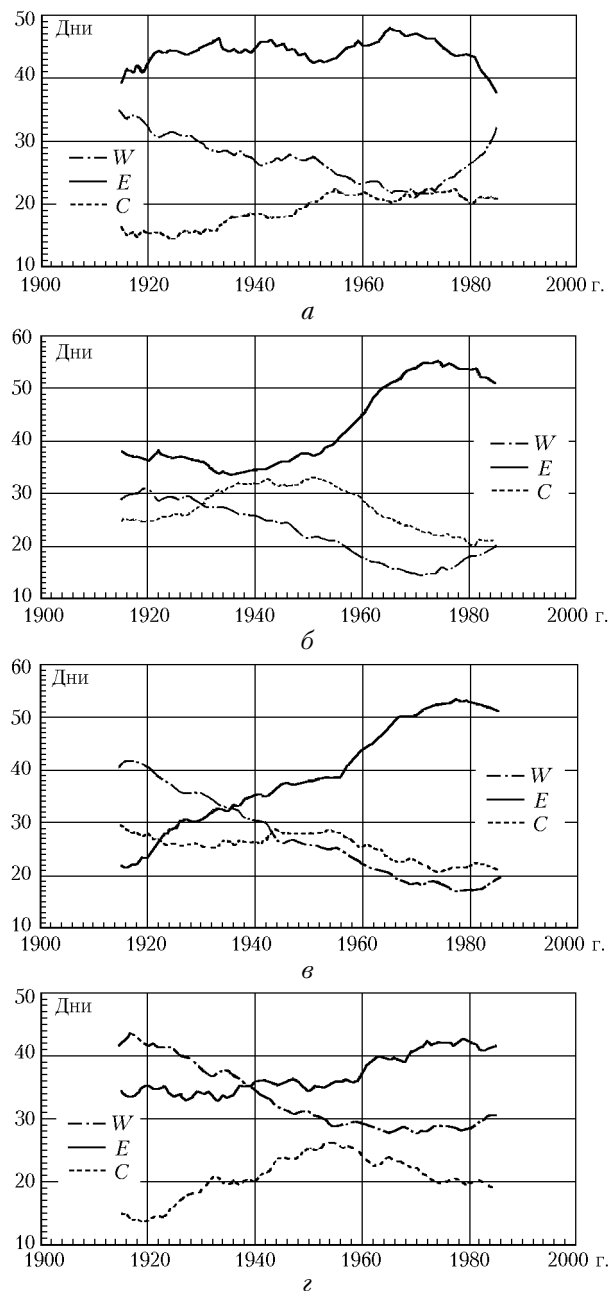


Рис. 3. Сглаженные по 30 годам индексы атмосферной циркуляции по первому ЕСР. Сезонные значения: *а* – зима; *б* – весна; *в* – лето; *г* – осень

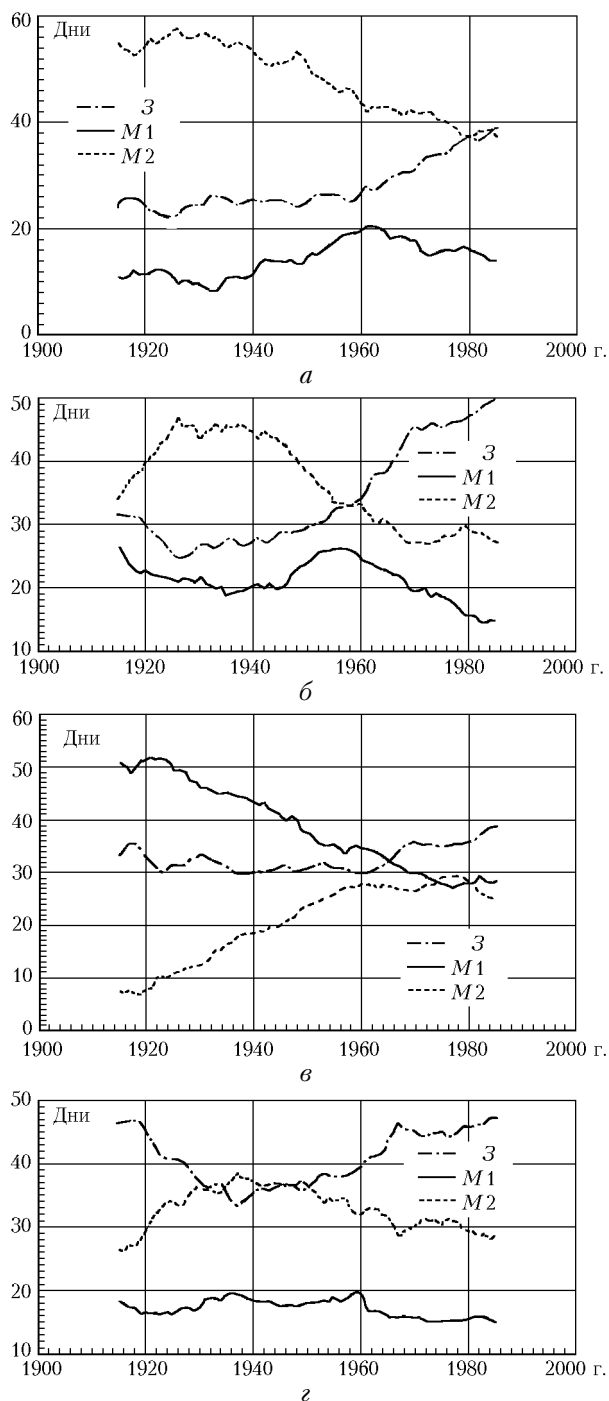


Рис. 4. Сглаженные по 30 годам индексы атмосферной циркуляции по второму ЕСР. Сезонные значения: а – зима; б – весна; в – лето; з – осень

выраженное в зимний сезон. Во втором ЕСР число дней с различными формами циркуляции находилось около нормы до 1960 г., а потом началось преобладание зональной формы циркуляции, особенно усилившееся с середины 70-х гг.

G.M. Vinogradova, N.N. Zavalishin, V.I. Kuzin. Intrasecular climatic changes in Eastern Siberia.

The main objective of the present study is a continuation of the analysis of intrasecular climatic changes based on the long-term measurements. The study of the variability of the surface temperature and precipitation for Eastern Siberia was carried out. Also, the attempts were made to find a connection of the past climatic changes with changes of the North Hemisphere atmospheric circulation and to separate regularities which may help to estimate the future climatic changes for 10–20 years.

Таким образом, последняя четверть XX в., на которую приходится наиболее интенсивный рост температуры и в северном полушарии в целом, и в исследуемых регионах Сибири, характеризуется преобладанием и усилением во всей толще тропосферы от Гренландии до Берингова пролива (третий ЕСР мы не рассматриваем) западного переноса, особенно в зимний сезон. Если рост температуры есть результат антропогенного воздействия, то одним из циркуляционных механизмов этого воздействия может быть регенерация циклонов над крупными промышленно-развитыми районами и за счет этого более длительное их существование и более интенсивное смещение в глубь Евразии, вплоть до Восточной Сибири.

Выводы

1. В XX столетии на территории Восточной Сибири, так же как и в глобальном масштабе, имел место рост приземной температуры воздуха. Величина роста по северу региона соизмерима с ростом среднегодовой глобальной температуры и составляет $0,4^\circ$, а по югу несколько выше роста средней глобальной температуры и составляет $0,9^\circ$ за столетие. Основной вклад в увеличение среднегодовой температуры воздуха внес зимний сезон: 2° за столетие.

2. В течение XX в. в Восточной Сибири произошло значительное увеличение количества годовых осадков, особенно по северу региона (на 80 мм).

3. Анализ макроциркуляционных характеристик атмосферы в первом и втором ЕСР показывает значительное увеличение индексов зональной циркуляции, особенно в последней четверти XX в., что свидетельствует об усилении приземной циклонической деятельности и проникновении воздушных масс с Атлантики далеко в глубь континента Евразии, вплоть до Восточной Сибири.

Работа поддержана грантом РФФИ № 99-05-64684, грантом поддержки ведущих научных школ № 00-15-98543, интеграционным проектом СО РАН-56.

1. *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Summary for Policymakers and Technical Summary. WMO/UNEP. 2001.*
2. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорол. и гидрол. 2001. Т. 14. № 5. С. 5–21.
3. Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И., Пушистов П.Ю. О внутривековых колебаниях климата в Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 475–480.
4. Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И. Изменчивость сезонных характеристик климата Сибири в течение XX века // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 14. № 6–7. С. 604–607.