

Пространственно-временная динамика климата на Урале во второй половине XX века

Ю. В. Шалаумова*, В. В. Фомин*,

Д. С. Капралов*

Проведен анализ динамики приземной температуры воздуха и количества выпадающих осадков на Полярном, Северном и Южном Урале в XX в. На основе данных инструментальных измерений метеостанций с использованием множественного регрессионного анализа и растрового моделирования в географической информационной системе построены карты распределения температуры на Урале с 1961 по 2000 г. с учетом рельефа. Установлено северо-восточное направление градиента потепления и увеличения количества выпадающих осадков за исследуемый период. Проведен анализ временных рядов аномалий средней годовой температуры воздуха и количества осадков в XX в. на трех метеостанциях, расположенных на Полярном, Северном и Южном Урале. Установлена тенденция увеличения значений аномалий средней годовой температуры и суммарного количества осадков.

Введение

Проблема оценки изменения климата в настоящее время находится в центре внимания научного сообщества. Многочисленные исследования позволили установить изменения в климатической системе Земли на глобальном [1, 7, 18, 24] и региональном уровнях [3, 4, 9, 11, 15]. Характерной особенностью потепления и увеличения влажности является однонаправленное изменение как положительных, так и отрицательных аномальных отклонений для конкретных территорий, что усугубляет возможные последствия климатических колебаний при засушливом или избыточно увлажненном климате [18]. За период с 1906 по 2005 г. изменение средней глобальной температуры воздуха составило $0,74^{\circ}\text{C}$ [24]. Установлено увеличение количества материковых осадков в XX в. на 5—10% [7].

Тенденция к современному повышению глобальной температуры прослеживается с конца XIX — начала XX в. по настоящее время. Незначительное уменьшение температуры происходило с 1946 по 1975 г. [4]. По последним оценкам [24], наиболее интенсивное потепление наблюдается в течение последних 12 лет (1995—2006 гг.), одиннадцать из которых относят к 12 самым теплым годам за весь период инструментальных наблюдений.

Для Северного полушария за период 1856—2005 гг. скорость потепления оценивают в $0,46^{\circ}\text{C}/100$ лет. В большинстве районов, относящихся к высоким и средним широтам Северного полушария, в XX в. увеличение

* Уральский государственный лесотехнический университет; e-mail: fomval@gmail.com.

количества осадков составило 0,5—1% за десятилетие [17]. В России повышение температуры в XX в. во все сезоны превышало соответствующие оценки для земного шара и Северного полушария в целом, а в период 1886—2004 гг. составило 1°C/100 лет [19]. Также наблюдается тенденция небольшого увеличения количества осадков на европейской территории России за последнее столетие (1901—2000 гг.) в отличие от восточных и южных регионов страны [17, 19].

Для Урала оценка изменения климата по данным инструментальных наблюдений представлена в работах [9, 15, 21]. Анализ климата Уральского региона также проведен с помощью палеорекострукции на основе дендрохронологических [2] и геотермических данных [5]. Эти исследования хорошо согласуются между собой, а также с данными инструментальных наблюдений на метеостанциях за последние полтора столетия.

По результатам описанных выше исследований можно судить о наибольшем повышении температуры в южных районах Центральной Сибири и на крайнем северо-востоке России [19]. В Западной Сибири за период 1901—1996 гг. температура повысилась почти на 1°C [9]. Максимальные положительные аномалии температуры воздуха зафиксированы в зимний и весенний сезоны [4, 6, 9, 17, 19], что в свою очередь обусловило увеличение продолжительности вегетационного периода [1]. В связи с недостаточной изученностью климатологии осадков, по сравнению с климатологией температуры, можно сказать лишь об общей тенденции к увеличению количества осадков на Урале в последние годы вследствие увеличения повторяемости сильных осадков [9, 11].

В данной работе приведены результаты анализа пространственно-временной динамики климата Урала во второй половине XX в., проведенного на основе данных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях. Такой анализ очень важен для задач, связанных с оценкой реакции наземных экосистем на изменение климата [10, 22, 23, 25].

На горных массивах Урала в XX веке было зафиксировано повторное за последнее тысячелетие поднятие верхней границы леса, в прошлом отмеченное в период Средневековья (1100—1200 гг.) [5, 10, 22, 25]. Установлено, что за последнее столетие произошло значительное увеличение густоты, сомкнутости крон и продуктивности древостоев в экотоне верхней границы леса, а также увеличение степени облесенности территории (рис. 1). Экспансия древесной растительности в горную тундру, по-видимому, обусловлена повышением температуры воздуха в летнее и, особенно, в зимнее время [14], а также увеличением длительности вегетационного периода, так как для древостоев, произрастающих на верхнем пределе своего распространения, эти факторы являются лимитирующими [23].

Учитывая практическую значимость происходящего потепления и увеличения влажности и их влияние на биопродуктивность растительности на горных массивах, которая в свою очередь оказывает влияние на климат, представляется необходимым проведение исследований изменения температуры воздуха и выпадения осадков на территории Урала в XX в.

Цель работы — анализ пространственно-временной динамики приземной температуры воздуха и количества выпадающих осадков на территории Урала во второй половине XX в., обусловленный необходимостью

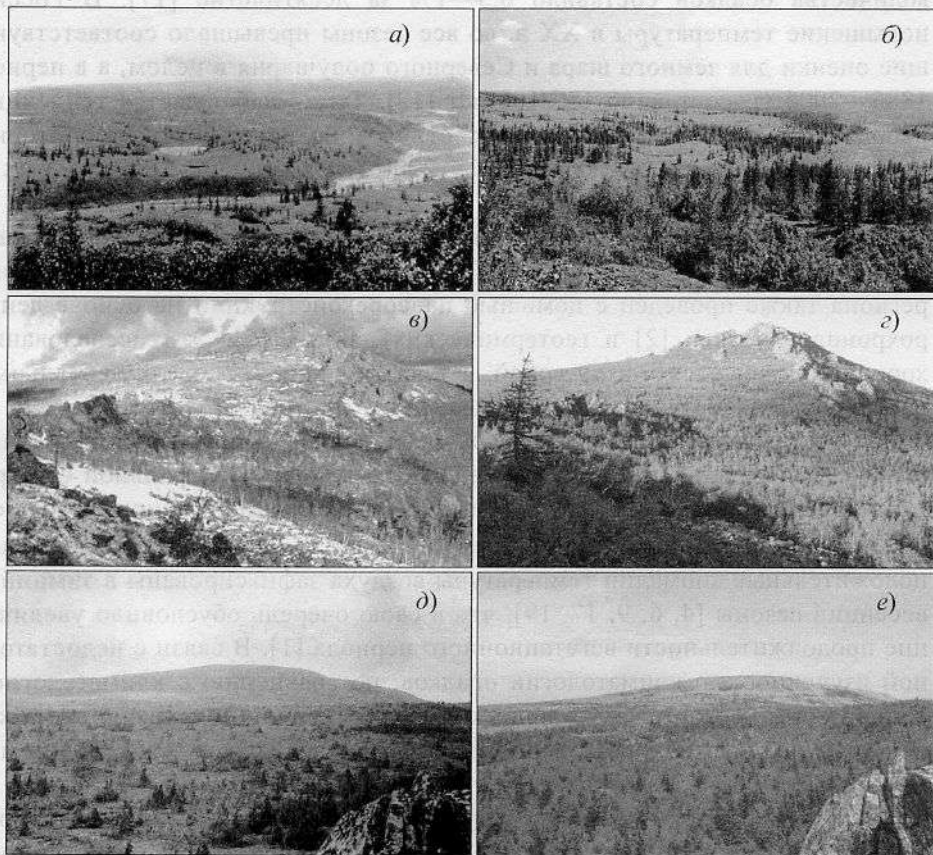


Рис. 1. Ландшафтные фотографии.

a, б — массив Рай-Из, Полярный Урал (С. Г. Шиятов, 1965 г. (*a*), 2005 г. (*б*)); *в, г* — г. Конжаковский Камень, Северный Урал (С. Г. Шиятов, 1956 г. (*в*), П. А. Моисеев, 2006 г. (*г*)); *д, е* — г. Малый Ирмель, Южный Урал (С. Г. Шиятов, 1973 г. (*д*), В. В. Фомин, 2006 г. (*е*)).

уточнения общих моделей изменения климата в масштабе региона с учетом сложнорасчлененного рельефа.

Объекты и методика исследований

Урал является уникальным регионом для изучения климата благодаря значительной меридиональной протяженности и расположению в северных широтах с преобладанием континентального типа климата, которые наиболее чувствительны к влиянию происходящего глобального повышения температуры воздуха [6]. Это позволяет более детально оценить последствия потепления и увеличения количества осадков в горных районах.

Климат на Урале формируется в основном под воздействием воздушных масс с запада — атлантических, с севера — арктических, при этом большая часть осадков выпадает на западных склонах Уральских гор.

Анализ пространственно-временной динамики климата проведен по средним месячным данным инструментальных наблюдений, опубликованным в метеорологических ежемесячниках [12] и международных банках

данных. В работе использованы данные метеостанций, расположенных на территории Уральских гор и прилегающих территориях Русской равнины и Западно-Сибирской низменности от 55 до 68° в. д. Исследования изменения временных рядов температуры воздуха и осадков на Полярном, Северном и Южном Урале были проведены по трем станциям: Салехард, Бисер и Златоуст. Выбранные станции имеют наиболее длинные и полные ряды значений метеорологических величин. Высота расположения станций: Салехард — 16 м, Бисер — 463 м, Златоуст — 468 м. Имеющиеся данные о средней месячной температуре воздуха представлены с 1883 по 2004 г., об осадках — с 1891 по 2004 г. Для анализа рядов температуры и осадков на этих метеостанциях выбраны следующие временные периоды: год, весенний (март — май), летний (июнь — август), осенний (сентябрь — ноябрь), зимний (декабрь — февраль) сезоны, а также вегетационный (май — август) и холодный (ноябрь — март).

Предварительно была рассчитана средняя температура воздуха по временным периодам как отношение суммы произведений средней месячной температуры на число дней в месяце (по числу месяцев в расчетном периоде) к числу дней в расчетном периоде. Данные об осадках представлены в виде суммарных значений выпавших за каждый месяц осадков в расчетном периоде. Неоднородность длинных временных рядов осадков на трех станциях была устранена путем введения переходных коэффициентов от показаний дождемера с защитой Нифера к показаниям осадкомера с защитой Третьякова (до начала 1950-х годов) и исключением поправок на смачивание (с 1966 г.), опубликованных в «Справочнике по климату СССР» [20], согласно рекомендациям по гомогенизации данных об атмосферных осадках, приведенным в работах [13, 19]. Аномалии средней температуры воздуха и суммарного количества осадков за каждый год определяли как разность между текущим значением и средним в базовом периоде (1961—1990 гг.).

Количественная оценка климатических условий и степени засушливости получена с помощью плювиотермического коэффициента, являющегося условным показателем обеспечения растений влагой. Коэффициент представляет собой отношение количества выпавших осадков (мм) к сумме средней месячной температуры за один и тот же временной интервал [16]. Расчеты выполнены для трех метеостанций с учетом смещения начала и продолжительности вегетационного периода в зависимости от широты. Таким образом, для Салехарда плювиотермический коэффициент вычислен за июнь и за июль — август, а для станций Бисер и Златоуст началу и окончанию вегетационного периода соответствуют май — июнь и июль — август.

Исследование пространственно-временной динамики климата всего Урала основано на данных за период с 1961 по 2000 г., характеризующих современный климат. Помимо указанных выше периодов (года, сезонов года, вегетационного и холодного) рассмотрены данные за каждое десятилетие и двадцатилетие.

Для анализа изменения температуры воздуха на Урале были выбраны 132 метеорологические станции, из которых 111 расположены в горной местности. Одной из проблем, с которыми сталкиваются исследователи,

обрабатывающие ряды метеоданных, — пропущенные значения за отдельные временные интервалы. Отсутствующие значения были восстановлены с использованием статистических закономерностей для метеостанций, имеющих статистически значимые линейные зависимости от близлежащих станций, со схожей высотой расположения. Коэффициенты детерминации R^2 почти всех линейных моделей были больше 90,4%. Исключение составили только десять метеостанций. Для трех из них величина R^2 была больше 60,3%, а для оставшихся — более 75,0%.

После процедуры восстановления массив метеоданных был разделен на тестовую и обучающую выборки по 30 и 70% общего числа метеостанций в каждой соответственно. На основе данных обучающей выборки для каждого временного периода были построены множественные линейные регрессионные модели вида

$$T_i = a_0 + a_1 \text{long}_j + a_2 \text{lat}_j + a_3 \text{elev}_j,$$

где T_i — средняя температура за период, °С; a_0 — свободный член; a_1 , a_2 , a_3 — коэффициенты при переменных; long_j — долгота, град в. д.; lat_j — широта, град с. ш.; elev_j — высота над уровнем моря, м (значения широты и долготы приведены к десятичным долям градуса); i — индекс расчетного периода; j — индекс метеостанции.

Данные модели позволяют реконструировать пространственное распределение температуры воздуха в районе исследований по интервалам времени.

Для представленных в работе средних значений температуры воздуха по десятилетиям и двадцатилетиям коэффициенты детерминации моделей множественной регрессии находятся в интервале от 90,3 до 93,4%. Сдвиг среднего значения колеблется от 0,14 до 0,20°С, в последнее десятилетие увеличиваясь до 0,32°С. Среднеквадратичная ошибка (RMSE) находится в пределах от 0,57 до 0,60°С.

В геоинформационной системе (ГИС) с использованием полученных уравнений были рассчитаны растры, ячейки которых содержат значения температуры воздуха. В качестве входных параметров модели были использованы: цифровая модель рельефа Урала и растры с ячейками, содержащими значения широты и долготы. Для оценки пространственного изменения температуры по десятилетиям и двадцатилетиям созданы климатические карты, которые были рассчитаны в ГИС как разность растров температуры двух соседних десятилетий или двадцатилетий соответственно.

Анализ распределения осадков на территории Урала проводился по данным 31 станции, находящихся в его центральной части, на Северном и Среднем Урале. Только эти станции имеют полные ряды данных. Восстановление пропущенных значений на других метеостанциях не проводили, так как данные о количестве осадков на соседних станциях, как правило, слабо связаны. Обработка данных заключалась в осреднении по рассматриваемым в работе десятилетним и двадцатилетним периодам суммарного годового количества осадков. Распределение осадков по территории Урала также представлено в виде картосхем, на которых условными знаками показана разность средних суммарных значений за указанный период.

Для станций, по которым были получены данные о температуре и осадках, рассчитаны пространственно осредненные средние годовые аномалии этих показателей со среднеквадратичным отклонением. Пространственный анализ выполнялся с использованием географической информационной системы ARC/INFO (ESRI Inc., США). Математико-статистическую обработку проводили с помощью статистического пакета R (R core team, www.r-project.org).

Результаты и их обсуждение

Разнообразие климата Урала определяется изменением во времени и пространстве основных климатических показателей, в первую очередь температуры воздуха и количества выпадающих осадков. На основе полученных данных проведен анализ локального изменения температуры воздуха и количества осадков, подтверждающий тенденцию потепления и увеличения влажности на Урале во второй половине XX в.

Временные ряды средних годовых аномалий, приведенные на рис. 2а—е, отражают динамику температуры воздуха и количества осадков на метеостанциях Салехард (Полярный Урал), Бисер (Северный Урал) и Златоуст (Южный Урал). На них также отображены тренды линейной зависимости и скользящее среднее с десятилетним периодом сглаживания для визуализации тенденций изменения значений температуры и осадков во времени.

Аномалии средней годовой температуры показывают увеличение отклонений от базового периода для линейных трендов станций Салехард — $0,8^{\circ}\text{C}$ за 100 лет, Бисер — $0,6^{\circ}\text{C}$ за 100 лет и Златоуст — $1,3^{\circ}\text{C}$ за 100 лет. Максимальные положительные аномалии температуры отмечены в 1995 г. в Салехарде и Златоусте, а в Бисере — они одни из самых больших. Анализ данных метеостанций за другие периоды показал, что в зимние месяцы происходило наиболее значительное потепление, которое постепенно уменьшалось к летним месяцам (с учетом фактических сроков прохождения сезонов).

Изменение аномалий сумм годовых осадков за исследуемый период составило в Салехарде $152,5$ мм за 100 лет, в Бисере — $188,3$ мм за 100 лет, в Златоусте достоверной тенденции по линейному тренду не выявлено (рис. 2б, г, е). Соотношение тепла и влаги, определяемое пльвиотермическим коэффициентом, превышает для большинства лет норму, что позволяет говорить об избыточном увлажнении климата на Урале. Аномалии пльвиотермического коэффициента наиболее значительно увеличиваются на метеостанциях Златоуст и Бисер, наибольшие значения положительных аномалий зафиксированы в Бисере, а отрицательных — в Златоусте.

Временные ряды пространственно осредненных данных по всем представленным в работе метеостанциям Урала отражают положительные тренды средних годовых температуры воздуха и сумм годовых осадков (рис. 2ж, з). Максимальная температура за период с 1961 по 2000 г. отмечена в 1995 г., а минимальная — в 1969 г. Наибольшее и наименьшее суммарное количество осадков выпало соответственно в 1990 и 1975 г.

На большинстве станций Северного и Среднего Урала значения пльвиотермического коэффициента соответствуют избыточному увлажнению воздуха. Максимальные аномалии данного коэффициента ($4,6$) были получены

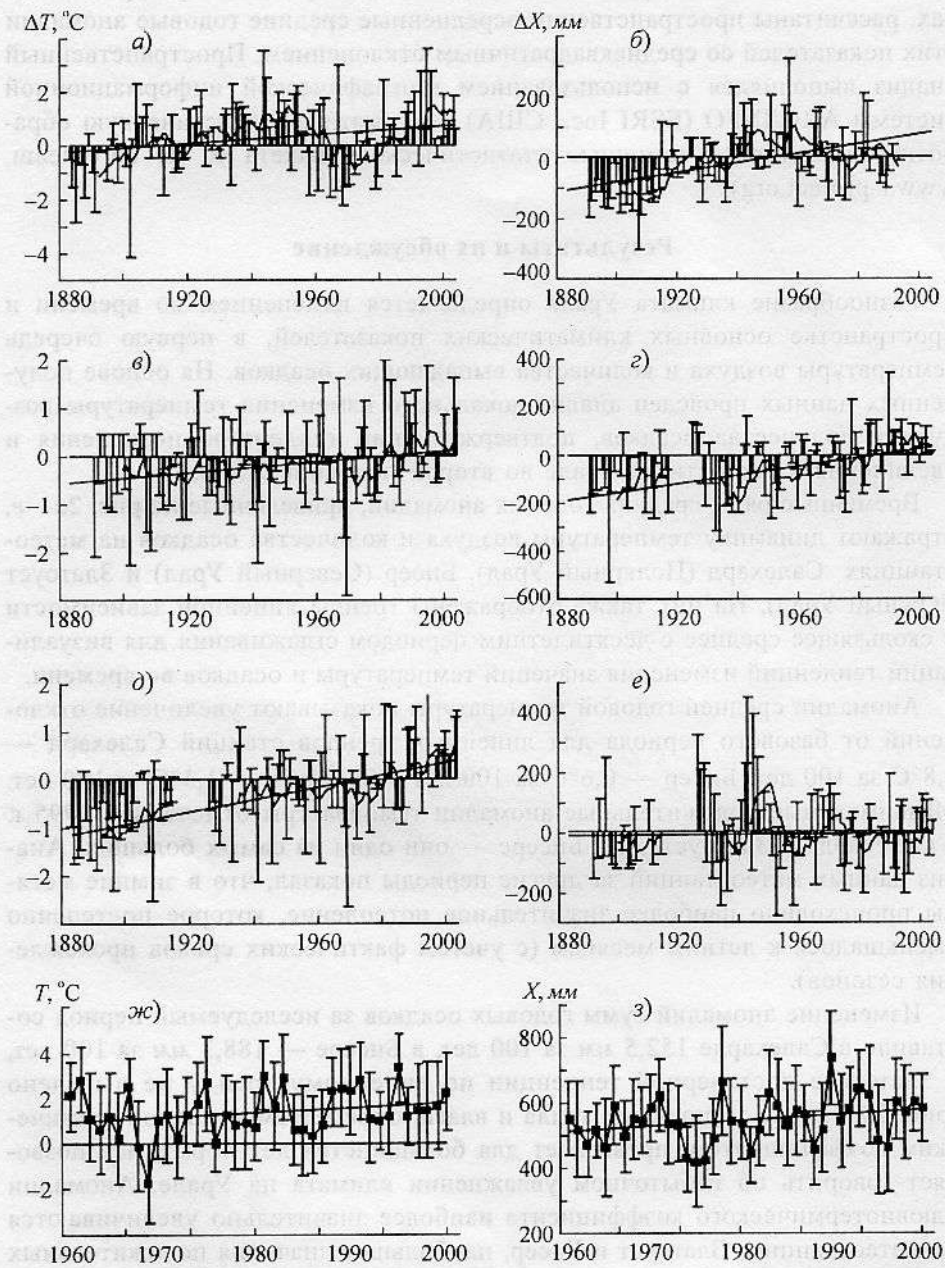


Рис. 2. Временные ряды аномалий средней годовой температуры воздуха у поверхности земли ΔT (а, в, д) и сумм осадков за год ΔX (б, в, е) для метеостанций Салехард (а, б), Бисер (в, в) и Златоуст (д, е), а также временные ряды пространственно осредненной средней годовой температуры воздуха (ж) и суммарного количества осадков за год (з) по Уралу со среднеквадратичным отклонением.

За норму принят период 1961—1990 гг. Жирной прямой показан линейный тренд, жирные кривые — скользящее среднее с десятилетним периодом сглаживания.

ны в 1969 г. для начала вегетационного периода, а наименьшие $(-2,3)$ в 1981 г. для конца периода вегетации. В целом динамика значений плювиотермического коэффициента имеет характер увеличения аномалий в конце периода вегетации, а для начала характерно уменьшение разброса отклонений, особенно в последнем десятилетии.

Анализ пространственного распределения значений климатических показателей на Урале обнаруживает ряд особенностей, связанных с высотным и географическим положением. В частности, при сопоставлении карт температуры для двадцатилетий 1961—1980 и 1981—2000 гг. прослеживается тенденция смещения границ температурных зон к северу Восточной Сибири (рис. 3а, б), что хорошо согласуется с результатами других исследований [9, 17]. Это подтверждает и карта климатического распределения разности температуры между двадцатилетиями, на которой явно прослеживается северо-восточное направление градиента потепления (рис. 3в). В среднем разность температуры между двадцатилетиями составила $0,7^{\circ}\text{C}$, достигая максимальной величины $1,1^{\circ}\text{C}$ на Полярном Урале, при этом на горных массивах с высотой потепление происходило менее интенсивно.

Сравнительный анализ карт средней для десятилетних временных периодов температуры (рисунки не приведены) показал неоднородность потепления от десятилетия к десятилетию. Таким образом, сравнение 1970-х и 1960-х годов показало незначительное потепление (до $0,3^{\circ}\text{C}$) по направлению от горных массивов Урала к юго-западу. В противоположном северо-восточном направлении наблюдался процесс похолодания (до $-0,3^{\circ}\text{C}$). Сопоставление этих периодов также выявило менее значительное потепление в горных массивах, чем на равнинной территории, при увеличении разности между значениями температуры с высотой, увеличивающейся к северо-востоку.

Установлено, что 1980-е годы были теплее, чем предыдущее десятилетие, по всей территории Урала в среднем на $0,6^{\circ}\text{C}$. Градиент потепления направлен на северо-восток с максимальной разностью температуры воздуха $1,0^{\circ}\text{C}$. Сравнение этих десятилетий также показало менее значительное потепление с увеличением высоты в горных массивах.

Сравнение карт температуры 1980-х и 1990-х годов позволяет судить о потеплении к северо-востоку от Среднего Урала (до $0,5^{\circ}\text{C}$) и похолодании к юго-западу (до $-0,3^{\circ}\text{C}$). Характерной особенностью разности средних значений температуры воздуха для этих десятилетий является более высокая температура на всей протяженности горных массивов по сравнению с равнинной территорией, особенно на Северном и Полярном Урале.

Анализ климатических данных позволяет утверждать, что на Урале наблюдается тенденция к увеличению количества осадков (рис. 3в). Среднее значение разности средних годовых сумм осадков между двадцатилетиями составило $39,2$ мм. Анализ картосхем распределения осадков по десятилетиям (рисунки не приведены) свидетельствует об уменьшении количества осадков в 1970-е годы по сравнению с 1960-ми на большинстве станций Среднего Урала. Исключение составляют метеостанции западного макросклона Северного Урала, на которых прослеживается тенденция увеличения количества выпадающих осадков. В 1980-е годы наблюдалось увели-

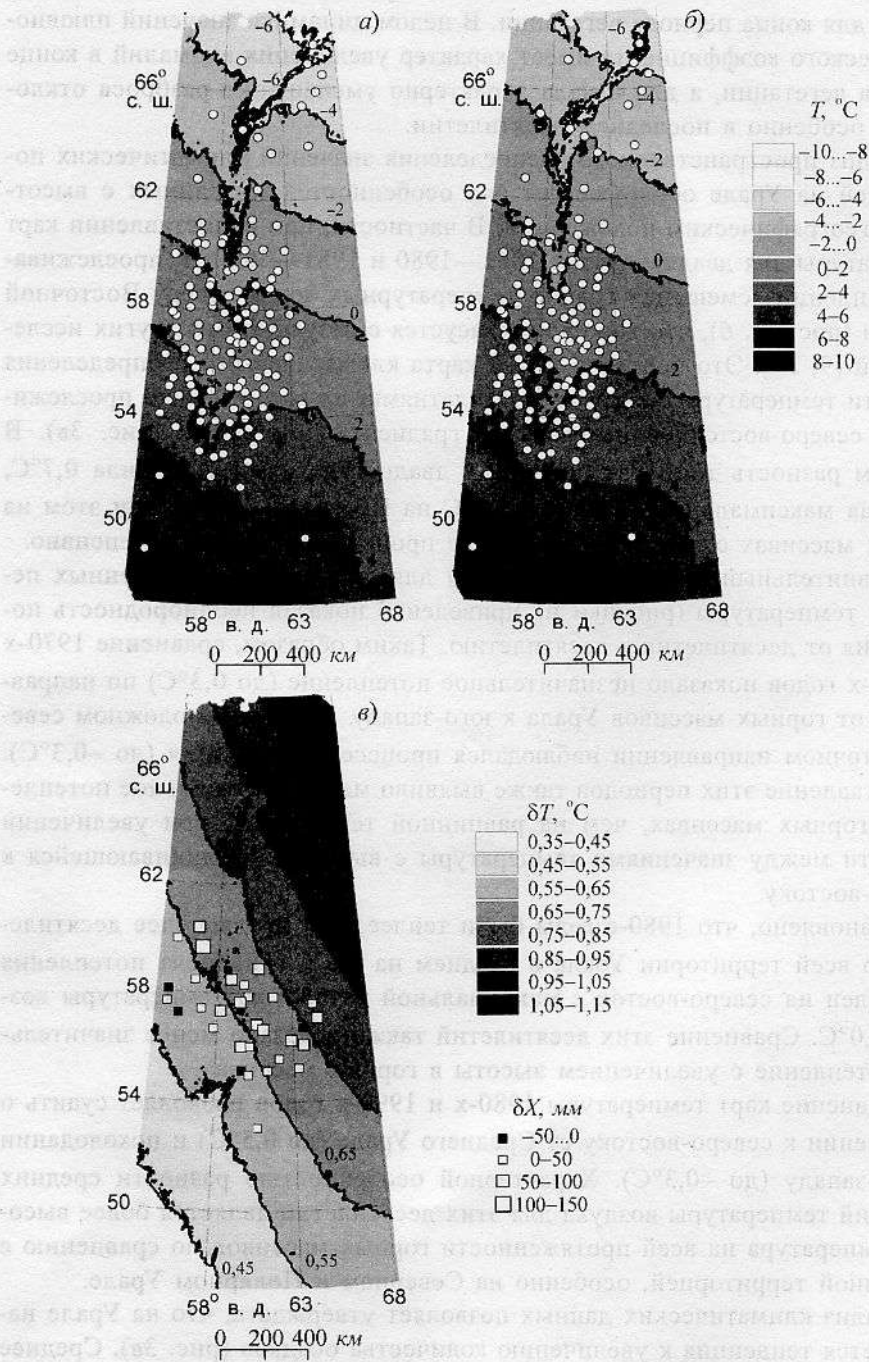


Рис. 3. Распределение средней годовой температуры воздуха по двадцатилетиям по территории Урала в 1961—1980 гг. (а) и 1981—2000 гг. (б) и разности средней годовой температуры δT и количества осадков δX между этими двадцатилетиями (в).

Жирные линии — изотермы.

чение количества осадков на всех станциях Северного и Среднего Урала по сравнению с предыдущим десятилетием. Сравнение 1990-х и 1980-х годов позволило выявить только существенные различия сумм осадков (до 150,0 мм) на некоторых станциях Северного Урала.

Заключение

Установлено, что во второй половине XX в. в горных районах Урала с увеличением высоты происходило менее значительное потепление. Также отмечено повышение температуры воздуха в северо-восточном направлении на Урале и увеличение годовых сумм осадков на большинстве метеостанций Среднего Урала. Результаты проведенного исследования, включающего рассмотрение особенностей рельефа, позволяют конкретизировать значения климатических показателей и детализировать климатическую карту региона.

Анализ пространственно-временной динамики климата Урала в дальнейшем позволит дать более точные оценки взаимосвязи (и взаимовлияния) климатических колебаний и реакции растительности, а также прогнозировать изменение ее состояния и пространственного положения. В частности, полученные результаты хорошо согласуются с данными пространственно-временной динамики горных растительных сообществ Урала [8, 22, 23].

Авторы благодарят С. Г. Шиятова, В. С. Мазепу, Е. Л. Воробейчика за консультации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 06-04-49359, 09-04-01004).

Литература

1. Борзенкова И. И. О природных индикаторах современного глобального потепления. — Метеорология и гидрология, 1999, № 6, с. 98—110.
2. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г. Дендроклиматические и дендрозоологические исследования в Северной Евразии. — Лесоведение, 2005, № 4, с. 18—27.
3. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Колебания и изменения климата на территории России. — Известия АН. Физика атмосферы и океана, 2003, т. 39, № 2, с. 1—20.
4. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменчивости климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. — Метеорология и гидрология, 2004, № 4, с. 50—67.
5. Демяжко Д. Ю. Почему меняется климат? — Наука Урала, 2003, № 25, с. 4—5.
6. Ефимова Н. А., Жильцова Е. Л., Лемешко Н. А., Строкина Л. А. О сопоставлении изменений климата в 1981—2000 гг. с палеоаналогами глобального потепления. — Метеорология и гидрология, 2004, № 8, с. 18—23.
7. Изменение климата. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в подготовку Третьего доклада об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. /Под ред. Р. Т. Уотсона. — ВМО—ЮНЕП, Женева, Швейцария, 2003, 220 с.
8. Капранов Д. С. Изучение пространственно-временной динамики верхней границы леса на Северном и Южном Урале. /Автореферат диссертации канд. сельскохозяйственных наук. — Екатеринбург, 2007, 21 с.
9. Кусков А. И., Катаев С. Г. Структура и динамика приземного температурного поля над азиатской территорией России. — Томск, Изд-во Томского государственного педагогического университета, 2006, 176 с.

10. Мазепа В. С., Дэви Н. М. Образование многоствольных жизненных форм деревьев лиственницы сибирской в экотоне верхней границы леса на Полярном Урале как индикатор изменения климата. — Экология, 2007, № 6, с. 31—36.
11. Мелешко В. П., Катцов В. М., Говоркова В. А. и др. Антропогенные изменения климата в XXI веке в Северной Евразии. — Метеорология и гидрология, 2004, № 7, с. 5—26.
12. Метеорологический ежемесячник. — 1961—2000, вып. 9, 17, ч. 2, № 1—13.
13. Многолетние ряды месячных сумм средних областных осадков за холодный период года для основной сельскохозяйственной зоны СССР. /Под ред. А. В. Мещерской, Н. А. Болдыревой. — Л., Гидрометеиздат, 1988, 285 с.
14. Моисеев П. А. и др. Влияние изменений климата на формирование поколений ели сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала. — Экология, 2004, № 3, с. 1—9.
15. Монин А. С., Сонечкин Д. М. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. — М., Наука, 2005, 191 с.
16. Педь Д. А. О показателе засухи и избыточного увлажнения. — Труды Гидрометцентра СССР, 1975, № 156, с. 19—38.
17. Переведенцев Ю. П. и др. Динамика полей температуры воздуха Северного полушария в современный период. — Проблемы анализа риска, 2007, № 1, с. 73—83.
18. Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Первые десять лет. — РКИК ООН, 2004, 99 с.
19. Ранькова Э. Я. Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений. /Автореферат диссертации докт. физико-математических наук. — М., 2005, 67 с.
20. Справочник по климату СССР. Ч. 4, вып. 9, 17. — Л., Гидрометеиздат, 1968.
21. Шварева Ю. Н. Климат Западно-Сибирской равнины в погодах. — М., Наука, 1976, 116 с.
22. Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале. — Лесоведение, 2007, № 6, с. 7—15.
23. Шиятов С. Г., Герентьев М. М., Фомин В. В. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале. — Экология, 2005, № 2 (36), с. 69—75.
24. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report. — Valencia, 2007, 52 p.
25. Mazepa V. S. Stand density in the last millennium at the upper tree-line ecotone in the Polar Ural Mountains. — Canadian J. Forest Res., 2005, vol. 35, No. 10, pp. 2082—2091.

Поступила
18 XI 2008

SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF THE CLIMATE IN THE URALS IN THE SECOND HALF OF THE 20TH CENTURY

Yu. V. Shalaumova, V. V. Fomin, and D. S. Kapralov

The spatial-temporal dynamics of air temperature and precipitation in the second half of the 20th century in the Polar, Northern and Southern Urals were studied. Temperature maps were built on the basis of climate records of meteorological stations using multiple regression models and raster-based modeling in GIS for the period from 1961 to 2000. These maps take into account the relief of the Urals. It was found that the gradient of warming and precipitation increase for this period had northeastern direction. The analysis of three meteorological stations in the Polar, Northern, and Southern Urals allowed us to reveal increasing amplitude of anomalies of mean annual temperature and increasing values of anomalies of annual precipitation totals in the 20th century.