

Е. А. КОЧУГОВА*, Д. А. КОШКИН**

*Иркутский государственный университет

**Институт географии СО РАН, г. Иркутск

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВЫХ ЭКСТРЕМУМОВ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Проведено сравнение тенденций изменения экстремумов температуры воздуха за 1947–1976 и 1977–2006 гг. на территории Иркутской области на основе многолетних рядов годовых экстремальных ее значений. Получены тренды в результате аппроксимации исходных рядов значений экстремальной температуры воздуха полиномом первой степени. Выявлены многоочаговость и отсутствие широтных или субмеридиональных закономерностей в распределении трендов значений максимальной температуры воздуха, а также статистически значимые тренды значений минимальной температуры воздуха.

Ключевые слова: экстремумы, температура воздуха, тренд, повторяемость, изменение климата, Иркутская область.

A comparison is made of the variation tendencies of air temperature extremes for 1947–1976 and 1977–2006 across the territory of the Irkutsk region, based on long-term series of annual extreme air temperature values. Trends were obtained by approximating the initial series of extreme air temperature values by a first-degree polynomial. The study revealed the multifocal nature and the absence of latitudinal or submeridional patterns in the distribution of trends of maximum air temperature values as well as statistically significant trends of minimum air temperature values.

Keywords: extrema, air temperature, trend, recurrence, climate change, Irkutsk region.

Наблюдаемое потепление климата привлекает к себе все более пристальное внимание специалистов, работающих в области наук о Земле. Свидетельств этого глобального явления к настоящему времени накоплено более чем достаточно, поэтому одной из самых актуальных задач сейчас следует считать проведение углубленного и всестороннего анализа накопленных наблюдений за состоянием природной среды в контексте изменения климата.

Согласно результатам наблюдений и модельным расчетам, устойчивое потепление уже произошло в значительной части регионов земного шара. Совместный анализ глобальных данных инструментальных наблюдений на материках и над океанами привел к выводу, что за период с 1861 по 2000 г. среднегодовые значения температуры повысились на 0,61 °С при дисперсии линейного тренда, составляющей $\pm 0,16$ °С [1]. Следует отметить, что наибольшее повышение глобальной температуры воздуха отмечалось с 1910 по 1945 г. и с 1976 по 2000 г., а в период 1946–1975 гг. наблюдалось некоторое похолодание. Повышение температуры воздуха у поверхности земли происходило в основном за счет роста ночных минимальных температур. Это привело к увеличению продолжительности безморозного периода во многих районах умеренных и высоких широт [2].

Особенностью общей картины климатических изменений является высокая степень пространственной неоднородности. Наиболее значительное повышение приземной температуры отмечено в центральной части Евразийского континента и на северо-западе Северной Америки. Отрицательные линейные тренды, которые сравнительно невелики и ограничены по пространству, отмечаются лишь в нескольких районах, например — на юге Гренландии и в центральных районах Антарктиды [3].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Глобальное изменение температурного режима представляет собой интегральный показатель региональных изменений климата, поэтому очень важно оценить климатические тенденции на региональном уровне. Тем более, что именно на нем последствия потепления проявляются особенно сильно, поэтому перспективность регионального подхода при выявлении характера изменений как исходного поля температуры воздуха, так и его составляющих, не вызывает сомнений.

Оценка изменений климата основывалась главным образом на изменении климатических средних. Однако они не являются наблюдаемыми величинами и требуют соответствующей интерпретации: учета соотношения периодов осреднения, оценки дисперсий и т. п. Поэтому определенный научный и практический интерес представляет исследование таких климатических характеристик, как непосредственно измеренные экстремальные значения метеорологических величин. Они обладают большей изменчивостью и меньшей повторяемостью, и нередко с ними связан ощутимый социально-экономический ущерб.

Исследования отечественных климатологов [4] показывают, что признак меняющегося климата — асимметрия в изменении ежедневных минимальных и максимальных температур. В среднем скорость повышения минимальной температуры воздуха на территории большинства регионов Земли, в том числе и России, примерно вдвое превосходит рост максимальной температуры (0,2 и 0,1 °C/10 лет соответственно) [5]. Например, региональные исследования климата и природной среды Центральной Азии, выполненные на основе климатических данных одной из старейших метеорологических станций Барнаул, подтверждают выявленные тенденции изменений абсолютных величин температуры. Линейный тренд абсолютных максимумов температуры с 1928 по 2003 г. здесь характеризуется увеличением на 0,1 °C/10 лет. Для абсолютных минимумов изменения более заметны и составляют 0,5 °C/10 лет, основной рост отмечался до 1965 г., а примерно с 1989 г. знак тренда изменился на противоположный [6]. Полиномиальный тренд абсолютного минимума температуры воздуха свидетельствует о возрастании суровости зим, начиная с 1990-х гг. [7].

Региональные исследования восточных районов РФ, давшие достоверные результаты, начались только с 1930-х гг., что связано с отсутствием до этого времени устойчивой сети наблюдений. В результате анализа средних максимальных и минимальных температур на юге Дальнего Востока во второй половине XX в. выявлены существенные изменения температурного фона. Например, на северных станциях хорошо выражен зимний рост минимальных температур, который составил в 1960-е гг. 2,5–3,9 °C, а в 1990-е гг. — 1,7–3,7 °C за десятилетие. На южных станциях поведение зимних минимальных температур более сглаженное.

В осенний период в 1950–1970-е гг. на большинстве станций отмечалось падение средних минимальных температур, которое в 1980-е гг. сменилось ростом, достигнувшем в следующем десятилетии 1,3–2,2 °C. Летом на юге Дальнего Востока увеличивается число дней с экстремально высокой температурой воздуха. Летние экстремальные температуры — одна из причин увеличения пожаров в этом регионе [8]. Сравнительная оценка трендов средних экстремальных температур показала, что на побережье (кроме Советской Гавани) и на южных станциях наблюдается активный рост средних максимальных температур, на северных станциях — минимальных [9].

Следует отметить, что на фоне общей тенденции роста минимальной температуры в отдельных регионах России увеличивается число случаев, когда эта температура достигает рекордно низких значений. Например, 2006-й год в целом по стране был теплым. Аномалия среднегодовой температуры воздуха, осредненной по территории России, составила 0,5 °C, в то время как в Западной Сибири отмечался рост экстремальности в режиме зимней минимальной температуры. В январе на шести метеостанциях Томской области абсолютный минимум был перекрыт на 0,1–1,4 °C. На станциях Бор (Красноярский край) и Александровское (север Томской области) зафиксирована рекордная непрерывная продолжительность морозов ниже –30 °C, которая составила 22 и 23 дня соответственно.

Летом в отдельных регионах (северо-запад европейской части территории России, север Дальнего Востока) также наблюдается увеличение экстремальности температурного режима, связанной с большими перепадами температур воздуха, что само по себе может вызывать отрицательные последствия для здоровья человека.

Причина асимметричного повышения максимальных и минимальных температур воздуха пока до конца не ясна. Возможно, это следствие увеличения концентрации аэрозолей в атмосфере, что, в свою очередь, приводит к увеличению облачности и росту температуры в ночные часы, когда температура принимает наименьшие значения за сутки [4]. Как следствие, практически повсеместно происходит уменьшение величины суточной амплитуды температуры воздуха.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье рассматривается проблема изменений экстремальных температур воздуха на территории Иркутской области. Мониторинг в этом регионе вызывает особый научный интерес в свете наблюдаемых глобальных изменений, поскольку одна из планетарно значимых особенностей региона состоит в том, что временная изменчивость метеорологических характеристик здесь наблюдается в широком диапазоне, а пространственная характеризуется сложной зональной структурой. Другая особенность связана с наличием большого количества уникальных объектов, относящихся как к природно-территориальным (оз. Байкал, бореальный экотон, водно-болотные угодья и др.), так и к техногенным (нефтегазодобывающий, угледобывающий, металлургический, транспортный и др.) комплексам. В связи с этим мониторинг и моделирование региональных природно-климатических изменений в Иркутской области имеют и важное практическое значение.

Материалом для наших исследований послужили временные ряды годовых экстремальных значений приземной температуры воздуха на 30 метеостанциях за период инструментальных наблюдений с 1947 по 2006 г. Основными критериями при выборе данных были однородность, наибольшая продолжительность метеорологических рядов, небольшое количество пропусков в наблюдениях, относительная равномерность размещения станций по территории, а также их репрезентативность. Пункты достаточно равномерно распределены по территории площадью 768 тыс. км² от 51 до 63° с. ш. и от 96 до 116° в. д.

Для выявления регионального изменения климата проведен анализ повторяемости, а также исследована динамика экстремальных температур воздуха. Основная характеристика поля температуры в условиях повсеместного потепления — это величина скорости ее долговременного изменения. Обычно применяются две математические процедуры получения долговременного тренда: аппроксимация всего долговременного ряда полиномами различных степеней и скользящее сглаживание. Степень полинома, выбираемого исследователями, как правило, не превышает третьей. Аппроксимация полиномами более высоких степеней хотя и позволяет выделять периоды с тенденцией повышения и понижения величины метеорологического элемента, однако прогноз тенденций даже на короткие сроки приводит к за пределами значениям величины метеорологического элемента. Под трендом в данной работе понимается временной ряд, полученный в результате аппроксимации исходного ряда температуры полиномом первой степени (линейный тренд).

Для оценки тренда важно использовать выборки большого объема, поскольку для многих метеорологических величин характерен волновой ход, и оценки тренда по коротким рядам наблюдений могут привести к неоднозначным результатам, поэтому исходные временные ряды были разбиты на 30-летние периоды (малая статистика). Рекомендованный Всемирной метеорологической организацией (ВМО) 30-летний период имеет достаточно надежное физико-статистическое обоснование с точки зрения получения климатических показателей.

Анализируемые периоды осреднения (1947–1976 и 1977–2006 гг.) выбраны с учетом современных исследований изменения климата, в которых часто используется метод сравнительной оценки значений климатических показателей за определенные отрезки времени, а также даются рекомендации для выбора начальных лет в анализе. С учетом публикаций [10], в которых указывается различная природа первой (до 1945 г.) и второй (с 1976 г.) эпох глобального потепления, использован дифференцированный анализ. Такой подход позволил нам провести более детальную оценку изменений экстремумов температуры воздуха. Кроме оценки параметров линейного тренда также выяснялся относительный вклад трендовой составляющей в общую дисперсию температуры, который показывает коэффициент детерминации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Регион исследования находится в глубине материка и характеризуется резко континентальным климатом с холодной продолжительной зимой, малым количеством осадков, относительно теплым влажным летом, короткими переходными периодами от зимы к лету. В холодный период года над большей частью Иркутской области погодные условия формируются под влиянием мощного Азиатского антициклона, который устанавливается в сентябре–октябре и разрушается лишь в апреле–мае. Область находится под влиянием его отрога, в котором формируется самостоятельное ядро в верховьях Лены. Воздушная масса антициклона характеризуется мощными инверсиями температуры в нижних слоях атмосферы, поэтому зимой преобладает малооблачная погода со слабыми ветрами, небольшим количеством осадков и обширным развитием процессов выхолаживания.

Самый холодный месяц — январь. Средняя месячная температура этого месяца колеблется от –30,8 (ст. Бодайбо) и –35,1 °С (ст. Наканно) на севере до –17,0 °С на юге (ст. Хамар-Дабан). На большей же части территории температура изменяется от –27 до –24 °С, несколько повышаясь в юго-восточ-

ных районах и Предаянье до -20°C . Предельно низкие температуры (абсолютные минимумы) зафиксированы на станциях Ербогачён в 1966 г. ($-61,2^{\circ}\text{C}$) и Бодайбо в 1951 г. ($-55,1^{\circ}\text{C}$). Абсолютные максимумы температуры воздуха в условиях резко континентального климата наблюдаются в июле. Средняя месячная температура воздуха июля изменяется от $11,2$ (ст. Солнечная) до $18,5^{\circ}\text{C}$ (ст. Усть-Уда). Предельно высокие температуры (абсолютные максимумы) могут достигать $39,8^{\circ}\text{C}$ (ст. Усть-Уда, 1996 г.), $37,2^{\circ}\text{C}$ (ст. Непа, 1986 г.).

Абсолютные минимумы на территории Иркутской области изменяются от -61 до -27°C (рис. 1, а). Анализ повторяемости абсолютных минимумов показал, что в 77 % случаев интервал экстремально низких температур изменяется от -54 до -40°C и только в 16 % случаев они опускаются ниже -55°C . Низкие температуры в большинстве случаев отмечаются в результате одновременного воздействия вторжения холодного арктического воздуха, ночного радиационного выхолаживания и наличия частых, нередко мощных, приземных инверсий. Отметим, что во втором временном периоде (1977–2006 гг.) повторяемость низких температур (ниже -47°C) уменьшилась с 50 до 34 %.

Абсолютные максимумы изменяются в более узком диапазоне — от 24 до 40°C (см. рис. 1, б). В последнее рассмотренное 30-летие повторяемость экстремально высоких температур (выше 33°C) возросла с 39 до 47 %. Повторяемость температуры более 38°C составила менее 1 % за весь рассматриваемый период наблюдений. Такие температуры фиксировались в основном в центральной части исследуемой территории.

Анализ кусочно-линейного тренда абсолютных минимумов температуры воздуха 1947–1976 гг., регрессионная модель которого адекватна экспериментальным данным, показал, что скорость долговременного изменения температуры на исследуемой территории указывает на тенденцию к потеплению. Это выражается в повышении минимальных температур, которые изменяются в пределах от $0,01$ (ст. Верхняя Гутара, 1947–1976 гг.) до $0,27^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (ст. Усть-Уда, 1947–1976 гг.) (рис. 2, а). Максимальная скорость изменения температуры отмечена в центральной части Иркутской области, минимальная — в северной.

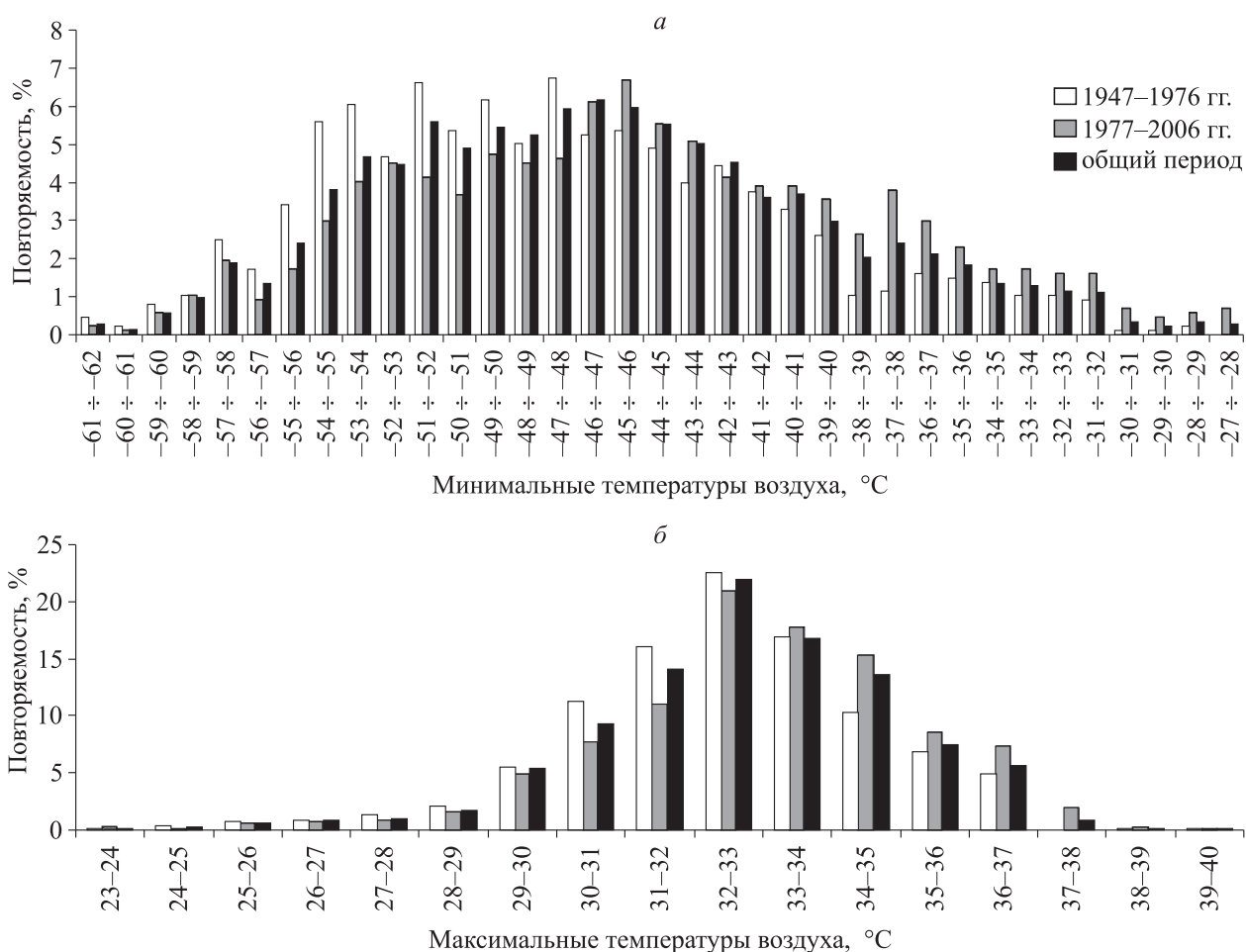


Рис. 1. Повторяемость (%) абсолютных минимумов (а) и максимумов (б) температуры воздуха на территории Иркутской области с 1947 по 2006 г.

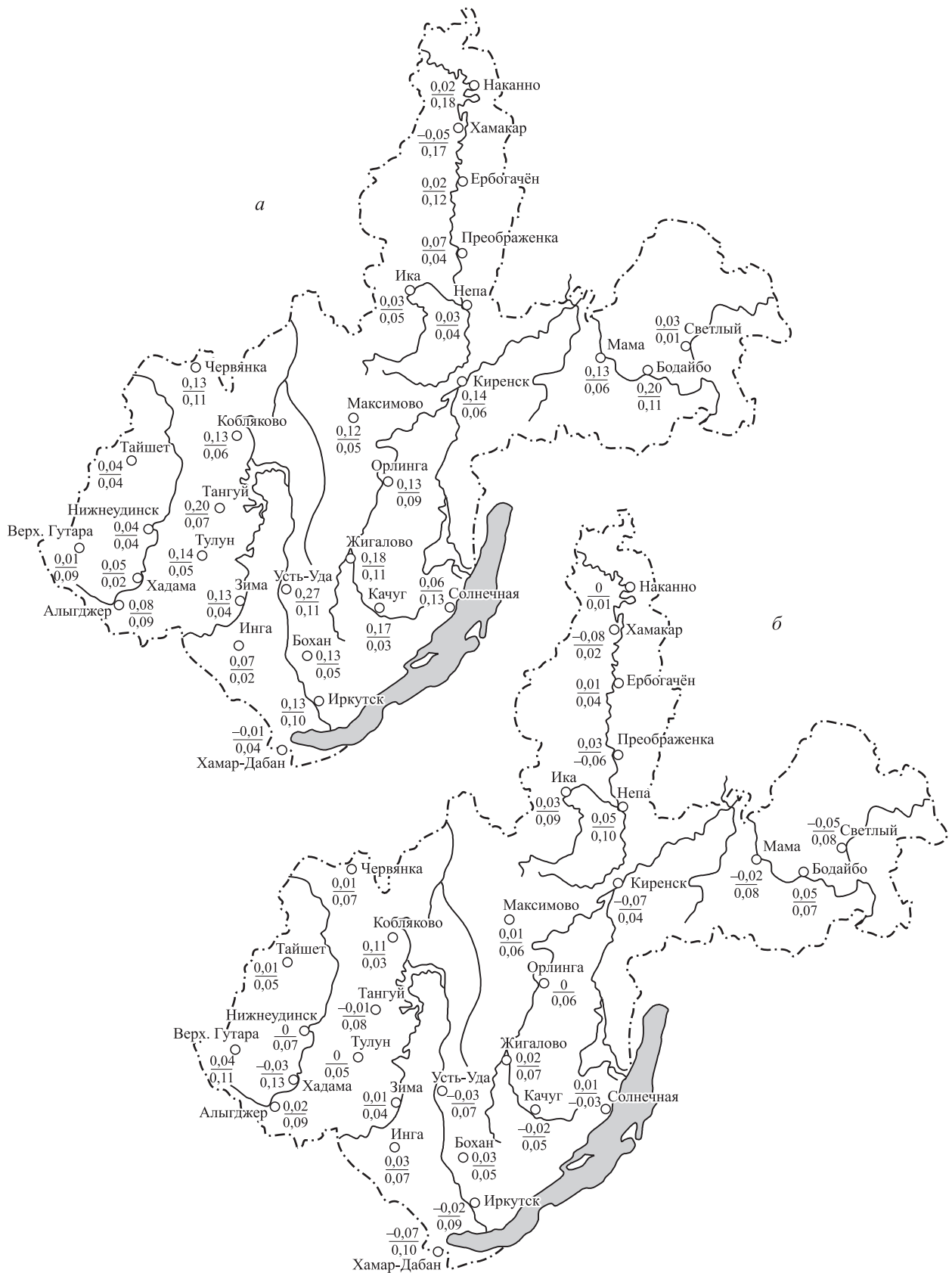


Рис. 2. Распределение скорости изменения минимальных (а) и максимальных (б) температур воздуха (°C/год) по территории Иркутской области.

В числителе — данные за 1947–1976 гг., в знаменателе — за 1977–2006 гг.

В последующий 30-летний период очаг ускоренного повышения минимальных температур сместился на север. Интенсивность потепления в центральной части области уменьшились в 1,5–2 раза (ст. Усть-Уда, 0,27 °С/год за 1947–1976 гг. и 0,11 °С/год за 1977–2006 гг.; ст. Максимово, 0,12 и 0,05 °С/год; ст. Зима, 0,13 и 0,04 °С/год соответственно). Другая особенность линейных трендов минимальной температуры последнего 30-летнего периода — более интенсивное повышение минимальных температур на севере области. Здесь скорость роста минимальных температур увеличилась на 0,10 (ст. Ербогачён) и 0,16 °С/год (ст. Наканно). Возможно, это связано с сильным приповерхностным потеплением в Сибири в области влияния Азиатского максимума, адвекцией теплого влажного тропического воздуха, трансформированного в полярный по западной периферии высотных гребней, ориентированных с районов Монголии, что в последние три десятилетия вызвало ослабление азиатского центра действия атмосферы зимой [11].

В западном и высокогорном районах Иркутской области отмечается монотонная и устойчивая тенденция роста минимальной температуры. Но на фоне общего положительного тренда отмечены периоды, когда его классическая картина нарушалась, например — холодные зимы 2000–2001 и 2005–2006 гг., причиной которых стала крупномасштабная адвекция арктического воздуха в тыловой части высотного циклона, на длительное время стационаризовавшегося над Западной Сибирью. Следствием конвергенции холодных воздушных масс на высотах в переднюю и центральную часть Азиатского антициклона явились усиление барического максимума и развитие барических гребней на запад и северо-восток, которые оказались блокирующими для проникновения теплого воздуха с Атлантики вглубь материка [11].

Выявить закономерности в распределении трендов максимальных температур воздуха по региону не удалось. Над территорией исследования поле долговременного тренда имеет многоочаговую структуру (см. рис. 2, б).

Согласно проведенному анализу линейных трендов максимумов температуры воздуха можно заключить, что тенденции к потеплению выражены только после 1977 г. Значения линейных трендов в период с 1947 по 1976 г. изменялись от 0,00 до 0,11 °С/год. Кроме того, треть метеорологических станций характеризуется отрицательным знаком тренда. Понижение максимальных температур воздуха в основном отмечалось в Верхнеленском (ст. Киренск, –0,07 °С/год; Мама, –0,02 °С/год), Центральном (ст. Жигалово, –0,02 °С/год) и Южном (Иркутск, обсерватория, –0,02 °С/год и ст. Хамар-Дабан, –0,07 °С/год) синоптико-климатических районах Иркутской области.

При сравнении двух временных периодов выяснилось, что после 1976 г. наблюдается ускорение роста максимальных температур. Значения линейных трендов увеличились в несколько раз (ст. Хадама от –0,03 °С/год за 1947–1976 гг. до 0,13 °С/год за 1977–2006 гг.; ст. Мама от –0,02 до 0,08 °С/год соответственно). Замедление процесса роста экстремально высоких температур в последние годы отмечается только на одной станции — Кобляково. И только на двух станциях — Преображенка и Солнечная — знак тренда сменился на отрицательный.

Тренды изменений экстремальных температур воздуха в Иркутской области оказались статистически значимыми в 19 случаях для минимальных температур воздуха и 24 — для максимальных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Человек зависим от окружающей среды. Экстремальные факторы, угрожающие его жизни, были всегда. Воздействие низких температур ведет к негативным последствиям не только для населения, повышая его заболеваемость и смертность, но и для обеспечения жизнедеятельности в целом: это большие энергозатраты, сокращение службы механизмов, экономическое удорожание всех сфер. В случае повышения зимних минимальных температур (особенно в зонах вечной мерзлоты) подвержены опасности системы водоснабжения, сточных вод и др. Волны тепла в совокупности с засухами летом могут привести к лесным пожарам, колоссальным потерям древесины и т. д. В связи с этим основным объектом нашего анализа являются временные линейные тренды в рядах годовых экстремумов приземной температуры воздуха. В рамках рассматриваемого временного периода анализ поля долговременного тренда выявил их территориальную неоднородность, особенно хорошо выраженную в полях максимальных температур.

В последние 30 лет летние условия в Иркутской области становятся термически более напряженными, характеризующимися возрастанием повторяемости экстремальных значений. Зимние условия за рассматриваемый период характеризуются повсеместным повышением минимальных температур, но с небольшим замедлением после 1976 г. в Центральном и Южном синоптико-климатических районах Иркутской области. Это свидетельствует о том, что зимние условия становятся более мягкими, хотя не исключены периоды с достаточно низкими температурами воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кондратьев К. Я., Демирчян К. С.** Глобальный круговорот углерода и климат // Изв. РГО. — 2004. — Т. 136, № 1. — С. 16–25.
2. **Виноградова Г. М., Завалишин Н. Н., Кузин В. И.** Внутривековые изменения климата Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 2002. — № 5–6. — С. 408–411.
3. **Бышев В. И., Нейман В. Г., Романов Ю. А.** О разнонаправленности изменений глобального климата на материках и океанах // Докл. РАН. Сер. Геофизика. — 2005. — Т. 400, № 1. — С. 98–104.
4. **Разуваев В. Н.** Погода и климат в России в XX веке // Россия в окружающем мире: Аналитический ежегодник. — М.: Изд-во Междунар. независим. экол.-политол. ун-та, 2001.
5. **Кусков А. И., Катаев С. Г.** Структура и динамика приземного температурного поля над азиатской территорией России. — Томск: Изд-во Том. пед. ун-та, 2006. — 176 с.
6. **Ревякин В. С., Харламова Н. Ф.** Региональные изменения климата и природной среды Центральной Азии // Мировой океан, водоемы суши и климат: Труды XII съезда РГО. — СПб, 2005. — Т. 5. — С. 369–377.
7. **Харламова Н. Ф.** Некоторые особенности климатических изменений для внутриконтинентальных районов России // Тезисы докладов Междунар. конференции по проблемам гидрометеор. безопасности: прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям, 26–29 сентября 2006 г. — М., 2006. — С. 80.
8. **Бульгина О. Н., Коршунова Н. Н., Кузнецова В. Н. и др.** Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ МЦД. — Обнинск, 2000. — Вып. 167. — С. 3–15.
9. **Григорьева Е. Г., Тунеголовец В. П.** Об изменении некоторых климатических характеристик на территории юга Дальнего Востока во второй половине XX века // География и природ. ресурсы. — 2004. — Спец. выпуск. — С. 296–301.
10. **Бульгина О. Н., Шерстюков Б. Г., Разуваев В. Н.** Современное состояние климатических условий Калужской области и их возможные последствия в условиях глобального потепления. — Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 2002. — 229 с.
11. **Белоусова Е. П., Латышева И. В., Иванова А. С.** Циркуляционные особенности аномально теплых и холодных зим над Восточной Сибирью // Материалы XII науч. совещания географов Сибири и Дальнего Востока. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. — Т. 1. — С. 67–68.

Поступила в редакцию 24 ноября 2008 г.