

**Е.А. КОЧУГОВА\*, О.П. ОСИПОВА\*\*, А.Э. ТРУХАНОВ\***

\*Иркутский государственный университет,  
664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия, kochugovae@mail.ru, antontr.meteo.97@gmail.com

\*\*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, olga@irigs.irk.ru

## **ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АЗИАТСКОЙ РОССИИ**

*Исследованы изменения зимних температур воздуха на территории Сибирского сектора Северного полушария (60–120° в. д.) за многолетний период (1947–2017 гг.). Выявлен положительный тренд температуры воздуха (скорость 0,3 °C/10 лет). Анализ величины и повторяемости температурных аномалий также подтверждает повышение приземной температуры воздуха. Проанализировано распределение крупных положительных и отрицательных аномалий температуры воздуха. Очаги наибольшей повторяемости крупных отрицательных аномалий расположены на юге и юго-западе района исследований. Максимальное количество отрицательных аномалий отмечалось в декабре. Крупные положительные аномалии (наибольшая повторяемость в январе) наблюдались на всей рассматриваемой территории, а экстремально крупные — лишь на 20 % станций. Наибольшее количество крупных аномалий за 1947–2017 гг. зафиксировано на станции Иркутск. На основе анализа элементарных циркуляционных механизмов (типизация Б.Л. Дзердзеевского) была установлена зависимость между атмосферной циркуляцией и распределением аномалий температуры приземного воздуха. Сделан вывод, что в зимние месяцы температурный режим региона формируется под действием 26 элементарных циркуляционных механизмов, объединенных в семь групп. Преобладает меридиональная циркуляция (75 % случаев). Для всех элементарных циркуляционных механизмов меридиональной северной группы циркуляции характерно наличие блокирующих процессов и прорывов южных циклонов на территорию исследования. В целом за последние два десятилетия выявлено увеличение суммарной годовой продолжительности макроциркуляционных процессов, обеспечивающих межширотный обмен воздушных масс.*

Ключевые слова: Сибирский сектор, аномалия температуры воздуха, изменение климата, элементарные циркуляционные механизмы, атмосферная циркуляция.

**E.A. KOCHUGOVA\*, O.P. OSIPOVA\*\*, A.E. TRUKHANOV\***

\*Irkutsk State University,  
664003, Irkutsk, ul. Karla Marksa, 1, Russia, kochugovae@mail.ru, antontr.meteo.97@gmail.com

\*\*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, olga@irigs.irk.ru

## **CIRCULATION MECHANISMS GENERATING TEMPERATURE ANOMALIES OVER THE TERRITORY OF ASIAN RUSSIA**

*This paper studies the changes in winter air temperatures in the Siberian sector of the northern hemisphere (60–120° E) over a long-term period of 1947–2017. A positive trend in air temperature (0,3 °C/10 years) was revealed. An analysis of the magnitude and frequency of temperature anomalies also confirms an increase in surface temperature. The distribution of large positive and negative temperature anomalies was investigated. Centers of the largest recurrence of large negative anomalies were located in the south and south-west of the study area. A maximum number of negative anomalies were observed in December. Large positive anomalies (the highest frequency in January) were observed throughout the territory under consideration, and extremely large anomalies were found only at 20 % of the stations. The largest number of anomalies in the period of 1947–2017 was observed at the Irkutsk station. Based on the analysis of elementary circulation mechanisms (classification by B.L. Dzerdzevsky), a relationship was established between the atmospheric circulation and the distribution of air temperature anomalies. It was concluded that the temperature regime in the winter months was formed under the influence of 26 elementary circulation mechanisms, combined into seven groups. The meridional circulation prevailed (75 % of cases). The elementary circulation mechanisms of the meridional northern circulation group were all characterized by the presence of blockings and intrusions of southern cyclones into the study area. In general, over the past two decades, an increase in duration of macrocirculation processes resulting in the inter-latitude air mass exchange has been revealed.*

Keywords: *Siberian sector, air temperature anomaly, climate change, elementary circulation mechanisms, atmospheric circulation.*

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным аналитических обзоров изменений климата, в настоящее время учащаются погодные аномалии и наблюдается перераспределение вклада различных сезонов года в суммарный рост глобальной температуры. До середины 1990-х гг. повышение среднегодовой температуры воздуха происходило в основном за счет роста температуры в зимние месяцы [1]. В последующие годы на территории России в зимние сезоны была отмечена тенденция к замедлению потепления [2]. Данная особенность изменений температурного режима особенно важна для Сибири, поскольку быстрый рост температуры в этом регионе на 85–90 % был обусловлен смягчением зимних холодов [3].

В связи с этим интересно оценить региональные особенности динамики температуры воздуха в зимний период, когда наиболее заметны климатические изменения последних десятилетий. Трансформация крупномасштабной атмосферной циркуляции считается весьма вероятным механизмом генерации вариативности регионального климата. Например, в [4, 5] установлено, что изменчивость атмосферной циркуляции может объяснять от 54 до 82 % колебаний температуры в Сибири в различные месяцы. Понимание этого механизма требует сопряженного анализа особенностей пространственной динамики полей аномалий температур и тенденций циркуляционных характеристик атмосферы.

Цель данной работы — исследование взаимосвязи крупномасштабной атмосферной циркуляции с изменчивостью температуры приземного воздуха зимних месяцев с учетом аномалий.

Выявлению причин формирования аномально теплых и холодных зим посвящены работы [6–9]. Т.В. Покровская [10] и А.В. Ефанова [11] исследуют связь аномальных зим с повторяемостью типов циркуляции Вангенгейма–Гирса. В указанных работах суровые зимы в Восточной Сибири объясняются преобладанием восточной циркуляции E, а холодные зимы в Западной Сибири — комбинированной циркуляцией E + C, где C — меридиональный тип. В последние десятилетия подход к объяснению экстремальных зим изменился. Основная роль в этом вопросе отводится стационарным антициклонам, особенно блокирующим высотным образованиям и связанным с ними особенностям циркуляции атмосферы [12–17].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрена часть территории Азиатской России, заключенная между 60 и 120° в. д., что соответствует Сибирскому сектору Северного полушария.

Для установления зависимостей между атмосферной циркуляцией и распределением аномалий температуры приземного воздуха были использованы календарь последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) [18] и данные метеорологических наблюдений за температурой воздуха суточного разрешения 50 реперных климатических станций, расположенных на рассматриваемой территории [19].

Период исследования включает зимние календарные месяцы с 1947 по 2017 г. В этот период уменьшается влияние трансформации воздушных масс, обусловленной неоднородностью свойств подстилающей поверхности, на циркуляционные процессы, так как исследуемая территория полностью покрыта сезонным снежным покровом.

Для оценки масштаба температурной аномалии использована величина среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ). Аномалия считается крупной при отклонении температуры воздуха от нормы на величину, превышающую стандартное отклонение, —  $|\sigma| \leq |\Delta t| < |2\sigma|$ , очень крупной — при отклонении  $|2\sigma| \leq |\Delta t| < |3\sigma|$  и экстремально крупной —  $|3\sigma| \leq |\Delta t|$ , где  $\Delta t$  — отклонение суточной температуры от вычисленной средней за весь период исследования. Аналогичные критерии были использованы в работах [20, 21].

Для анализа связи температурных аномалий с крупномасштабной циркуляцией атмосферы применена классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому [22, 23]. Ее основной единицей является ЭЦМ — типовой циркуляционный процесс, в течение которого сохраняются географическое положение барических образований и направление их перемещения. Всего в типизации выделен 41 подтип ЭЦМ, объединенных в четыре группы циркуляции: 1 — зональная, когда блокирующие процессы отсутствуют и отмечаются одновременные выходы южных циклонов в двух-трех секторах (типы ЭЦМ 1–2); 2 — группа нарушения зональности, когда при

антициклоне на полюсе формируются один блокирующий процесс и 1–3 выхода южных циклонов в разных секторах (типы ЭЦМ 3–7); 3 — меридиональная северная группа, когда при антициклоне на полюсе отмечаются 2–4 блокирующих процесса и столько же выходов южных циклонов (типы ЭЦМ 8–12); 4 — меридиональная южная, когда наблюдается циклоническая циркуляция над Арктикой, которая определяется развитием циклонической деятельности на арктическом фронте и регенерацией на нем приходящих с юга в высокие широты окклюзированных циклонов (тип ЭЦМ 13).

Изучение связи аномалий температуры с трансформациями циркуляционных механизмов, описывающих особенности переноса воздушных масс, позволяет рассматривать климатические изменения с точки зрения механизмов общей циркуляции атмосферы и их вклада в глобальное изменение климата. Получение таких представлений необходимо для понимания закономерностей формирования региональных климатических аномалий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Характеристика температурного режима зимних месяцев.** Значительная протяженность территории (около 6600 км с севера на юг и 1050 км с запада на восток), а также сложные орографические условия формируют значительную пространственную неоднородность температурного режима региона. Средняя месячная температура воздуха зимних месяцев с 1947 по 2017 г. изменяется по территории от  $-14 \div -20$  °С на юге до  $-28 \div -32$  °С и менее на севере.

Суровость температурного режима нарастает с юга на север и северо-восток. Наиболее сильные морозы наблюдаются в условиях узких долин и котловин Западной Якутии, где рельеф способствует стоку и застою тяжелого холодного воздуха, и в полярных районах Красноярского края; очаги холода расположены на станциях Сухана ( $68,37^\circ$  с. ш.,  $118,20^\circ$  в. д.) и Агата ( $66,53^\circ$  с. ш.,  $92,28^\circ$  в. д.) соответственно. Здесь практически ежегодно температуры воздуха зимой опускаются ниже  $-50$  °С. Наименьшая среднесуточная температура воздуха была зафиксирована на станции Сухана 8 января 1979 г. и составила  $-63,5$  °С.

Декабрь является самым теплым зимним месяцем. За счет медленного остывания морей и неглубокого промерзания почвы температура месяца с наиболее низким радиационным балансом выше, чем в январе. Февраль — самый холодный месяц на большей части Сибирского сектора Северного полушария. В среднем температура воздуха в январе на  $2-3$  °С ниже, чем в декабре. Февраль по температурным условиям очень близок к январю. Рост температуры от января к февралю незначителен и составляет  $1-2$  °С. Только в резко континентальных районах Восточной Сибири, на юге Красноярского края и в Забайкалье разность между средней температурой в январе и феврале достигает  $4-5$  °С, а местами и  $5-7$  °С.

**Анализ тенденций изменения температуры воздуха.** Линейные тренды средних месячных температур зимнего сезона (декабрь–февраль) свидетельствуют об общей для территории исследования тенденции к потеплению. В среднем сезонная температура воздуха возрастает со скоростью  $0,3$  °С/10 лет.

Максимальные изменения температуры воздуха отмечаются в феврале (рис. 1). Это хорошо согласуется с выводами работы [24] в том, что февраль — это месяц наибольшего роста температуры

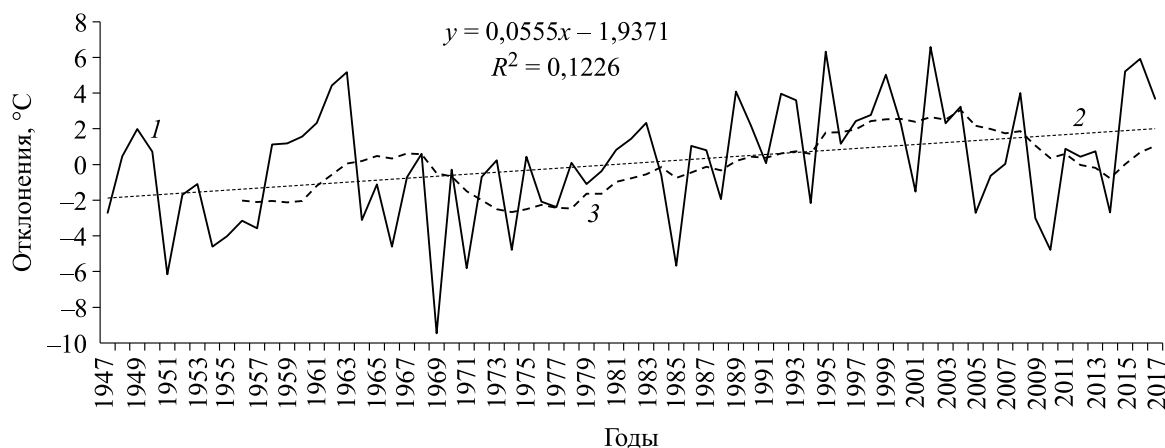


Рис. 1. Регионально осредненные отклонения температуры воздуха от средней многолетней в феврале (1), рассчитанной за период с 1947 по 2017 г., линейный тренд (2) и 10-летнее скользящее осреднение (3).

приземного воздуха. Амплитуда колебаний средних месячных аномалий в этом месяце превышает 15 °С. Самым холодным был февраль 1969 г., когда осредненные по территории средние месячные температуры отклонились от нормы на 9 °С. Наибольшее положительное отклонение наблюдалось в 2002 г. (6,5 °С). В целом существенный рост температуры отмечался после 1985 г. В последующие годы частота отрицательных отклонений среднемесячной температуры сократилась в 2,7 раза.

Пространственные вариации тренда не имеют закономерного характера и колеблются в значительном диапазоне. Слабый рост средней месячной температуры воздуха (0,1–0,2 °С/10 лет) характерен для северо-восточной части исследуемой территории. Максимальное повышение температуры воздуха (до 0,9 °С/10 лет) отмечается в Верхнеленском районе Иркутской области. Менее интенсивный (0,6–0,7 °С/10 лет), но занимающий большую площадь, очаг роста температуры расположен на территории Западной Сибири. Следует отметить, что этот очаг здесь локализован не только в феврале, но и в декабре.

В январе регионально осредненный тренд для рассматриваемой территории составил 0,1 °С/10 лет. Отрицательные линейные тренды, которые сравнительно невелики и пространственно ограничены, отмечаются лишь на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Таким образом, анализ осредненных по территории исследования отклонений температуры от средней многолетней свидетельствует о выраженном повышении приземной температуры воздуха.

**ЭЦМ, характерные для зимних месяцев в Сибирском секторе Северного полушария.** В типизации Б.Л. Дзержеевского и его соавторов для Сибирского сектора выделено восемь групп, из которых в трех преобладает широтная западная циркуляция, а в пяти — долготная северная [25]. В различные сезоны года обобщенная широтная и обобщенная долготная группы циркуляции могут быть представлены различным набором ЭЦМ. В Северном полушарии за период с 1899 по 2015 г. сменились три циркуляционные эпохи: две меридиональные (1899–1915 гг. и с 1957 г. по настоящее время) и одна зональная (1916–1956 гг.) [26, 27]. В Сибирском секторе в силу его географического положения и под влиянием особенностей циркуляции атмосферы смена циркуляционных эпох происходит чаще. Так, с 1899 по 2005 г. сменились две меридиональные (1899–1934, 1963–1976 гг.) и две зональные (1935–1962, 1977–2005 гг.) циркуляционные эпохи [27]. Переход к текущей меридиональной эпохе в Сибирском секторе произошел гораздо позднее (с 2006 г.), чем в других секторах Северного полушария.

Для выделения типов ЭЦМ, наблюдающихся только в зимние месяцы в Сибирском секторе Северного полушария, был проанализирован календарь последовательной смены ЭЦМ (табл. 1). Таким образом, зимой температурный режим региона формируется 26 ЭЦМ, объединенными в семь групп.

Почти в 75 % случаев в зимние календарные месяцы наблюдается долготная северная циркуляция, которая чаще всего представлена 11а, 12бз, 11б и 12вз ЭЦМ (см. табл. 1). В целом за зимние периоды

Таблица 1

**Характеристика групп циркуляции, встречающихся в зимние месяцы в Сибирском секторе Северного полушария**

| Группа циркуляции                                  | Тип ЭЦМ, по [22]                            |
|--|---|
| Широтная западная (шз)                             | 8а, 10а                                     |
| Широтная западная и долготная южная (шзю)          | 4б, 6                                       |
| Широтная западная и стационарное положение (шзсп)  | 1а, 1б, 4а, 7аз, 7бз, 9б, 13з               |
| Долготная северная (дс)                            | 12а   |
| Долготная северная и стационарное положение (дссп) | 5а, 5в, 8вз, 8гз, 11а, 11б, 11г, 12бз, 12вз |
| Долготная северная и широтная восточная (дсшв)     | 5б, 5г, 11в, 12г                            |
| Долготная северная и широтная западная (дсшз)      | 8бз   |

Таблица 2

**Характеристики аномальности зимней температуры в Сибирском секторе Северного полушария за 1947–2017 гг.**

| Месяц   | Тренд отклонений, °С/10 лет | Суммарное число дней  |   |  |   |
|---------|-----------------------------|---|---|--|---|
|         |                             | с очень крупными положительными аномалиями<br>$2\sigma \leq \Delta t < 3\sigma$ | с очень крупными отрицательными аномалиями<br>$-3\sigma \leq \Delta t < -2\sigma$ | с экстремально крупными положительными аномалиями<br>$3\sigma \leq \Delta t$ | с экстремально крупными отрицательными аномалиями<br>$-3\sigma \geq \Delta t$ |
| Январь  | 0,1                         | 1352  | 2558  | 192  | 71  |
| Февраль | 0,5                         | 1427  | 2140  | 61   | 75  |
| Декабрь | 0,3                         | 865   | 2542  | 124  | 132   |

1947–2017 гг. суммарная повторяемость указанных ЭЦМ составляет 30 %. Широтная циркуляция чаще всего выражена 7аз, 7бз, 9б, 13з. Их повторяемость не превышает 15 %.

**Распределение крупных положительных и отрицательных аномалий температуры воздуха.** На фоне общего потепления климата могут наблюдаться аномально низкие и аномально высокие температуры воздуха. В табл. 2 приведено распределение суммарного числа случаев с очень крупными и экстремально крупными аномалиями температуры воздуха за каждый месяц зимнего сезона в период 1947–2017 гг. В целом отрицательные аномалии на исследуемой территории наблюдаются в 1,8 раза чаще, чем положительные.

Рекордсменом по числу отрицательных аномалий является декабрь. В декабре 1955, 1968 и 1984 гг. на территории Сибирского сектора Северного полушария отмечалась наибольшая повторяемость случаев с экстремальными отрицательными аномалиями. Например, на станции Леуши, расположенной в Ханты-Мансийском автономном округе, при средней многолетней температуре в декабре  $-14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  с 3 по 9 декабря 1968 г. температура воздуха была ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Примерно в два раза реже экстремально крупные отрицательные аномалии наблюдаются в январе и феврале. Самыми холодными для этих месяцев на исследуемой территории были 1969, 1973, 2001 и 1951, 1969, 2001 гг. соответственно.

Для пространственного распределения крупных отрицательных аномалий характерен широтный ход (рис. 2). На севере территории их количество не превышает 20. Очаги наибольшей повторяемости крупных отрицательных аномалий расположены на юге и юго-западе региона. Следует отметить, что в декабре наиболее часто крупные отрицательные аномалии наблюдаются на юго-востоке Западной Сибири (станции Томск и Барабинск — 99 и 89 случаев соответственно за весь исследуемый период). В январе этот очаг смещается на юг Иркутской области. Наибольшее количество крупных аномалий в 1947–2017 гг. зафиксировано на станции Иркутск (87 случаев). В феврале закономерности распределения сходны с январскими, но количество аномалий сокращается на 10–15 случаев.

Анализируя временное распределение крупных отрицательных аномалий, можно отметить суровые зимы 1946/1947, 1965/1966, 1968/1969 и 2000/2001 гг. Максимум повто-

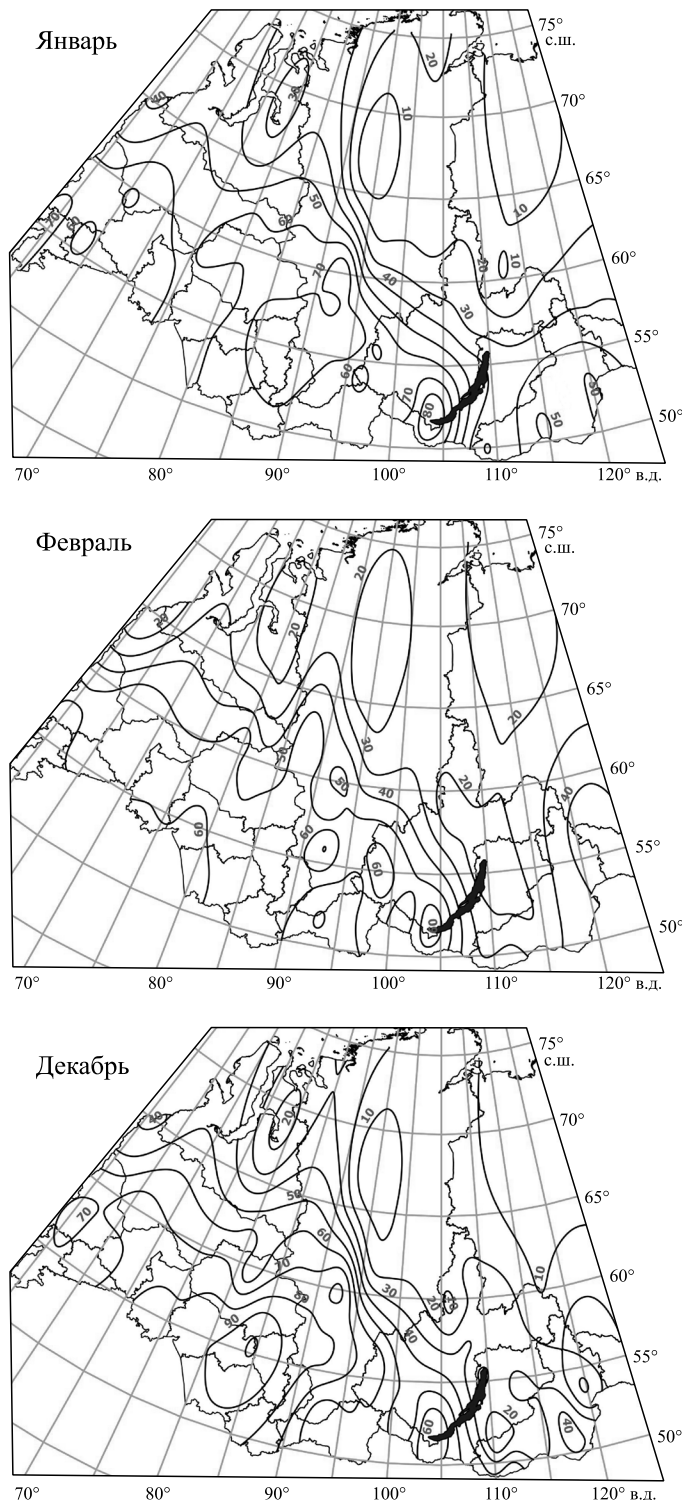


Рис. 2. Пространственное распределение суммарного числа случаев с крупными отрицательными аномалиями температуры воздуха за 1947–2017 гг.

ряемости крупных аномалий наблюдался зимой 1968/1969 г. В эту зиму на территории Сибирского сектора Северного полушария отклонения суточной температуры от вычисленной средней за весь период исследования, превышающие  $2\sigma$ , наблюдались практически повсеместно.

Положительные аномалии более  $3\sigma$  наблюдаются редко. В среднем они отмечаются на 20 % рассматриваемых станций. Только в январе экстремально крупные аномалии могут наблюдаться на трети из них. Чаще всего эти аномалии фиксируются на станциях Удское, Агинское, Сухана.

Наибольшую повторяемость экстремально крупные положительные аномалии имеют в январе. Например, в 1951, 1955 и 2003 гг. на рассматриваемой территории они наблюдались более 20 раз. В декабре их повторяемость в 1,5 раза меньше. Очень часто крупные положительные аномалии фиксировались в декабре 1965 г. (36 случаев).

Следует отметить, что для временного распределения экстремально крупных положительных аномалий характерна неравномерность. До 1985 г. они наблюдались каждые 1–2 года, а после — реже (через 4–5 лет в феврале и декабре, в январе через 2–3 года).

Зимой крупные положительные аномалии наблюдаются на всей рассматриваемой территории. В целом для них характерно увеличение с юга на север (рис. 3). Исключение составляет юго-восточная часть региона, где в течение всего зимнего периода количество крупных положительных аномалий не менее 40–50. Анализ повторяемости отклонений температуры воздуха от нормы на величину  $2\sigma \leq |\Delta t| < 3\sigma$  показал, что начиная с 1995 г. она увеличилась во все зимние месяцы. Анализируя сезонное распределение крупных аномалий (см. рис. 3), можно отметить, что в начале зимы (декабрь) они наблюдаются реже. Например, в западной части рассматриваемой территории (с 60 до 85° в. д.) в декабре таких случаев вообще не было зафиксировано. В последующие зимние месяцы число крупных положительных аномалий здесь увеличилось, особенно заметно в районах, расположенных севернее 55-й параллели. В целом наиболее часто крупные положительные аномалии наблюдаются в северных районах Красноярского края и Иркутской области.

**Влияние ЭЦМ на формирование аномально холодных и теплых зим.** За исследуемый период для Сибирского сектора было выявлено по 10 самых холодных и самых

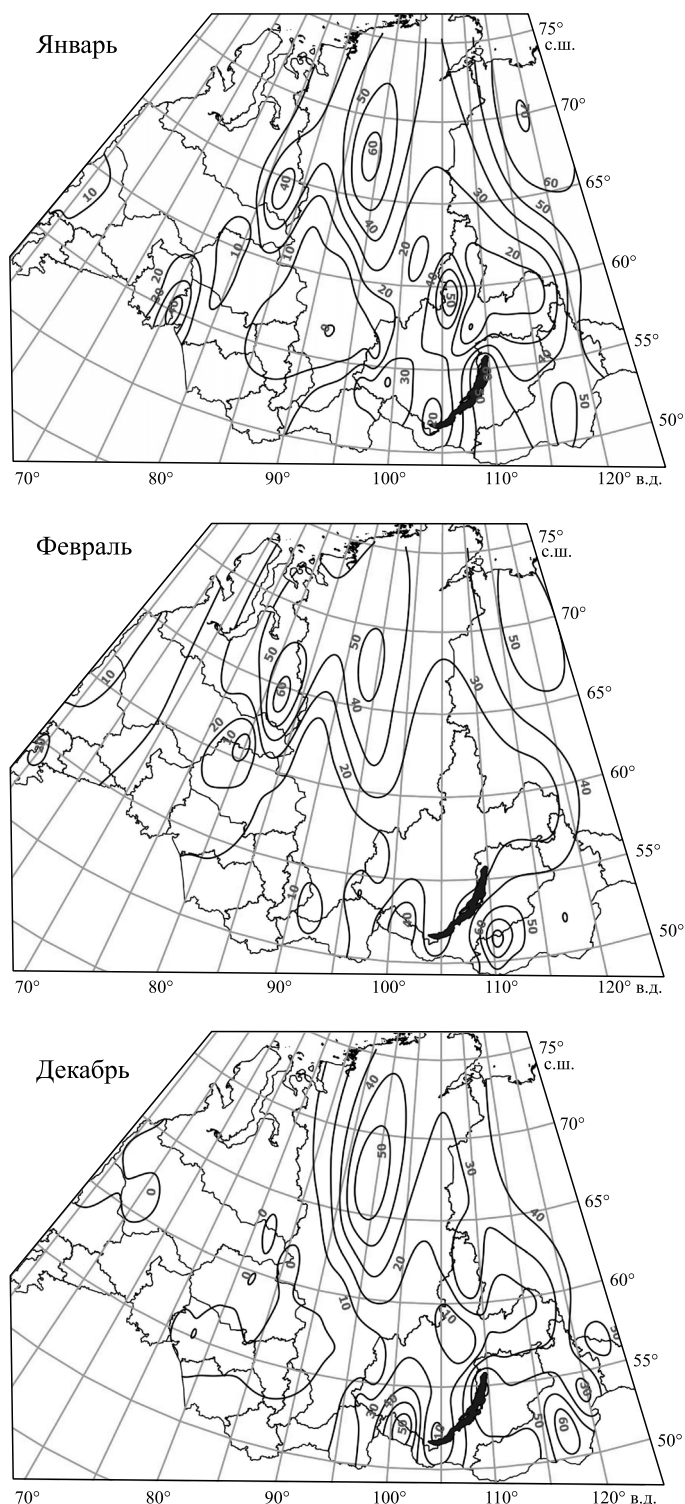


Рис. 3. Пространственное распределение суммарного числа случаев с крупными положительными аномалиями температуры воздуха за 1947–2017 гг.

Таблица 3

**Характеристика циркуляционных условий самых теплых зим на территории Сибирского сектора  
Северного полушария за 1947–2017 гг.**

| Регионально<br>осредненное<br>$\Delta t$ , °С | Теплые зимы,<br>годы | Группа циркуляции |     |      |      |      |      |      |
|---|----------------------|-------------------|-----|------|------|------|------|------|
|   |                      | шз                | дс  | шздю | шзсп | дсп  | дсшв | дсшз |
| Число дней с ЭЦМ                              |                      |                   |     |      |      |      |      |      |
| 5,7   | 2001/2002            | 0                 | 9   | 0    | 23   | 29   | 7    | 0    |
| 3,9   | 1994/1995            | 9                 | 6   | 5    | 6    | 31   | 11   | 0    |
| 3,6   | 1961/1962            | 9                 | 0   | 3    | 16   | 39   | 5    | 5    |
| 3,4   | 1991/1992            | 0                 | 0   | 0    | 9    | 28   | 17   | 0    |
| 3,0   | 1948/1949            | 17                | 0   | 0    | 18   | 39   | 11   | 0    |
| 3,0   | 2014/2015            | 4                 | 16  | 0    | 0    | 33   | 22   | 0    |
| 3,0   | 2006/2007            | 0                 | 7   | 0    | 12   | 40   | 8    | 0    |
| 2,9   | 2015/2016            | 0                 | 11  | 0    | 4    | 48   | 7    | 0    |
| 2,7   | 1988/1989            | 0                 | 4   | 2    | 10   | 13   | 2    | 0    |
| 2,6   | 1980/1981            | 0                 | 1   | 0    | 8    | 64   | 7    | 0    |
| Среднее число дней с ЭЦМ                      |                      |                   |     |      |      |      |      |      |
|   |                      | 4,7               | 3,8 | 0,2  | 16,0 | 37,9 | 12,9 | 1,3  |

Примечание. Здесь и в табл. 4: группы циркуляции — см. табл. 1.

Таблица 4

**Характеристика циркуляционных условий самых холодных зим на территории Сибирского сектора  
Северного полушария за 1947–2017 гг.**

| Регионально<br>осредненное<br>$\Delta t$ , °С | Холодная зима,<br>годы | Группа циркуляции |     |      |      |      |      |      |
|---|------------------------|-------------------|-----|------|------|------|------|------|
|   |                        | шз                | дс  | шздю | шзсп | дсп  | дсшв | дсшз |
| Число дней с ЭЦМ                              |                        |                   |     |      |      |      |      |      |
| -6,3  | 1968/1969              | 4                 | 6   | 0    | 10   | 31   | 12   | 0    |
| -4,1  | 1950/1951              | 7                 | 0   | 5    | 21   | 32   | 12   | 6    |
| -3,8  | 2000/2001              | 7                 | 8   | 0    | 5    | 34   | 15   | 0    |
| -3,5  | 1953/1954              | 6                 | 6   | 0    | 14   | 43   | 16   | 7    |
| -2,9  | 1984/1985              | 23                | 0   | 8    | 13   | 13   | 7    | 0    |
| -2,8  | 1946/1947              | 16                | 0   | 0    | 32   | 46   | 18   | 3    |
| -2,8  | 2009/2010              | 6                 | 4   | 0    | 12   | 39   | 6    | 2    |
| -2,3  | 1966/1967              | 2                 | 0   | 0    | 20   | 37   | 15   | 0    |
| -2,3  | 2008/2009              | 6                 | 10  | 0    | 4    | 35   | 19   | 0    |
| -2,2  | 2010/2011              | 2                 | 9   | 0    | 15   | 36   | 12   | 0    |
| Среднее число дней с ЭЦМ                      |                        |                   |     |      |      |      |      |      |
|   |                        | 4,7               | 3,8 | 0,2  | 16   | 37,9 | 12,9 | 1,3  |

теплых зим (табл. 3, 4). Зимние сезоны расположены в порядке уменьшения величины температурной аномалии  $\Delta t$ , °С.

Для аномально теплых и холодных зим характерно преобладание меридиональной северной группы циркуляции (долготная северная со стационарным положением ЭЦМ 11а, 11б, 12бз, 12вз), группы нарушения зональности (широтной западной со стационарным положением ЭЦМ 7аз, 7бз), а также комбинированной группы (долготной северной и широтной восточной ЭЦМ 11в, 12г, 5б). Все указанные ЭЦМ характеризуются блокирующими процессами и прорывами южных циклонов на территорию исследования. Зимой в Сибирском секторе основным барическим образованием у поверхности земли является Азиатский антициклон, поэтому в долготной и широтной группах циркуляции присутствует вторая составляющая — стационарное положение. Самые теплые зимы (2001/2002 и 1994/1995 гг.), с наибольшими температурными аномалиями (5,7 и 3,9 °С), соответствуют зональной эпохе циркуляции в Сибирском секторе. Аномально теплые зимы чаще всего наблюдались при про-

хождении «ныряющих» циклонов через Сибирь на Дальний Восток, что способствовало ослаблению Азиатского антициклона и повышению температуры воздуха. Самая холодная зима (1968/1969 гг.), с наибольшей отрицательной аномалией ( $-6,3$  °С), была в период меридиональной циркуляционной эпохи. С конца 1990-х гг. возросла продолжительность меридиональной северной циркуляции, что проявилось в увеличении повторяемости и продолжительности ЭЦМ 12а, 11а и 9б в последние два десятилетия. Как в самые холодные, так и в самые теплые зимы четыре аномалии из десяти наблюдались после 2000 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование температурного режима зимних месяцев на территории Сибирского сектора ( $60-120^\circ$  в. д.) за многолетний период подтвердило общую для территории исследования тенденцию к потеплению. Оценка осредненных отклонений температуры воздуха от средней многолетней также свидетельствует о выраженном повышении приземной температуры воздуха. В среднем сезонная температура возрастает со скоростью  $0,3$  °С/10 лет. Максимальное повышение температуры воздуха (до  $0,9$  °С/10 лет) отмечается в Верхнеленском районе Иркутской области. Анализ повторяемости отклонений температуры воздуха от нормы на величину  $|2\sigma| \leq |\Delta t| < |3\sigma|$  показал, что начиная с 1995 г. она увеличилась во все зимние месяцы. Отрицательные аномалии на исследуемой территории наблюдаются в 1,8 раза чаще, чем положительные; их максимум приходится на декабрь. Очаги наибольшей повторяемости крупных отрицательных аномалий расположены на юге и юго-западе Сибирского сектора. Крупные положительные аномалии (максимальная повторяемость в январе) чаще всего наблюдаются в северных районах Красноярского края и Иркутской области.

Почти в 75 % случаев в зимние календарные месяцы имела место меридиональная северная группа циркуляции, а все входящие в нее ЭЦМ сопровождалась блокирующими процессами и прорывами южных циклонов на территорию исследования. В аномально холодные и аномально теплые зимы, которые наблюдались после 2000 г., также преобладала меридиональная циркуляция. Увеличение суммарной годовой продолжительности макроциркуляционных процессов, обеспечивающих межширотный обмен воздушных масс, приводит к формированию положительных и отрицательных температурных аномалий, следовательно, аномально холодные и теплые зимы будут наблюдаться чаще.

*Работа выполнена в рамках проекта НИР Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (0347–2019–003).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Особенности наблюдаемых изменений климата на территории Северной Евразии по данным регулярного мониторинга и возможные их факторы // Труды Гидрометеорол. науч.-исслед. центра Российской Федерации. — 2015. — № 358. — С. 13–35.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М.: Росгидромет, 2014 [Электронный ресурс]. — <http://climatechange.igce.ru> (дата обращения 01.12.2019).
3. Дучков А.Д., Балобаев В.Т. Эволюция теплового и фазового состояния криотолитозоны Сибири // Глобальные изменения природной среды. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2001. — С. 90–104.
4. Черенкова Е.А. Региональные особенности изменения летней температуры в Западной Сибири во второй половине XX–начале XXI века // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2016. — № 4. — С. 52–61.
5. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Поднебесных Н.В., Харюткина Е.В. Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 2011. — Т. 24, № 1. — С. 15–21.
6. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Захарова О.К. Формы атмосферной циркуляции и распределение аномалий температуры воздуха и осадков: анализ для Центрально-Азиатского региона и возможности прогноза // Гидрометеорология и экология. — 2009. — № 3 (54). — С. 7–21.
7. Морозова С.В. Физико-статистический анализ современных изменений в Атлантико-Евразийском секторе полушария зимой (на примере января) // Труды Гидрометеорол. науч.-исслед. центра Российской Федерации. — 2015. — № 358. — С. 88–98.
8. Попова В.В., Шмакин А.Б. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий зимней температуры воздуха в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 12. — С. 15–24.



9. **Мещерская А.В., Голод М.П.** Каталоги аномальности зим на территории России // Труды ГГО. — 2015. — № 579. — С. 129–145.
10. **Покровская Т.В.** Аномалии температуры воздуха в январе на континенте Евразии в связи с распределением температуры на земном шаре // Труды ГГО. — 1959. — Вып. 65 (127). — С. 70–82.
11. **Ефанова А.В.** Холодные зимы на континентах Северного полушария. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 115 с.
12. **Шакина Н.П., Иванова А.В.** Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. — 2010. — № 11. — С. 5–18.
13. **Бардин М.Ю.** Антициклоническая квазистационарная циркуляция и ее влияние на аномалии и экстремумы температуры воздуха в западных областях России // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 2. — С. 5–18.
14. **Садоков В.П.** Распределение блокирующих образований в средней тропосфере Северного полушария // Метеорология и гидрология. — 2011. — № 4. — С. 42–47.
15. **Интенсивные** атмосферные вихри и их динамика / Под ред. И.И. Мохова, М.В. Курганского, О.Г. Чхетiani. — М.: ГЕОС, 2018. — 482 с.
16. **Мохов И.И., Семёнов В.А.** Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. — 2016. — № 2. — С. 16–27.
17. **Barnes E.A., Dunn-Sigouin E., Masato G., Woollings T.** Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking // Geophys. Res. Lett. — 2014. — Vol. 41, N 2. — P. 638–644.
18. **Календарь** последовательной смены ЭЦМ по дням [Электронный ресурс]. — <http://atmospheric-circulation.ru/datas/> (дата обращения 20.10.2019).
19. **Сайт** Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. — <http://meteo.ru> (дата обращения 20.10.2019).
20. **Неушкин А.И., Здонова М.К.** Крупные аномалии средней месячной температуры воздуха. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 495 с.
21. **Ляхов М.Е.** Климатические экстремумы в центральной части европейской территории СССР в XIII–XX вв. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1984. — № 6. — С. 68–74.
22. **Дзердзевский Б.Л.** Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР и Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, 1968. — 240 с.
23. **Дзердзевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М.** Типизация циркуляционных механизмов в Северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Труды науч.-исслед. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. Вып. 21: Центральный институт прогнозов. — М.; Л.: Гидрометиздат, 1946. — 80 с.
24. **Гидроклиматические** исследования Байкальской природной территории / Отв ред. Л.М. Корытный. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2013. — 185 с.
25. **Кононова Н.К.** Изменение осадков холодного периода и продолжительности макроциркуляционных процессов, обуславливающих их выпадение в различных регионах Восточной Сибири // Лед и снег. — 2010. — № 3 (111). — С. 47–57.
26. **Кононова Н.К.** Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX–начале XXI века и их отражение в климате // Сложные системы. — 2014. — № 2 (11). — С. 13–41.
27. **Кононова Н.К.** Циркуляционные эпохи в секторах Северного полушария в 1899–2014 гг. // Геополитика и экогеодинамика регионов. — 2015. — Т. 11, № 2 (15). — С. 56–66.

*Поступила в редакцию 16.12.2019*

*После доработки 16.12.2019*

*Принята к публикации 24.03.2020*