

О.П. ОСИПОВА*, Э.Ю. ОСИПОВ**

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, olga@irigs.irk.ru**Лимнологический институт ЛИН СО РАН,
664033, ул. Улан-Баторская, 3, Россия, eduard@lin.irk.ru**ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ДИНАМИКУ ЛЕДНИКОВ КОДАРА**

На основе ежедневных данных о высоте изобарической поверхности 700 гПа (нижняя тропосфера) реанализа NCEP/NCAR выполнена объективная классификация синоптических типов над хр. Кодар (Забайкалье) за период 1970–2020 гг. и исследована сезонная и межгодовая изменчивость повторяемости циклонического и антициклонического типов погоды. Установлено, что на уровне нижней тропосферы над Кодаром доминирует адвективный режим атмосферной циркуляции, а циклонические типы преобладают над антициклоническими во все сезоны, кроме летнего (июнь–август). Выявлено, что за последние 50 лет повторяемость антициклонических типов имеет тенденцию к увеличению летом и к снижению осенью, а циклонических — к снижению весной и, наоборот, к увеличению осенью. Сделан вывод о возможном влиянии атмосферной циркуляции над Кодаром на изменения баланса массы горных ледников. По соотношению циклонов и антициклонов в разные сезоны года установлено три основных режима атмосферной циркуляции, определяющих возможные изменения баланса массы ледников. До середины 1980-х гг. увеличение повторяемости зимних и весенних циклонов способствовало стабилизации баланса массы ледников. С середины 1980-х до начала 2000-х гг. наблюдалось уменьшение повторяемости зимних, весенних и летних циклонов и увеличение числа летних антициклонов. Сделан вывод о том, что такие условия способствовали уменьшению зимних осадков и летней облачности, увеличению радиационного баланса и ускоренной абляции ледников в 1990-х гг. С начала 2000-х гг. атмосферная циркуляция способствовала частичному восстановлению баланса массы ледников.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, изменения ледников, синоптическая классификация Дженкинсона и Коллисона, Восточная Сибирь, хр. Кодар.

O.P. OSIPOVA*, E.YU. OSIPOV**

*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, olga@irigs.irk.ru**Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia, eduard@lin.irk.ru**INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PROCESSES ON THE DYNAMICS OF KODAR GLACIERS**

Based on daily data on isobaric surface altitude 700 hPa (lower troposphere) of NCEP/NCAR reanalysis we made an objective classification of synoptic types over the Kodar Range (Transbaikalia) for the period 1970–2020 and investigated seasonal and interannual variability of cyclonic and anticyclonic weather types frequency. It was found that the advective atmospheric circulation regime dominates at the level of the lower troposphere over the Kodar, and cyclonic types prevail over anticyclonic types in all seasons except summer (June–August). It was further found that the frequency of occurrence of anticyclonic types has a tendency to increase in summer and decrease in autumn over the last 50 years, and the frequency of cyclonic types to decrease in spring and, on the contrary, to increase in autumn. It is concluded that the atmospheric circulation over the Kodar may influence changes in the mass balance of mountain glaciers. According to the ratio of cyclones and anticyclones in different seasons of the year, three main modes of atmospheric circulation, determining possible changes in the mass balance of glaciers, were established. Until the mid-1980s, the increased frequency of winter and spring cyclones contributed to a stabilization of the glacier mass balance. From the mid-1980s to the early 2000s, the frequency of winter, spring, and summer cyclones decreased and the number of summer anticyclones increased. It is concluded that such conditions contributed to a decrease in winter precipitation and summer cloudiness, an increase in the net radiation and accelerated ablation of glaciers in the 1990s. Since the early 2000s the atmospheric circulation has contributed to a partial restoring of the glacier mass balance.

Keywords: atmospheric circulation, glacial changes, Jenkinson and Collison synoptic classification, Eastern Siberia, Kodar Range.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в условиях продолжающегося глобального потепления горные ледники во всем мире интенсивно сокращаются [1]. Это объясняется тем, что разница между зимней аккумуляцией снега и летним таянием (баланс массы ледников) все чаще становится отрицательной. Изменения в балансе массы ледника и его компонентов считаются одними из наиболее надежных индикаторов наблюдаемых климатических изменений. Было проведено много исследований динамики долинных ледников на Аляске [2, 3], в Скандинавии [4], Альпах [5, 6], но деградация внутриматериковых горных ледников в России и Центральной Азии и их реакция на недавние климатические изменения изучены недостаточно. Часто отрицательные тренды баланса массы ледников объясняются с точки зрения повышения летней температуры воздуха и уменьшения количества зимних осадков на ближайших метеостанциях [7, 8].

Между тем температура воздуха и осадки являются лишь интегральными показателями, отражающими сложные процессы взаимодействия между атмосферой и ледниками.

Во многих исследованиях большое внимание уделяется связям между балансом массы ледников и крупномасштабными аномалиями атмосферной и океанической циркуляции [9–11]. Например, изменчивость атмосферной циркуляции в синоптическом масштабе оказывает сильное влияние на изменения абляции ледников центральной части Большого Кавказа [12]. Классические исследования указанных связей основаны на более или менее продолжительных временных рядах измерений баланса массы ледников. Однако на ледниках, расположенных в удаленных континентальных районах, (например, в Восточной Сибири), баланс массы, как правило, систематически не измерялся, что затрудняет исследование влияния атмосферных процессов на многолетние ледниковые изменения. В то же время данные дистанционного зондирования показывают, что площадь ледников Восточной Сибири существенно уменьшилась с конца малого ледникового периода [13], при этом наибольшее сокращение было выявлено для ледников хр. Кодар.

Хребет Кодар расположен в континентальной части Азии (Восточная Сибирь). Сейчас здесь известно 36 небольших ледников (в основном карового и карово-долинного типа) общей площадью 9,12 км² [13]. С середины XIX в. общая площадь этих ледников уменьшилась на 60 % [13]. Ускоренное сокращение ледников фиксируется с середины 1990-х гг. на фоне резкого повышения региональной летней температуры в 1980–1990-х гг. [14]. Нами установлено, что летнее таяние на ледниках Восточной Сибири усиливается при антициклональном режиме атмосферной циркуляции и уменьшается при прохождении циклонов [15]. Исследования теплового баланса на одном из ледников Кодара показали, что 89–95 % энергии, затрачиваемой на летнее таяние, составляет радиационный баланс [16]. Соответственно облачность является природным фактором, существенно контролирующим летнее таяние ледников Кодара. Известно, что летняя облачность над Кодаром обусловлена циклоническими процессами [17, 18]. В то же время аккумуляция снега на ледниках, вероятно, связана с усилением циклонической активности зимой и весной, при этом наибольшая аккумуляция снега в горах (в том числе за счет лавин) имеет место в весенние месяцы [19]. Таким образом, связь между циркуляционными процессами и изменениями кодарских ледников очевидна, однако природа этой связи ранее не исследовалась на длительных временных отрезках (в масштабе десятилетий).

Целью данной работы является исследование сезонных и межгодовых изменений повторяемости циклонических и антициклонических процессов в нижней тропосфере над Кодаром за последние 50 лет и оценка возможного влияния этих процессов на изменения баланса массы ледников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа изменчивости атмосферной циркуляции используют различные варианты синоптической типизации. Широкое признание получили системы типизации Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса [20], а также Б.Л. Дзердзеевского [21]. Однако обе эти системы наиболее применимы для количественных оценок атмосферной циркуляции в самом крупном масштабе (полушария и их секторы), являются субъективными и довольно трудоемкими в применении. В последнее время с развитием компьютерных технологий чаще применяются объективные классификации.

Для идентификации циклонических и антициклонических типов погоды мы использовали объективную классификацию Дженкинсона и Коллисона [22]. Ее преимуществами являются объективность (автоматическое использование алгоритма) и возможность использования данных реанализов.

Метод Дженкинсона и Коллисона может быть применен к любому региону средних и высоких широт ($\sim 30\text{--}70^\circ$) [23, 24]. В основном эта классификация применялась в морских районах средних широт [25–29] и намного реже в континентальных областях, например на юго-западе России [30] и юге Восточной Сибири [31]. Несмотря на первоначальное использование данных о давлении на уровне моря, данная классификация используется и для более высоких уровней [29].

Классификация синоптических типов основана на расчете параметров воздушного потока в 16 равномерно расположенных точках [31]. Мы использовали сеть точек между $47,5$ и $67,5^\circ$ с. ш. и между $102,5$ и $132,5^\circ$ в. д. с центровкой над хр. Кодар ($57,5^\circ$ с. ш., $117,5^\circ$ в. д.). В качестве исходных были использованы ежедневные данные реанализа NCEP/NCAR с расстоянием между узлами регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ [32] за период 1970–2020 гг. по высоте изобарической поверхности 700 гПа (нижняя тропосфера). Данный уровень был выбран, поскольку ледники Кодара расположены на высотах 1900–2800 м над ур. моря, что близко к уровню 700 гПа.

Классификация Дженкинсона и Коллисона включает 27 типов погоды, в том числе: а) два чистых типа — циклоны (C) и антициклоны (A); б) восемь адвективных типов (восемь румбов направления ветра N, NE, E, SE, S, SW, W и NW); в) 16 гибридных типов, объединяющих адвективные типы с циклонической или антициклонической завихренностью (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW и ANW); г) один тип (U), который не классифицируется (размытое барическое поле с малыми градиентами). Соответственно, типы объединяются в три группы — циклоническую (CYC), антициклоническую (ANT) и адвективную (ADV). Каждая из первых двух групп включает девять типов (один чистый тип — C или A — и восемь гибридных), а последняя — восемь адвективных типов. В данной работе рассмотрены только циклонические и антициклонические типы (чистые и гибридные) и группы (CYC и ANT), которые могут быть явно ассоциированы с зимним (сентябрь–май) или летним (июнь–август) балансом массы ледников.

Для расчета параметров циркуляции D (направление потока), F (сила потока) и Z (завихренность потока) применялись те же формулы, что и для приземного уровня [30, 31]. Кроме того, мы использовали те же пороги для идентификации чистых ($|Z| > 2F$) и гибридных ($F < |Z| < 2F$) циклонических и антициклонических типов, что и для приземного уровня [31]. Эти пороговые значения были проверены путем сравнения объективно полученных типов (чистых и гибридных) с ручной классификацией по ежедневным картам погоды за 2018–2020 гг. Проведенные тесты показали, что более чем в 90 % случаев синоптические типы полностью совпадают (95 % для типа A, 93 % для типа C и 97 % для гибридных типов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сезонная изменчивость циклонических и антициклонических режимов. На высотном уровне 700 гПа в 1970–2020 гг. адвективные типы (ADV, повторяемость 53 %) преобладали над циклоническими (CYC, 24 %) и антициклоническими (ANT, 23 %). В целом за исследуемый период оба чистых типа (C и A) входили в пятерку наиболее распространенных с частотами 11,5 и 10,3 % соответственно. При типе A над исследуемой территорией формируются высотный антициклон или гребень, а при типе C — высотный циклон или ложбина. Оба типа вносят наибольший вклад в антициклоническую (45 %) и циклоническую (47 %) группы. Гибридные циклонические типы встречаются в среднем в 1,2 раза чаще, чем гибридные антициклонические, за исключением ASW/CSW и AW/CW.

Годовая изменчивость повторяемости циклонических и антициклонических синоптических типов представлена на рис. 1. Циклоническая группа типов преобладает над антициклонической во все сезоны, кроме летнего (33 % для ANT и 26 % для CYC). Чистые антициклоны (тип A) также доминируют над циклонами (тип C) только летом (19 и 15 % соответственно). Наибольшее преобладание циклонических процессов над антициклоническими наблюдается в переходные месяцы (ноябрь и май), а антициклонических над циклоническими — в августе и июне. Преобладание в холодное полугодие в нижней тропосфере циклонических процессов над антициклоническими, несмотря на формирование в это время Сибирского антициклона, объясняется тем, что Сибирский антициклон — низкое барическое образование, которое не оказывает существенного влияния на циркуляционные процессы на уровне 700 гПа. В целом циклонические процессы в холодный период года (ноябрь–май), по-видимому, вносят значительный вклад в выпадение твердых атмосферных осадков (аккумуляция снега на ледниках). С другой стороны, антициклонические процессы в летний период (июнь–август) оказывают наибольшее влияние на режим таяния ледников.

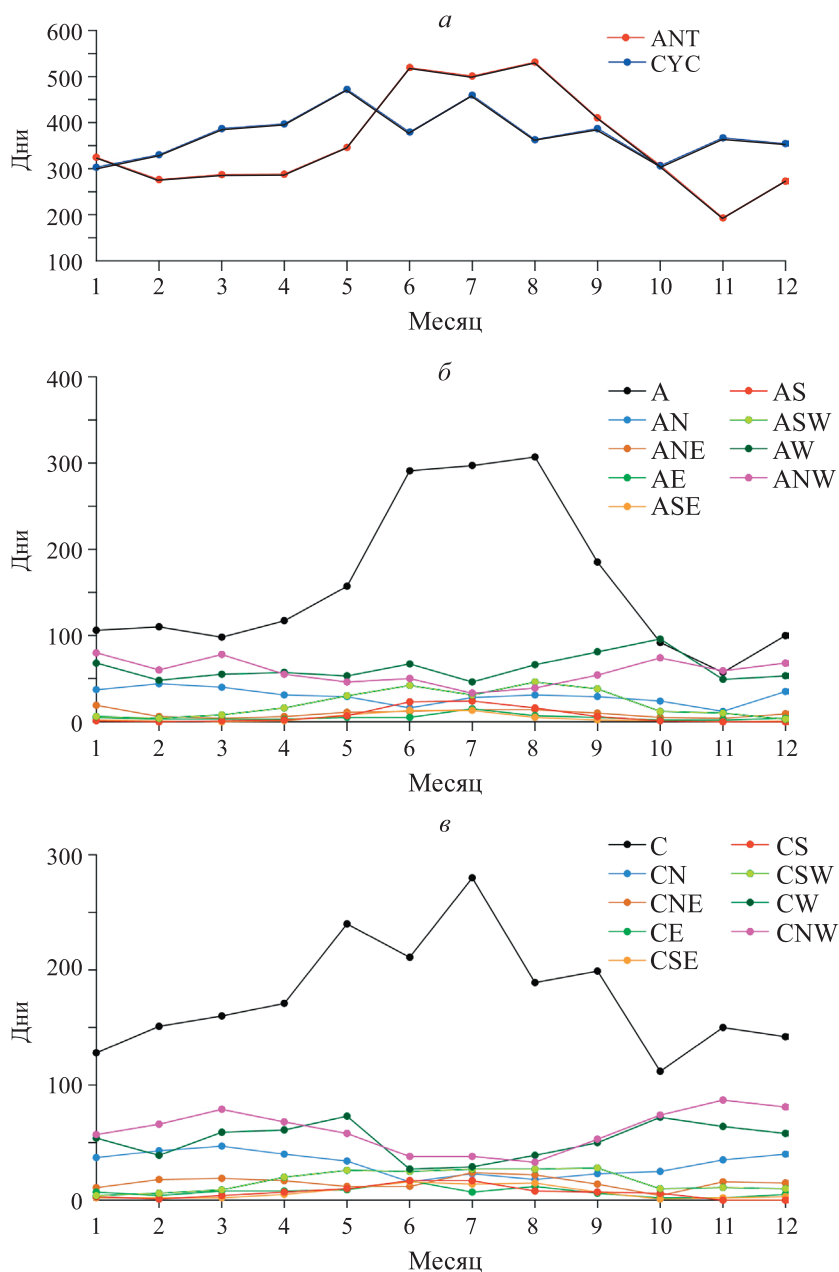


Рис. 1. Годовой ход повторяемости (общее число дней за 1970–2020 гг.) антициклонической и циклонической групп (а) и типов циркуляции, относящихся к антициклонической (б) и циклонической (в) группам.

В отличие от чистых типов, сезонная изменчивость гибридных типов гораздо менее выражена (см. рис. 1). Умеренно выраженный летний максимум наблюдается у типов с южной и восточной компонентами (ASW, AS, AE и ASE), а зимний — у типов с северной составляющей (ANW и AN). В циклонической группе наблюдаются ярко выраженные весенний и осенний максимумы для типов CNW и CW, слабый летний максимум для CSW, CSE и CS и зимний максимум для CN.

Многолетние изменения циклонических и антициклонических процессов и их влияние на баланс массы ледников. За последние 50 лет в изменениях повторяемости антициклонических и циклонических процессов в районе Кодара по сезонам прослеживаются некоторые тенденции, однако они не являются статистически значимыми (при 95%-м уровне достоверности), за исключением положительного тренда повторяемости циклонических процессов (CYC) в осенний период (табл. 1). В целом частота антициклонических типов имеет тенденцию к увеличению летом и к снижению осенью, а

циклонических — к снижению весной и, наоборот, к увеличению осенью. Многолетние тенденции к ослаблению циклонических процессов (особенно весной, в период максимального снегонакопления) и усилению антициклонических (особенно летом, в период ледниковой абляции) хорошо согласуются с общей закономерностью уменьшения баланса массы ледников Кодара, проявляющейся в сокращении площади [13, 14] и толщины [8] ледников с 1970-х гг.

Повторяемость синоптических типов А и С характеризуется сильной межгодовой изменчивостью за исследуемый 50-летний период, однако во временных рядах хорошо прослеживаются как положительные, так и отрицательные аномалии (рис. 2). По соотношению циклонов и антициклонов в разные сезоны года в многолетних колебаниях можно выделить три основных периода (табл. 2). Примерно до середины 1980-х гг. наблюдалась повышенная циклоническая активность (тип С) в зимне-весенне-летний период, при этом повторяемость летних антициклонов (тип А) была ниже средней многолетней. Максимальная циклоничность наблюдалась зимой в середине 1970-х, весной в первой половине 1970-х, а летом — в начале 1980-х гг. Следует отметить, что в этот период повторяемость осенних циклонов была ниже средней многолетней, а антициклонов, наоборот, выше. Период с середины 1980-х до начала 2000-х гг. выделяется увеличенной повторяемостью летних и зимних антициклонов и одновременным ослаблением циклонической активности во все сезоны. Выраженные пики антициклоничности имели место в середине 1980-х и 1990-х гг. (летом) и в начале 1990-х гг. (зимой). Снижение циклонической активности было особенно заметным в 1990-е гг. и в начале 2000-х гг. С начала 2000-х гг. активность циклонических и антициклонических процессов циклически колебалась около средних многолетних значений. В этот период положительные аномалии повторяемости циклонов отмечаются во второй половине 2000-х гг. (лето) и первой половине 2010-х гг. (зима и весна). В середине 2010-х гг. повторяемость зимних и весенних циклонов была ниже средней многолетней, в то время как повторяемость летних антициклонов характеризовалась положительной аномалией.

Усиление циклонической активности в нижней тропосфере в зимне-весенний период, вероятно, способствует повышению снегонакопления на ледниках Кодара и, соответственно, увеличению зимнего баланса массы ледников. С другой стороны, усиление летней антициклонической активности ведет к снижению облачности (особенно низкой), повышению температуры воздуха [18] (рис. 3) и баланса коротковолновой радиации ледниковой поверхности и в конечном итоге к увеличению абляции ледников. Напротив, рост повторяемости летних циклонов связан с повышенной летней облачностью, пониженной температурой воздуха (см. рис. 3) и уменьшенным балансом коротковолновой радиации, что замедляет таяние ледников. В целом атмосферная циркуляция в нижней тропосфере над Кодарским хребтом с начала 1970-х и до середины 1980-х гг. способствовала увеличению снегонакопления (повышенная зимне-весенняя циклоничность) и уменьшению таяния снега/льда (повышенная летняя циклоничность).

Однако с середины 1980-х и до начала 2000-х гг. снижение повторяемости зимних и весенних циклонов должно было приводить к сокращению снегонакопления. Тонкий снежный покров на ледниках стаял гораздо быстрее, что вызывало более интенсивный подъем сезонной снеговой линии и уменьшение альбедо ледниковой поверхности. Одновременно с этим увеличение повторяемости летних антициклонов способствовало уменьшению облачности и возрастанию скорости ледниковой абляции. Таким образом, ускоренное таяние кодарских ледников и сокращение их площади в 1990-х гг., выявленное по данным дистанционного зондирования [14], хорошо согласуются с изменением режима атмосферных процессов в нижней тропосфере в этот период. В начале XXI в. (примерно с 2005 г.) атмосферные процессы над Кодаром, вероятно, способствовали частичному восстановлению баланса массы ледников за счет снижения абляции во второй половине 2000-х гг. (усиление летней циклоничности) и увеличения аккумуляции в первой половине 2010-х гг. (усиление зимней, весенней и осенней циклоничности). С другой стороны, в середине 2010-х гг. режим атмосферной циркуляции, наоборот, способствовал уменьшению баланса массы ледников (ослабление зимне-весенней циклоничности и увеличение повторяемости летних антициклонов).

Таблица 1

Характеристики трендов повторяемости (дней/10 лет) для антициклонических (ANT) и циклонических (CYC) групп и типов А и С погоды за 1970–2020 гг. ($n = 51$)

Сезон	ANT	A	CYC	C
Год	–0,54	–0,54	–0,50	–0,37
Зима	–0,17	–0,32	0,02	–0,21
Весна	–0,04	0,02	–1,25	–0,52
Лето	0,86	0,53	–0,30	–0,23
Осень	–1,15	–0,73	1,35	0,77

Примечание. Статистически значимый тренд (при уровне 95 %) выделен жирным шрифтом.

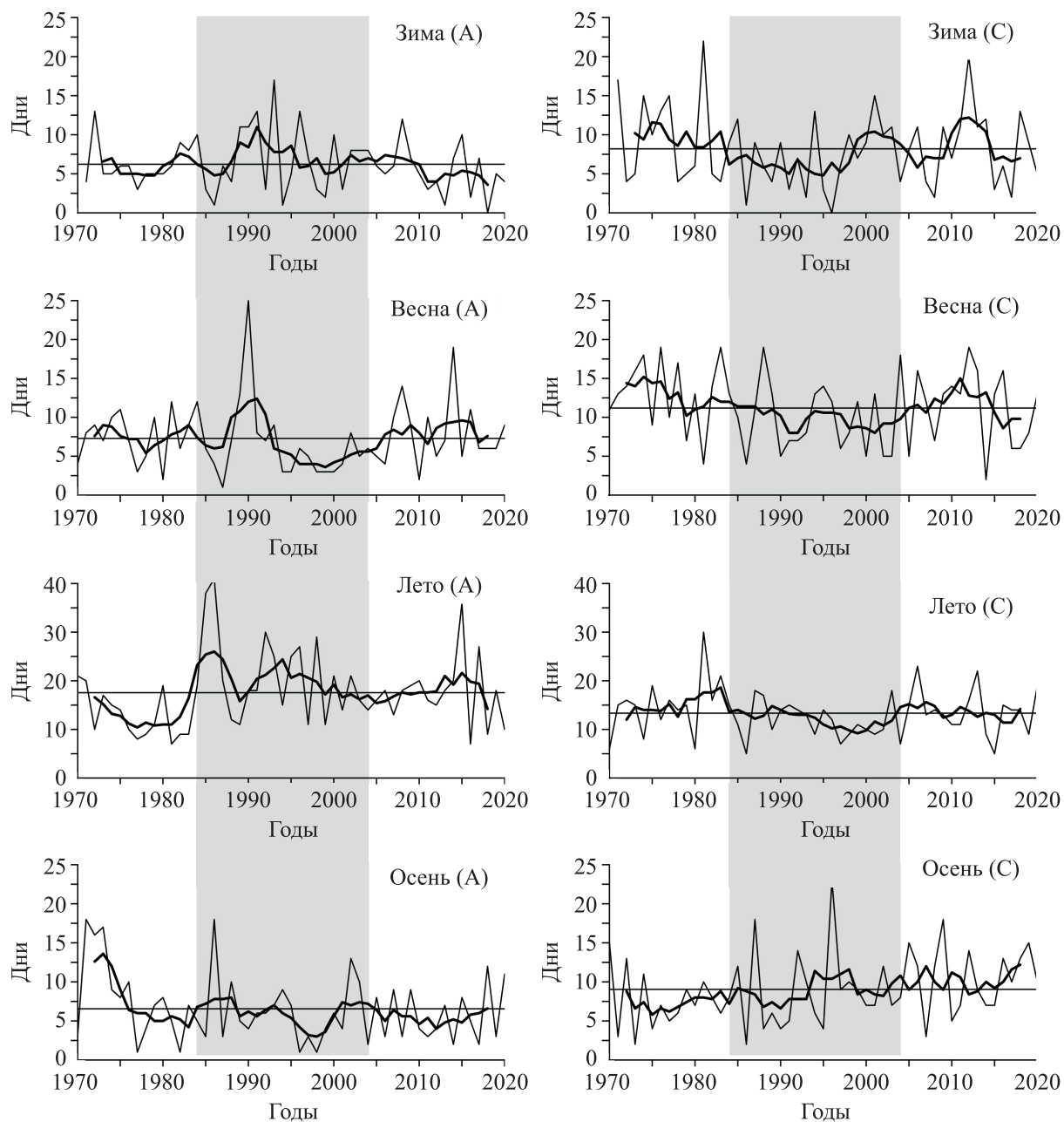


Рис. 2. Повторяемость (в днях) типов погоды А (слева) и С (справа) в разные сезоны за 1970–2020 гг.

Горизонтальные линии показывают средние многолетние значения, жирные — 5-летние скользящие средние значения, серыми прямоугольниками отмечен период 1984–2004 гг., когда атмосферные процессы способствовали уменьшению баланса массы ледников.

Таблица 2

Средняя годовая повторяемость (дней) антициклонических (А) и циклонических (С) типов по сезонам за отдельные периоды (отклонения от среднего числа дней за 1970–2020 гг.)

Период	Зима		Весна		Лето		Осень	
	А	С	А	С	А	С	А	С
1970–1983	–0,1	1,4	0,1	1,9	–4,8	1,6	1,6	–1,5
1984–2004	0,8	–1,1	–0,6	–1,3	3,2	–1,5	–0,5	–0,2
2005–2020	–1,0	0,2	0,7	–0,0	0,0	0,6	–0,7	1,6

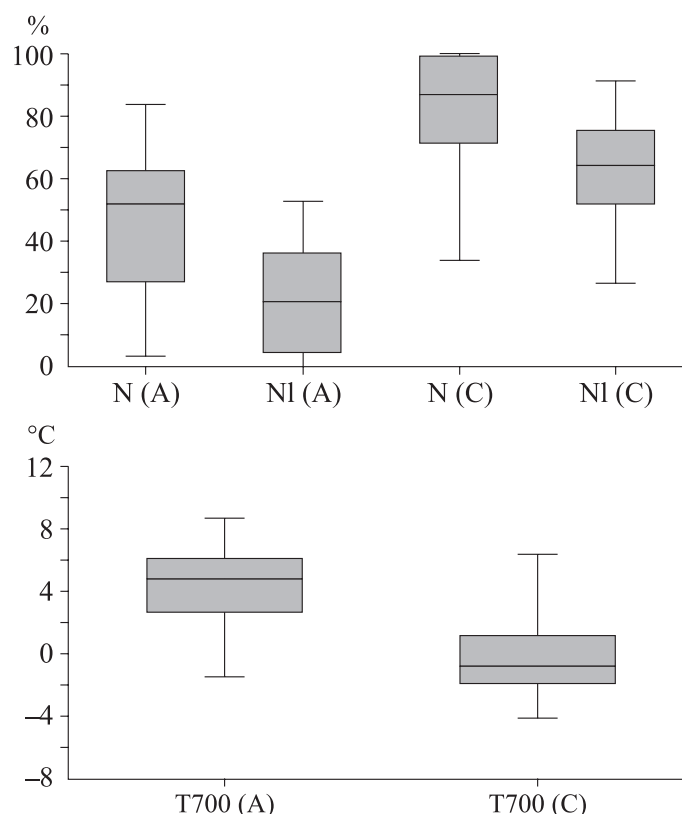


Рис. 3. Диаграммы, показывающие (медиана, верхний и нижний квартили и границы) распределение общей (N), нижней (NI) облачности и температуры воздуха на уровне 700 гПа (T700) для синоптических типов А и С в июне–августе 2018–2020 гг. для Кодара (облачность указана по данным метеостанции Чара (56,9° с. ш., 118,3° в. д., 709 м над ур. моря), температура — по данным реанализа NCEP/NCAR [32]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проанализированы сезонные и многолетние (1970–2020 гг.) изменения циклонических и антициклонических типов погоды над хр. Кодар, выявленные по методу Дженкинсона и Коллисона (применительно к высоте 700 гПа). Нами была проверена взаимосвязь между многолетними изменениями атмосферной циркуляции за последние 50 лет и колебаниями размеров ледников. Установлено преобладание циклонического режима над антициклоническим во все сезоны года, кроме летних месяцев (июнь–август). Циклоны (тип С, повторяемость 11,5 %) и антициклоны (тип А, 10,3 %) составляют около 45 % соответствующих групп циркуляции.

До середины 1980-х гг. циркуляционный режим (усиление зимней, весенней и летней циклоничности) способствовал стабилизации баланса массы ледников. С середины 1980-х до начала 2000-х гг. снижение повторяемости зимних и весенних циклонов и усиление летних антициклонических процессов способствовали уменьшению зимней аккумуляции и увеличению летней абляции, что привело к ускоренному сокращению баланса массы и площади ледников в 1990-е гг. С начала 2000-х гг. атмосферная циркуляция способствовала частичному восстановлению баланса массы ледников.

Работа выполнена в рамках базовых исследовательских проектов Минобрнауки (0279–2021–0005, АААА–А21–121012190059–5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hock R., Rasul G., Adler C., Caceres B., Gruber S., Hiraayashi Y., Jackson M., Kaab A., Kang S., Kutuzov S., Milner Al., Molau U., Morin S., Orlove B., Steltzer H. High Mountain Areas // IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. — 2019 [Электронный ресурс]. — <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/technical-summary/> (дата обращения 22.02.2023).

2. **Meier M.F., Dyurgerov M.B.** How Alaska affects the world // *Science*. — 2002. — Vol. 297. — P. 350–351.
3. **Arend A.A., Echelmeyer K.E., Harrison W.D., Lingle C.S., Valentine V.B.** Rapid wastage of Alaska glaciers and their contribution to rising sea level // *Science*. — 2002. — Vol. 297. — P. 382–386.
4. **Holmlund P., Karlen W., Grudd H.** Fifty years of mass balance and glacier front observations at the Tarfala Research Station // *Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography*. — 1996. — Vol. 78. — P. 105–114.
5. **Schoner W., Auer I., Bohm R.** Climate variability and glacier reaction in the Austrian eastern Alps // *Annals of Glaciology*. — 2000. — Vol. 31. — P. 31–38.
6. **Paul F.** Changes in glacier area in Tyrol, Austria, between 1969 and 1992 derived from Landsat 5 Thematic Mapper and Austrian Glacier Inventory data // *International Journ. of Remote Sensing*. — 2002. — Vol. 23. — P. 787–799.
7. **Dyurgerov M., McCabe G.J.** Associations between accelerated glacier mass wastage and increased summer temperature in coastal regions // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. — 2006. — Vol. 38. — P. 190–197.
8. **Shahgedanova M., Popovnin V., Aleynikov A., Stokes C.R.** Geodetic mass balance of Azarova glacier, Kodar mountains, eastern Siberia, and its links to observed and projected climatic change // *Annals of Glaciology*. — 2011. — Vol. 52. — P. 129–137.
9. **Hodge S.M., Trabandt D.C., Krimmel R.M., Heinrichs T.A., March R.S., Josberger E.G.** Climate variations and changes in mass of three glaciers in western North America // *Journ. of Climate*. — 1998. — Vol. 11. — P. 2161–2179.
10. **McCabe G.J., Fountain A.G., Dyurgerov M.** Variability in winter mass balance of Northern Hemisphere glaciers and relations with atmospheric circulation // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. — 2000. — Vol. 32. — P. 64–72.
11. **Francou B., Vuille M., Wagnon P., Mendoza J., Sicart J.E.** Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 168 S. // *Journ. of Geophysical Research*. — 2003. — Vol. 108 (D5). — P. 4154.
12. **Shahgedanova M., Popovnin V., Alaynikov A., Petrakov D., Stokes C.R.** Long-term change, interannual and intra-seasonal variability in climate and glacier mass balance in the central Greater Caucasus, Russia // *Annals of Glaciology*. — 2007. — Vol. 46. — P. 355–361.
13. **Osipov E.Y., Osipova O.P.** Mountain glaciers of southeast Siberia: current state and changes since the Little Ice Age // *Annals of Glaciology*. — 2014. — Vol. 55. — P. 167–176.
14. **Stokes C.R., Shahgedanova M., Evans I.S., Popovnin V.V.** Accelerated loss of alpine glaciers in the Kodar Mountains, south-eastern Siberia // *Global and Planetary Change*. — 2013. — Vol. 101. — P. 82–96.
15. **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Characteristics of the circulation regime over Kodar range during the glacier ablation period // *Geography and Natural Resources*. — 2014. — Vol. 35 (1). — P. 77–81.
16. **Osipov E.Y., Osipova O.P.** Surface energy balance of the Syginsky Glacier, south Eastern Siberia, during the ablation period and its sensitivity to meteorological fluctuations // *Scientific Reports*. — 2021. — Vol. 11, N 1. — P. 21260.
17. **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Atmospheric Circulation Processes and Precipitation Regime in the Northern Part of the Baikal Mountain Region // *Russian Meteorology and Hydrology*. — 2019. — Vol. 44. — P. 695–703.
18. **Осипов Э.Ю., Осипова О.П., Василенко О.В.** Метеорологический режим Сыгынтинского ледника (хребет Кодар) в период абляции // *Лёд и снег*. — 2021. — Т. 61, № 2. — С. 179–194.
19. **Преображенский В.С.** Кодарский ледниковый район (Забайкалье). — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 74 с.
20. **Гирс А.А.** Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 488 с.
21. **Дзердзеевский Б.Л.** Общая циркуляция атмосферы и климат: Избр. труды. — М.: Наука, 1975. — 285 с.
22. **Jenkinson A.F., Collison F.P.** An Initial Climatology of Gales over the North Sea // *Synoptic Climatology Branch Memorandum*. — 1977. — Vol. 62. — P. 18.
23. **Jones P.D., Hulme M., Briffa K.R.** A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme // *International Journ. of Climatology*. — 1993. — Vol. 13. — P. 655–663.
24. **Jones P.D., Harpham C., Briffa K.R.** Lamb weather types derived from reanalysis products // *International Journ. of Climatology*. — 2013. — Vol. 33. — P. 1129–1139.
25. **Grimalt M., Tomas M., Alomar G., Martin-Vide J., Moreno-Garcia M.C.** Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948–2009 period // *Temporal Analysis*. — 2013. — Vol. 26. — P. 75–94.
26. **Maheras P., Tolika K., Tegoulas I., Anagnostopoulou C., Szpirosz K., Karossy C., Makra L.** Comparison of an automated classification system with an empirical classification of circulation patterns over the Pannonian basin, Central Europe // *Meteorology and Atmospheric Physics*. — 2019. — Vol. 131. — P. 739–751.
27. **Spellman G.** The application of an objective weather-typing system to the Iberian Peninsula // *Weather*. — 2000. — Vol. 55. — P. 375–385.
28. **Roye D., Lorenzo N., Martin-Vide J.** Spatial-temporal patterns of cloud-to-ground lightning over the Northwest Iberian Peninsula during the period 2010–2015 // *Natural Hazards*. — 2018. — Vol. 92. — P. 857–884.
29. **Miro J.R., Pepin N., Peca J.C., Martin-Vide J.** Daily atmospheric circulation patterns for Catalonia (northeast Iberian Peninsula) using a modified version of Jenkinson and Collison method // *Atmospheric Research*. — 2020. — Vol. 231. — P. 104674.

30. **Spellman G.** An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location // Theoretical and Applied Climatology. — 2017. — Vol. 128. — P. 731–744.
31. **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Objective classification of weather types for the Eastern Siberia over the 1970–2020 period using the Jenkinson and Collison method // Atmospheric Research. — 2022. — Vol. 277. — P. 106291.
32. **Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D.** The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bulletin of the American Meteorological Society. — 1996. — Vol. 77. — P. 437–471.

Поступила в редакцию 19.01.2023

После доработки 29.03.2023

Принята к публикации 29.06.2023