



УДК 551.583(571.53)

Изменчивость зимних минимальных температур воздуха в Предбайкалье

Е. А. Кочугова (kochugovae@mail.ru)

Аннотация. Выполнен анализ изменений экстремальности зимнего термического режима Предбайкалья. Дана оценка временной изменчивости повторяемости суточных минимальных температур воздуха ниже -30 , -35 , -40 , -45 и -50 °С за период 1943–2012 гг. Зимние условия становятся термически более мягкими, хотя не исключены периоды с аномально низкими температурами.

Ключевые слова: прикладная климатология, изменение климата, экстремумы, минимальная температура воздуха, Предбайкалье, абсолютный минимум, изменчивость.

Введение

Наступивший в конце XX в. перелом в понимании значимости климата способствовал постановке новых климатических исследований. Начиная со Второго доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [21] особое внимание стало уделяться анализу погодных и климатических экстремумов. Ко времени выхода Третьего и Четвертого докладов МГЭИК [22; 23] появились более качественные данные об экстремумах, а также модели климата, воспроизводящие сценарии будущего изменения экстремальных явлений, позволившие дать всесторонний анализ и сделать вывод о том, что потепление глобального масштаба приводит к заметным изменениям повторяемости и интенсивности экстремальных явлений регионального масштаба.

Как известно, экстремальные значения метеорологических величин показывают границы их естественной изменчивости и в значительной мере определяют степень воздействия погоды и климата на жизнедеятельность людей, их социальное и экономическое состояния. Например, суровый климат России определяет высокую стоимость многих инвестиционных проектов, которая обусловлена внушительными финансовыми затратами на строительство в условиях значительных перепадов температур, промерзания грунта, более высокого прожиточного минимума людей, издержек на отопление, эксплуатационных расходов на поддержание объектов инфраструктуры и производства. Воздействие низких температур ведет и к негативным последствиям для организма человека. Происходит как прямое влияние на организм человека за счет увеличения числа дней с аномально низкими (вы-

сокими) температурами, наводнений, штормов, так и косвенное, опосредованное влиянием экологических или социально-экономических факторов.

Таким образом, динамика экстремумов является важным показателем глобального климата, и ее своевременная оценка может помочь адаптировать общество к рискам, а также выработать меры по использованию благоприятных возможностей, связанных с ожидаемым изменением климата и его воздействием. В попытках приспособиться конечные пользователи заинтересованы не только в простых временных рядах средних значений, показывающих тенденции, но и в оценке изменчивости климатических переменных, так как даже сравнительно небольшие по величине колебания средних значений могут приводить к существенным изменениям статистики экстремумов. Кроме того, непосредственный ущерб людям и их собственности не очевиден при постепенном изменении температуры и других климатических переменных, но бесспорен, когда вызван их экстремумами.

Объект исследования

Предбайкалье – часть Прибайкалья, расположенная к западу от оз. Байкал, включающая в себя Приморский и Байкальский горные хребты [4]. Этот обширный регион расположен в центре Евразии. Поскольку Предбайкалье отличается резко континентальным климатом, характеризующимся суровыми климатическими условиями, интерес вызывают колебания зимних минимальных температур. Первые измерения минимальных температур воздуха на этой территории принадлежат немецкому естествоиспытателю на русской службе Иоганну Георгу Гмелину, который в 1735 г. производил опыты с термометром Делиля в Киренске [6].

Интерес к изменениям статистики экстремальных значений климатических переменных также обусловлен тем, что асимметрия в изменениях положительных и отрицательных экстремумов наиболее ярко выражена для зимнего сезона [2; 10; 15]. Например, в декабре – феврале максимальная температура воздуха на территории России увеличилась за 1950–2006 гг. в среднем на 1,9 °С, а минимальная – на 2,7 °С [14].

В последние десятилетия происходит интенсивное повышение минимальной температуры воздуха. Так, к северу от 50° с. ш. практически для всей европейской территории России (ЕТР) и в Центральной Сибири скорость увеличения минимумов температуры составляет более 0,8 °С/10 лет, а в центрах очагов она достигает 2,0–2,6 °С/10 лет [19]. Только на незначительной территории (юг Европейской России и Западной Сибири, побережье Охотского моря, Чукотка) отмечается убывание годовых минимумов и увеличение годового размаха температуры [14]. Как показано в отдельных работах [15; 19], происходит не только повышение наиболее низких в году температур, но и сокращается продолжительность периодов с экстремально низкими температурами.

Однако на фоне общей тенденции роста минимальной температуры в отдельных районах России увеличивается число случаев, когда минимальная температура достигает рекордно низких значений. Например, 2006 г. в

целом по России был теплым. Аномалия среднегодовой температуры воздуха, осредненной по территории России, составила $0,5^{\circ}\text{C}$, в то время как на территории Западной Сибири отмечался рост экстремальности в режиме зимней минимальной температуры. Наиболее низкая температура отмечалась над югом Западной Сибири, где аномалия среднемесячной температуры воздуха достигала -16°C . На шести метеорологических станциях Томской области был перекрыт абсолютный минимум на $0,1-1,4^{\circ}\text{C}$. На станциях Бор (Красноярский край) и Александровское (север Томской области), находившихся в очаге холода, зафиксирована рекордная непрерывная продолжительность морозов ниже -30°C , которая составила 22 и 23 дня соответственно [1; 3]. Зима 2005/2006 гг. была аномально холодной и для Восточной Сибири, однако в южных районах Восточной Сибири понижение среднемесячной температуры было менее значительным (на $-4...-5^{\circ}\text{C}$) [9].

Согласно «Оценочному докладу ...» [14], к середине XXI в. произойдет повышение наиболее низких в году суточных минимумов температуры приземного воздуха по всей территории России. При этом наибольший рост (на $4-6^{\circ}\text{C}$) ожидается на юге и северо-западе ЕТР. В центральных районах ЕТР, на Урале и в Восточной Сибири увеличение самой низкой суточной температуры составит $2-4^{\circ}\text{C}$.

Результаты, их анализ и обсуждение

Информация о вероятности возникновения экстремально низких температур важна для решения прикладных задач в различных секторах экономики, в том числе здравоохранении, энергетике, сельском, лесном, водном хозяйствах и т. д. Очень часто для их решения необходимы сведения о годовых минимумах, значения которых используются в качестве расчетных параметров в ряде нормативных документов. В этих документах, например в СНиП 23-01-99 [18], приводятся значения экстремумов температуры, выбранные по имеющемуся на станции ряду наблюдений за период 1891–1985 гг. Однако известно, что именно последние десятилетия характеризуются целым рядом климатических аномалий, поэтому в данном исследовании пространственной структуры минимальных значений температур на территории Предбайкалья используется период с 1943 по 2012 г. По данным инструментальных наблюдений суточного разрешения за минимальной температурой воздуха, собранных в архиве Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ – МЦД), анализировались экстремальные характеристики температурного режима зимнего периода Предбайкалья, которые могут дополнить наши знания об изменениях климатической системы и климатических экстремумов.

На режим минимальной температуры воздуха в большей степени, чем на среднюю месячную температуру, оказывают влияние особенности местоположения метеорологической станции: форма рельефа, ширина и направление долин, условия стока холодного воздуха, площадь воздушосбора, инверсии, близость больших водоемов, микроклиматические особенности

подстилающей поверхности и т. д. Большое разнообразие условий местоположения метеорологических станций Предбайкалья затрудняет обобщение данных наблюдений. В целом минимальная годовая температура на севере региона исследования может опуститься от -57°C один раз в 10 лет до -62°C один раз в 100 лет; в центральной части – от -47°C один раз в 10 лет до -55°C один раз в 100 лет; на юге – от -42°C один раз в 10 лет до -50°C один раз в 100 лет; на прибрежной территории оз. Байкал – от -37°C один раз в 10 лет до -41°C один раз в 100 лет (табл. 1). Практически исключена возможность понижения температуры ниже -40°C в высокогорьях Хамар-Дабана. Более низкие температуры в долинах, по сравнению с хребтами, зимой объясняются преобладанием антициклональной погоды, которая, как правило, приводит к образованию инверсионного распределения температуры. Зимой в антициклонах часто приземная инверсия, возникающая в результате выхолаживания приземного слоя воздуха от подстилающей поверхности и отрицательного радиационного баланса, может существовать неделями и, постепенно усиливаясь, может соединиться с антициклональной приподнятой инверсией, существующей на высоте 1–2 км. Это приводит к тому, что приземная температура воздуха опускается до -50°C , а на высоте 1,5 км (в пограничном слое) она на 10–20 $^{\circ}\text{C}$ выше.

Таблица 1

Минимальная температура воздуха различной вероятности за период 1943–2012 гг.

| Станция | Средний из абсолютных минимумов ($^{\circ}\text{C}$) | Вероятность минимальной температуры ниже указанных пределов (%) | | | | | | | | Абсолютный минимум | |
|--------------------|--|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|------|
| | | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 | $^{\circ}\text{C}$ | Год |
| Наканно | -55 | -61 | -60 | -59 | -58 | -55 | -53 | -52 | -49 | -61 | 1980 |
| Ербогачен | -54 | -61 | -59 | -58 | -56 | -54 | -51 | -50 | -48 | -61 | 1966 |
| Ика | -52 | -60 | -58 | -57 | -54 | -52 | -50 | -47 | -46 | -60 | 1966 |
| Бодайбо | -48 | -55 | -54 | -53 | -51 | -48 | -45 | -44 | -42 | -55 | 1951 |
| Киренск | -51 | -58 | -57 | -56 | -53 | -51 | -48 | -46 | -45 | -58 | 1966 |
| Червянка | -48 | -56 | -54 | -54 | -51 | -49 | -45 | -43 | -41 | -56 | 1949 |
| Максимово | -51 | -57 | -56 | -55 | -53 | -50 | -47 | -45 | -44 | -60 | 1915 |
| Тайшет | -43 | -50 | -49 | -48 | -46 | -43 | -39 | -37 | -34 | -50 | 1916 |
| Нижнеудинск | -42 | -50 | -47 | -47 | -45 | -43 | -39 | -37 | -35 | -50 | 1947 |
| Жигалово | -47 | -54 | -53 | -52 | -51 | -48 | -45 | -42 | -41 | -54 | 1959 |
| Тулун | -43 | -50 | -49 | -48 | -45 | -42 | -39 | -36 | -35 | -54 | 1916 |
| Верхняя Гугара | -42 | -47 | -47 | -46 | -44 | -42 | -40 | -37 | -36 | -47 | 1968 |
| Инга | -44 | -50 | -48 | -48 | -46 | -44 | -41 | -40 | -39 | -50 | 1947 |
| Иркутск | -39 | -43 | -42 | -42 | -40 | -38 | -35 | -32 | -28 | -50 | 1915 |
| Большое Голоустное | -34 | -41 | -39 | -38 | -36 | -34 | -32 | -30 | -28 | -45 | 1915 |

Примечание. Курсивом указаны абсолютные минимумы, наблюдавшиеся ранее 1943 г.

Как правило, наиболее низкие температуры воздуха в районе исследования наблюдаются в январе, когда азиатский антициклон достигает своего максимального развития и наиболее велико радиационное выхолаживание. В большинстве случаев центр барического максимума располагается в районе 50° с. ш., $95\text{--}96^\circ$ в. д. [11]. Средние температуры января колеблются от $-30,8^\circ\text{C}$ (станция Бодайбо) и $-35,1^\circ\text{C}$ (станция Наканно) на севере до $-17,0^\circ\text{C}$ (станция Хамар-Дабан) на юге Предбайкалья [13]. На большей же части территории температура изменяется от -27 до -24°C , несколько повышаясь в юго-восточных районах и Предсаянье до -20°C .

В отдельные дни температура воздуха может быть значительно ниже. Предельно низкая приземная температура воздуха (-61°C) за всю историю инструментальных наблюдений была зафиксирована на станции Ербогачен в 1966 г. Именно этот год долгое время оставался рекордным для большей части Предбайкалья. В 1966 г. были зафиксированы абсолютные минимумы на метеорологических станциях: Ербогачен, Ика, Киренск, Орлинг, Преображенка, Светлый, Хамакар, Казачинское. Новым рекордным годом повсеместных сильных морозов стал 2001 г. Минимальные температуры этого года на отдельных станциях превзошли минимумы предыдущих лет. Например, на станции Ангарск в указанный год наблюдалась минимальная температура воздуха $-47,6^\circ\text{C}$, а предыдущий минимум ($-45,1^\circ\text{C}$) был зафиксирован в 1966 г. Обновился абсолютный минимум и на других станциях, в том числе: в Братске абсолютный минимум температуры воздуха ($-44,1^\circ\text{C}$) в 2001 г. был перекрыт на $1,8^\circ\text{C}$, в Калтуке – на $0,8^\circ\text{C}$, в Лукиново – на $0,6^\circ\text{C}$ и т. д.

Наиболее суровый температурный режим в зимний период на рассматриваемой территории наблюдается при мощных ультраполярных вторжениях антициклонов [20]. В Предбайкалье холодный воздух поступает по северо-западной периферии циклона с Восточно-Сибирского моря или Якутии. Вторжение сопровождается распространением с севера отрога антициклона. При этом типе синоптических процессов повторяемость низких температур колеблется от 50 до 65 %. Понижение температуры воздуха в северной части области происходит до $-58\text{--}-60^\circ\text{C}$; на юге области – до $-41\text{--}-50^\circ\text{C}$ с вероятностью 5 % (1 раз в 20 лет).

Гораздо чаще вторжение холода осуществляется с Новой Земли, через север Урала и северные районы Западной Сибири по северо-западной периферии высотного циклона [16]. Понижение температуры воздуха на севере Предбайкалья обычно достигает $-42\text{--}-46^\circ\text{C}$ и ниже, а на юге температура опускается до $-30\text{--}-35^\circ\text{C}$ с вероятностью 95 %.

Кроме того, в зимний период Предбайкалье попадает в зону опосредованного влияния блокингов над Атлантикой, которые, как известно, приводят к ослаблению зонального переноса, развитию сопряженной высотной ложбины и длительному сохранению сильных затоков холодного воздуха на материк [7; 12]. Яркий пример подобных блокингов – аномально холодная зима 1968/1969 гг., когда в 92 % случаев отсутствовал зональный перенос. Повторяемость блокирующих процессов в последние годы увеличивается.

По данным [1], ежегодная их повторяемость с 2000 г. превосходит среднюю за XX в. С 1998 г. с быстрым ростом продолжительности блокирующих процессов стали чаще наблюдаться низкие температуры, что в полной мере подтвердили суровые зимы 2000/2001 гг., 2005/2006 и 2009/2010 гг.

Региональные особенности изменчивости климатических характеристик, связанные с глобальными процессами декадных масштабов, активно исследуются в последние десятилетия в рамках многочисленных климатических международных и национальных программ. В данной работе результаты анализа минимумов температуры воздуха зимнего сезона, осредненных за десятилетия, показал, что потепление охватывало большую часть Предбайкалья (табл. 2). Однако на фоне роста минимальных температур наблюдались десятилетия, когда значения средней минимальной температуры резко понижались. Первый такой период начался в 1963 г. В этот десятилетний период (1963–1972 гг.) минимальные температуры почти повсеместно (исключение станции Ика, Наканно) стали ниже на 1,3 °С по сравнению с предыдущим временным отрезком. Наиболее значительное понижение исследуемой переменной отмечено на станциях Киренск (ниже на 2,1 °С), Большое Голоустное и Максимово (ниже 1,8 °С). Второй период понижения минимумов температуры воздуха наблюдался после 2003 г. Среднее значение понижения минимальной температуры, осредненное по всем рассматриваемым в статье станциям, составляет 2,2 °С. Наибольший вклад в эту величину вносит станция Максимово. Здесь минимальная температура, резко понизившись на 8,2 °С по сравнению с периодом 1993–2002 гг., стала составлять –28,6 °С.

Средние квадратические отклонения минимальных температур зимних месяцев находятся в пределах от 5,6 до 18,7 °С. Наибольшие значения этой величины характерны для северной части Предбайкалья, так как рельеф Ербогаченской равнины не представляет препятствия для прохождения воздушных масс с севера, запада и юга, что увеличивает изменчивость условий погоды из года в год. Очаг наименьших значений среднего квадратического отклонения располагается на юге рассматриваемого региона (станции Иркутск и Большое Голоустное).

Жизненная ритмика природы, населения и хозяйственной деятельности существенно нарушается в период экстремальных условий погоды. Морозы увеличивают вероятность технических аварий [8]. При температуре –30 °С и ниже значительно снижается прочность металлических и пластмассовых деталей и конструкций. Ущерб от сильных морозов связан с гибелью людей от переохлаждения, замораживанием технических объектов, разрушением систем отопления, повреждением в жилищно-коммунальном хозяйстве населенных пунктов, в первую очередь водоснабжения.

В целях повышения уровня предсказуемости наступления зимних экстремальных температур была проведена статистическая обработка случаев с очень сильными морозами, когда минимальная температура воздуха опускалась ниже –30, –35, –40, –45, –50 и –55 °С для каждого десятилетия отдельно.

Таблица 2

Значения средних минимальных \bar{T}_{\min} и среднеквадратических отклонений σ температуры воздуха (°C) в зимний период

| Станции | Периоды, годы | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| | 1943–1952 | | 1953–1962 | | 1963–1972 | | 1973–1982 | | 1983–1992 | | 1993–2002 | | 2003–2012 | |
| | \bar{T}_{\min} | σ °C |
| Наканно | -39,5 | 10,3 | -38,2 | 11,3 | -37,9 | 12,0 | -38,8 | 10,8 | -36,9 | 10,6 | -37,6 | 10,5 | -36,9 | 9,5 |
| Ика | -30,9 | 15,7 | -33,7 | 10,6 | -30,7 | 16,4 | -34,4 | 10,5 | -33,1 | 10,2 | -33,3 | 10,7 | -33,8 | 9,7 |
| Бодайбо | -28,8 | 9,9 | -27,9 | 9,8 | -28,3 | 9,3 | -27,0 | 9,8 | -25,6 | 9,4 | -25,3 | 9,6 | -23,0 | 8,2 |
| Киренск | -29,2 | 15,6 | -31,4 | 11,1 | -33,5 | 10,8 | -32,0 | 11,0 | -30,5 | 10,8 | -30,3 | 10,9 | -31,1 | 10,2 |
| Червянка | | | -27,6 | 11,4 | -30,7 | 10,8 | -29,4 | 11,3 | -28,6 | 10,9 | -27,0 | 10,7 | -28,2 | 10,3 |
| Максимово | -31,0 | 11,4 | -30,5 | 10,5 | -32,3 | 10,5 | -31,0 | 10,7 | -29,7 | 10,1 | -20,3 | 18,7 | -28,6 | 12,0 |
| Тайшет | -23,8 | 9,3 | -23,3 | 9,5 | -24,9 | 9,8 | -23,0 | 9,7 | -21,6 | 9,2 | -20,5 | 9,3 | -22,5 | 9,3 |
| Нижнеудинск | -26,3 | 8,6 | -25,8 | 8,9 | -26,9 | 8,8 | -24,9 | 8,5 | -24,3 | 7,8 | -23,7 | 8,4 | -25,3 | 8,8 |
| Жигалово | -28,5 | 15,5 | -32,5 | 9,6 | -32,9 | 8,7 | -31,4 | 9,0 | -29,8 | 8,3 | -29,1 | 8,9 | -30,3 | 8,5 |
| Тулун | -26,8 | 8,6 | -23,2 | 8,1 | -24,7 | 8,3 | -23,4 | 7,9 | -22,7 | 7,3 | -22,1 | 7,9 | -23,2 | 8,2 |
| Верхняя Гутара | -26,3 | 8,5 | -24,3 | 11,0 | -26,2 | 8,8 | -25,0 | 8,7 | -24,4 | 7,8 | -23,0 | 8,0 | -24,7 | 8,6 |
| Инга | -26,7 | 12,1 | -26,0 | 12,2 | -27,8 | 11,9 | -28,3 | 8,3 | -27,8 | 6,9 | -27,6 | 8,0 | -27,6 | 8,0 |
| Иркутск | -24,0 | 7,3 | -22,9 | 7,3 | -28,2 | 7,1 | -21,7 | 6,9 | -20,4 | 6,4 | -19,8 | 6,6 | -20,7 | 6,6 |
| Большое Голоустное | -20,3 | 6,1 | -19,7 | 8,2 | -21,6 | 6,3 | -20,9 | 6,2 | -19,8 | 5,6 | -19,3 | 6,1 | -20,0 | 6,0 |

Минимальная температура воздуха ниже -30°C наблюдалась на всех рассматриваемых станциях. Приблизительно половина станций фиксировали эту температуру через день. Наиболее часто минимальная температура опускалась ниже -30°C на станциях, расположенных в северной части Предбайкалья (рис. 1, *а*). Например, в Наканно повторяемость температуры ниже указанного предела от десятилетия к десятилетию колебалась от 75 до 83 %. Довольно редко температура воздуха опускалась ниже -30°C на станциях Иркутск и Большое Голоустное (в 14 и 7 % случаев соответственно).

Аналогичное распределение повторяемости характерно и для температур ниже -35°C . В среднем по территории повторяемость температур ниже указанного предела составила 26 % (рис. 1, *б*). Самые суровые зимние условия наблюдались с 1963 по 1972 г. В этот период повторяемость температур ниже -35°C увеличилась до 32 %. Наибольшее увеличение характерно для западных станций (Тулун, Тайшет, Нижнеудинск), а также станций Максимова и Киренск. На севере Предбайкалья температуры ниже -35°C наблюдались всего на 2 % чаще по сравнению с предыдущим десятилетием.

После 1973 г. повторяемость рассматриваемой градации снизилась до 22 %. Самые теплые зимы в Предбайкалье наблюдались после 1983 г. На всех метеорологических станциях повторяемость минимальной температуры воздуха ниже -35°C резко уменьшилась. Значительное сокращение градации произошло на территории, расположенной севернее широты 57° . Здесь повторяемость сильных морозов снизилась по сравнению с предыдущим периодом по крайней мере на четверть, а местами на треть (Жигалово). В последующие годы темпы роста минимальной температуры сократились, а в последнее десятилетие тенденция сменилась на обратную (за исключением станций Ика и Нижнеудинск).

В среднем повторяемость случаев с минимальной температурой ниже -40°C на севере Предбайкалья колеблется в пределах от 18 до 49 %, на остальной территории – не превышает 7 % (рис. 1, *в*). В целом закономерности пространственно-временного распределения аномально низких температур, характерные для градации ниже -35°C , сохраняются. Однако интенсивность изменения повторяемости минимальных температур от десятилетия к десятилетию уменьшалась в 2 раза по сравнению с повторяемостью температур ниже -35°C .

Сравнивая повторяемости случаев с минимальными температурами ниже -45°C и -50°C (рис. 1, *г* и *д*), можно отметить, что указанные температуры могут устанавливаться на большей части рассматриваемой территории, за исключением южных районов. Однако их повторяемость не превышает 36 % в северном и 4 % в западных районах Предбайкалья. За рассматриваемый период для этих градаций было отмечено несколько исключительно суровых зимних периодов в 1943–1952 гг. и 1973–1982 гг. Так, на станции Наканно повторяемость температур ниже -50°C в указанные временные интервалы составляла в среднем 14 %, т. е. случаи с аномально низкой температурой наблюдались через 7–8 суток. Далее произошло довольно резкое сокращение повторяемости указанной градации до 5 % (20 суток). Аналогичные тенденции наблюдались и на других станциях Предбайкалья. В среднем повторяемость градации ниже -45°C в 3 раза больше, чем градации ниже -50°C .

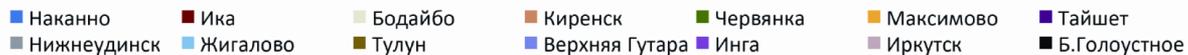
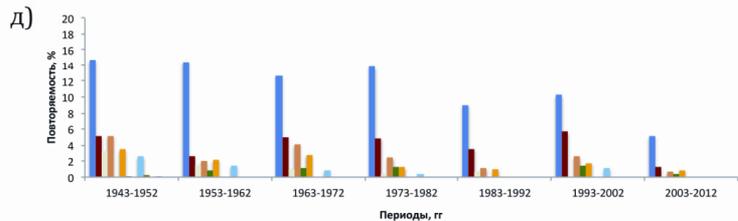
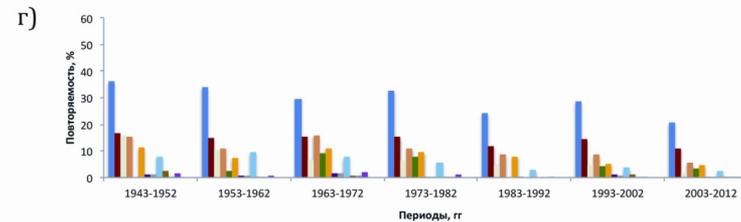
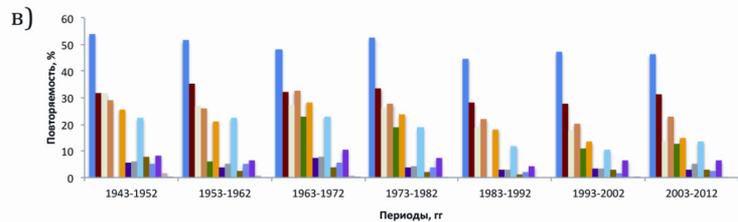
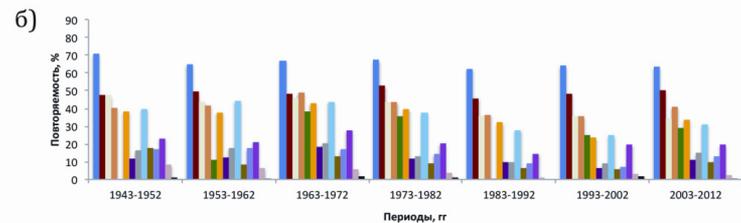
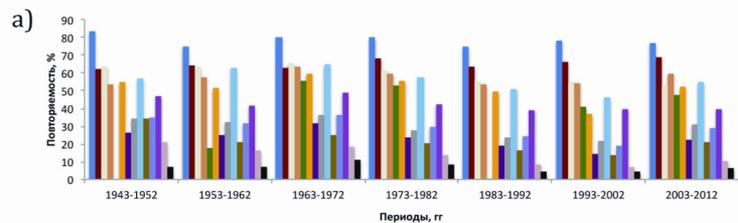


Рис. 1. Повторяемость зимних минимальных температур ниже -30°C (а), -35°C (б), -40°C (в), -45°C (г), -50°C (д) и -55°C (е) в Предбайкалье за десятилетние интервалы с 1943 по 2012 г.

Крайне редко (не более 3,5 % случаев) минимальная температура опускается ниже -55°C . Значительные понижения температуры воздуха обусловлены перемещением холодных арктических воздушных масс, которые вследствие малой влажности и большой прозрачности при движении подвергаются дальнейшему радиационному выхолаживанию. Повторяемость этой градации от десятилетия к десятилетию значительно меняется, уменьшаясь после 1982 г. Последний 10-летний цикл, по данным о минимальной температуре, является значительно теплее предыдущего периода.

В среднем в Предбайкалье минимальная температура воздуха за период с 1943 по 2012 г. повысилась на $3,5^{\circ}\text{C}$. Увеличение минимальной температуры, превысившее среднее значение по Предбайкалью, произошло в северо-восточном, западном и центральном районах. Меньше, чем в других районах, температура повысилась на побережье Байкала. Здесь средняя скорость повышения минимальных температур за зимний сезон составляет $0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет (табл. 3).

Вследствие большой зависимости числа случаев с низкой температурой, как и температур вообще, от высоты и рельефа местности создается чрезвычайно сложная картина распределения. В различных районах Предбайкалья линейный тренд за этот же период составил от $0,10^{\circ}\text{C}/10$ лет (станция Бодайбо) до $1,11^{\circ}\text{C}/10$ лет (станция Иркутск).

Таблица 3

Линейные тренды a_{tr} ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) минимальной температуры воздуха, рассчитанные для зимнего сезона за период с 1943 по 2012 г.

| Станция | Географические координаты | | a_{tr} , $^{\circ}\text{C}/10$ лет | | |
|--------------------|---------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------|-------------|
| | широта, с. ш. | высота, м | январь | февраль | декабрь |
| Наканно | $62^{\circ} 54'$ | 246 | 0,25 | 0,44 | 0,48 |
| Ика | $59^{\circ} 20'$ | 340 | 0,30 | 0,24 | 0,37 |
| Бодайбо | $57^{\circ} 51'$ | 278 | 1,10 | 0,10 | 0,85 |
| Киренск | $57^{\circ} 47'$ | 256 | 0,59 | 0,60 | 0,61 |
| Червянка | $57^{\circ} 40'$ | 219 | 0,71 | 0,44 | 0,11 |
| Максимово | $57^{\circ} 10'$ | 354 | 0,43 | 0,39 | 0,74 |
| Тайшет | $55^{\circ} 56'$ | 305 | 0,29 | 0,20 | 1,01 |
| Нижнеудинск | $54^{\circ} 56'$ | 410 | 0,40 | 0,35 | 0,71 |
| Жигалово | $54^{\circ} 49'$ | 426 | 0,78 | 0,84 | 0,89 |
| Тулун | $54^{\circ} 37'$ | 523 | 0,56 | 0,58 | 0,87 |
| Верхняя Гутара | $54^{\circ} 13'$ | 983 | 0,46 | 0,48 | 0,89 |
| Инга | $52^{\circ} 58'$ | 541 | 0,33 | 0,33 | 0,67 |
| Иркутск | $52^{\circ} 21'$ | 467 | 0,83 | 0,76 | 1,11 |
| Большое Голоустное | $52^{\circ} 02'$ | 461 | 0,17 | 0,17 | 0,41 |

Примечание. Жирным шрифтом выделены тренды, статистически значимые на уровне 5 %.

Рассчитанные тренды хорошо согласуются с результатами, полученными в работе [5], выполненной на материале за более ранний период (с 1951 по 1995 г.). Сравнивая результаты, следует отметить, что последние два десятилетия характеризуются более суровым температурным режимом, что нашло свое отражение в уменьшении скорости роста минимальных температур воздуха. Например, тренд минимальной температуры воздуха на станции Иркутск с $1,99\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет уменьшился до $1,11\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, а на станции Бодайбо – с $1,50\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет до $1,10\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Исследованием установлено, что более всего изменениям подверглись декабрьские минимальные температуры, которые в среднем на $0,23\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет превышают тренд других зимних месяцев (см. табл. 3). Исключение составляют станции Бодайбо и Червянка, где наибольшая скорость изменения минимальной температуры наблюдается в январе.

Выводы

Климатические экстремумы – важнейший фактор условий жизни людей, поскольку именно они создают предпосылки для возникновения чрезвычайных ситуаций. Готовность общества к снижению их последствий зависит от сочетаний возможных в данной местности климатических экстремумов.

Не касаясь природы наблюдаемого изменения климата Предбайкалья, отметим, что реализуется оно в виде положительных аномалий приземной минимальной температуры воздуха в зимний период, повторяемость которых значительно возростала до 2002 г. Возможно, причина таких аномалий – усиление циклонической активности в высоких широтах Евразии, связанное с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции. В зимний период, помимо явного повышения минимальных экстремумов, температура воздуха демонстрирует существенную десятилетнюю и межгодовую изменчивость.

Список литературы

1. *Барашкова Н. К.* Оценка термического режима воздуха и тенденции процессов антициклогенеза на юге Западной Сибири в прикладных целях / Н. К. Барашкова, М. А. Волкова, И. В. Кужевская // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2004. – № 387. – С. 225–232.
2. *Бардин М. Ю.* Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления / М. Ю. Бардин, Т. В. Платова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем : сборник.– М. : Изд-во Ин-та глоб. климата и экологии Росгидромета и РАН, 2013. – Т. 25. – С. 71–93.
3. *Булыгина О. Н.* Рекордные морозы в январе 2006 г. на территории Российской Федерации / О. Н. Булыгина, Н. Н. Коршунова, Л. Т. Трофименко // Анализ изменений климата и их последствия : тр. ВНИИГМИ-МЦД. – Обнинск, 2007 – Вып. 173. – С. 215–220.
4. *Географический* энциклопедический словарь. – М. : Сов. энцикл., 1989. – 592 с.

5. *Густокашина Н. Н.* Изменение температурных экстремумов на территории Предбайкалья / Н. Н. Густокашина, Е. В. Максютлова // Вычисл. технологии. – 2006. – Т. 11, спец. вып. – С. 83–87.
6. *Иваньо Я. М.* Изменчивость экстремальных значений и событий климатических характеристик Восточной Сибири // Український гідрометеорологічний журн. – 2007. – № 2. – С. 67–75.
7. *Ипполитов И. И.* Связь периодичностей в рядах приземных температур и индексов атмосферной циркуляции / И. И. Ипполитов, М. В. Кабанов, С. В. Логинов // География и природ. ресурсы. – 2005. – Спец. вып. – С. 267–272.
8. *Исаев А. А.* Обзор средних и экстремальных характеристик климата Москвы в конце XX в. / А. А. Исаев, Б. Г. Шерстюков // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 3. – С. 27–37.
9. *Латышева И. В.* Исследование динамики Азиатского антициклона и холодных циркуляционных периодов на территории Иркутской области / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, Е. В. Шахаева // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 161–171.
10. *Мирвис В. М.* Оценка изменения континентальности климата России по данным амплитудно-фазовых характеристик годового хода средней суточной температуры воздуха в последнем столетии / В. М. Мирвис, И. П. Гусева, А. В. Мещерская // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 77. – С. 5–18.
11. *Мониторинг* общей циркуляции атмосферы: Северное полушарие : справоч : монография. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 2012. – 123 с.
12. *Мохов И. И.* Действие как интегральная характеристика климатических структур: Оценки для атмосферных блокингов // Докл. Акад. наук. Геофизика. – 2006. – Т. 409, № 3. – С. 403–406.
13. *Научно-прикладной справочник по климату СССР.* Сер. 3. Иркутская область и западная часть Бурятской АССР. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – Вып. 22, ч. 1–6. – 604 с.
14. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации.* Т. 1. Изменения климата / Г. В. Груза, А. С. Зайцев, И. Л. Кароль, В. М. Катцов, Н. В. Кобышева, В. П. Мелешко, А. В. Мещерская, В. М. Мирвис, А. И. Решетников, П. В. Спорышев. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 228 с.
15. *Платова Т. В.* Годовые экстремумы температуры воздуха на территории Российской Федерации и их климатические изменения // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 11. – С. 80–85.
16. *Сергеев Н. И.* Влияние циркуляции атмосферы на тепловой режим климата Сибири // Климатические условия и микроклимат таежных геосистем Сибири. – Новосибирск, 1980. – С. 31–48.
17. *Справочник по климату СССР.* Иркутская область и западная часть Бурятской АССР. Температура воздуха и почвы. – Л. : Гидрометеоздат, 1966. – Вып. 22. – 260 с.
18. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М. : ГОССТРОЙ России, 2012. – 109 с.
19. *Шмакин А. Б.* Динамика климатических экстремумов в северной Евразии в конце XX в. / А. Б. Шмакин, В. В. Попова // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 157–166.
20. *Хуторянская Д. Ф.* Региональная синоптика : учеб. пособие / Д. Ф. Хуторянская. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. – 227 с.

21. *IPCC: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. 1996 / J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, K. Maskell (eds.). – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1996. – 572 p.*

22. *IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / [C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1132 p.*

23. *Observations: Surface and atmospheric climate change // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds.). – Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. – 996 p.*

Variability of Winter Minimum Temperatures at Predbaikalie

E. A. Kochugova

Abstract. The changes of extreme winter thermal regime of Predbaikalie were analyzed. The temporal variability of the frequency of occurrence of daily minimum air temperatures below -30 , -35 , -40 , -45 and -50 °C for the period 1943–2012 was assessed. Winter conditions are thermally softer, although periods of abnormally low temperatures not excluded.

Keywords: applied climatology, climate change, extremums, minimum air temperature, Predbaikalie, absolute minimum, variability

*Кочугова Елена Александровна
кандидат географических наук, доцент
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 52-10-94*

*Kochugova Elena Alexandrovna
Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 52-10-94*