

УДК 551.589

Синоптические условия абляции Сыгыктинского ледника (хребет Кодар)

О.П. Осипова^{✉ 1, 2}, Э.Ю. Осипов^{2*}

¹Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

²Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Поступила в редакцию 02.05.2024;
после доработки 17.06.2024;
принята к печати 18.06.2024

Представлены результаты исследования влияния атмосферной циркуляции на динамику абляции Сыгыктинского ледника (хребет Кодар). Проанализировано воздействие синоптических условий на уровне изобарической поверхности 700 гПа на метеорологический режим и таяние ледника в сезон абляции 2021 г. Всего методом Дженкинсона и Коллисона классифицировано 15 типов погоды. Выяснено, что наиболее повторяющимися типами являются циклоны (24%) и антициклоны (20%). Выявлена зависимость метеорологических условий на леднике от типов погоды. Антициклонические типы характеризуются высокими температурами, низкой относительной влажностью и облачностью. При циклонических типах наблюдаются обратные соотношения. Выяснено, что радиационный режим на леднике и скорость его таяния зависят от синоптических условий. Наибольший вклад в таяние вносят антициклонические типы погоды (44% суммарной абляции), а наименьший – циклонические (26%). Радиационный баланс ледника в антициклонах больше, чем в циклонах, в 2–2,5 раза, а скорость абляции – в 1,6–1,8 раза. Резкие различия между потоками энергии, расходуемой на таяние ледника при разных синоптических ситуациях, объясняются влиянием облачности. Соотношение режимов атмосферной циркуляции над Кодаром существенно влияло на скорость дегляциации кодарских ледников в последние десятилетия. Результаты работы помогут в решении проблемы прогнозирования будущих климатических изменений горных ледников.

Ключевые слова: хребет Кодар, атмосферная циркуляция, таяние ледников, классификация Дженкинсона и Коллисона; Kodar Range, atmospheric circulation, glacier melting, Jenkinson and Collison classification.

Введение

Горные ледники являются чувствительными индикаторами климатических изменений, поскольку колебания температуры воздуха и атмосферных осадков отражаются на их балансе массы. Режим ледников во многом определяется условиями атмосферной циркуляции. Связи между крупномасштабной атмосферной циркуляцией и балансом массы ледников исследовались с помощью типизаций атмосферных процессов Г.Я. Вангенгейма [1], Б.Л. Дзердзеевского [2, 3], корреляции с глобальными индексами циркуляции [4], комплексного анализа метеорологических и гляциологических данных [5]. В последнее время с развитием компьютерных технологий для анализа связей между атмосферной циркуляцией и региональными природными процессами широко применяются объективные синоптические классификации, например классификация Дженкинсона и Коллисона (ДК) [6–14].

С помощью нее были изучены многолетние изменения повторяемости циклонических и антициклонических процессов над ледниковым районом хребта Кодар (Восточная Сибирь) [15]. Было показано, что изменения повторяемости циклонов и антициклонов хорошо согласуются с колебаниями баланса массы кодарских ледников, связанными с сокращением их площади в конце XX в. [16, 17].

Работы, выполненные на одном из кодарских ледников с помощью автоматической метеостанции, показали наличие синоптических обусловленных колебаний температуры и влажности [18]. При этом было установлено, что скорость летнего таяния ледника определяется радиационным балансом, главным образом его коротковолновой составляющей [19]. Поступление коротковолновой и длинноволновой радиации к ледниковой поверхности, в свою очередь, зависят от прозрачности атмосферы, которая обусловлена содержанием водяного пара и продуктов его конденсации (облачность), в том числе содержанием аэрозольных примесей. Влияние указанных факторов на абляцию (таяние) ледников можно оценить с помощью синоптического анализа атмосферной циркуляции в период абляции.

* Ольга Петровна Осипова (olga@irigs.irk.ru); Эдуард Юрьевич Осипов (eduard@lin.irk.ru).

К сожалению, связь между радиационным балансом ледника и изменениями синоптических условий детально не исследовалась.

Цель работы – оценка влияния синоптических условий на метеорологический режим, радиационный баланс и скорость абляции Сыгыктинского ледника (хребет Кодар) с суточным разрешением. Использовалась классификация ДК для сезона абляции (июль–август) 2021 г.

Материалы и методы

Район исследований и исходные данные

В июле–августе 2021 г. на Сыгыктинском леднике (56°51,02' с.ш., 117°25,09' в.д., 2561 м н. у. м.) работала автоматическая метеостанция, непрерывно измеряющая ряд метеорологических параметров с высоким разрешением (30 мин): понижение поверхности (ультразвуковым датчиком), температуру и относительную влажность воздуха (на высоте 2 м), скорость и направление ветра, потоки входящей/отраженной коротковолновой радиации (два датчика Davis). Потоки длинноволновой радиации, атмосферное давление и количество жидких осадков измерялись на метеостанции, установленной на конечной морене ледника (на высоте 2530 м). Все данные были конвертированы в среднесуточные значения. Подробное описание системы автоматического мониторинга приведено в работах [18, 19].

Таяние ледника рассчитывалось как уменьшение массы ледника, выраженное в миллиметрах водного эквивалента (в.э.). Суточное таяние оценивалось через величину понижения ледниковой поверхности, которая измерялась с помощью ультразвукового датчика. Для пересчета таяния в миллиметрах в.э. в начале и конце периода наблюдений на леднике измерялась плотность поверхностного слоя. На основе данных измерений тепловой эквивалент таяния ледниковой поверхности (составляющая теплового баланса, расходуемая на таяние снега и льда) за период абляции был рассчитан как алгебраическая сумма всех входящих и уходящих потоков энергии. Потоки входящей и отраженной коротковолновой радиации, а также входящей длинноволновой измерялись непосредственно радиометрами. Излучаемая ледниковой поверхностью длинноволновая радиация была принята постоянной и равной 315,6 Вт/м² исходя из предположения о том, что тающая поверхность имеет температуру 0 °С. Потоки явного и скрытого тепла были рассчитаны по данным градиентных измерений в приледниковом слое воздуха (температура и относительная влажность воздуха, скорость ветра, атмосферное давление) с использованием объемного аэродинамического подхода, основанного на теории подобия Монина–Обухова [19].

Для синоптической классификации в качестве исходных были использованы ежедневные данные реанализа NCEP/NCAR (высота изобарической поверхности 700 гПа) с расстоянием между узлами регулярной сетки 2,5 × 2,5 [20] за июль–август 2021 г.

Данный уровень был выбран, поскольку ледники Кодара расположены на высотах 1900–2800 м н.у.м., что близко к уровню 700 гПа. Для анализа разномасштабных синоптических процессов и верификации синоптических типов, выявленных с помощью объективной классификации, кроме композитных карт, построенных на основе реанализа, были использованы ежедневные карты погоды, базирующиеся на реальных данных. Проведенные тесты показали, что более чем в 90% случаев синоптические типы полностью совпадают (95% для типа А – антициклоны, 93% для типа С – циклоны и 97% для гибридных типов).

Синоптическая классификация Дженкинсона и Коллисона

Объективная классификация синоптических типов ДК для района исследований была получена на основе расчета параметров воздушного потока в 16 равномерно расположенных точках [21]. Сеть точек (р1–р16) находится между 47,5 и 67,5° с.ш. и 102,5 и 132,5° в.д. с центром над хребтом Кодар (57,5° с.ш., 117,5° в.д.). Всего классификация ДК включает 27 типов погоды, в том числе два чистых типа (циклоны (С) и антициклоны (А)), восемь адвективных типов (по направлениям ветра – N, NE, E, SE, S, SW, W, NW), 16 гибридных типов, объединяющих адвективные типы с циклонической (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW) или антициклонической (AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW и ANW) завихренностью, и один тип (U), который четко не классифицируется (т.е. малоградиентное барическое поле). Все типы объединяются в три группы: циклоническую (СУС, девять типов), антициклоническую (АНТ, девять типов) и адвективную (АДВ, восемь типов).

Для идентификации типов погоды рассчитывались следующие параметры циркуляции: зональная (W) и меридиональная (S) компоненты геострофического ветра, направление (D, восемь групп по 45° каждая) и скорость (F) потока, зональная (ZW) и меридиональная (ZS) составляющие завихренности потока, а также общая завихренность (Z). При расчете использовались формулы и пороговые значения для приземного уровня [21]. Пороговые значения были верифицированы путем сравнения объективных типов с типами, идентифицированными в ходе субъективного анализа ежедневных карт погоды за 2018–2021 гг.

Результаты и обсуждение

Синоптическая классификация

За 45 дней наблюдений (7 июля – 20 августа 2021 г.) зафиксировано 15 из 27 типов погоды согласно классификации ДК (рис. 1). Наибольшая повторяемость (3/4 периода наблюдений) была у типов С (11 дней, 24%) и А (9 дней, 20%), а также адвективных типов NE (5 дней, 11%), W (5 дней, 11%) и SW (4 дня, 9%). Остальные 10 типов наблюдались всего один или два дня. Такое распределение

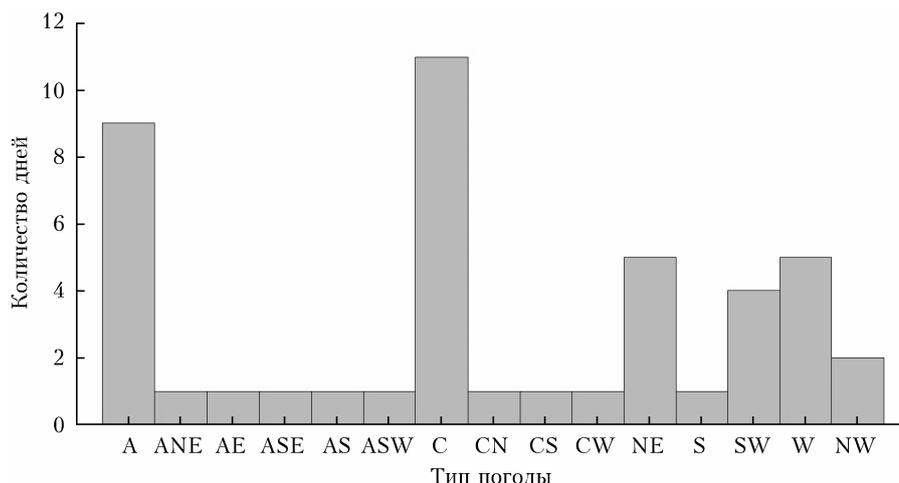


Рис. 1. Повторяемость типов погоды над Кодаром на уровне 700 гПа в июле–августе 2021 г.

типов погоды в целом соответствует среднему многолетнему за предыдущие 10 лет (2011–2020 гг.). Характерными особенностями сезона абляции 2021 г. являются более сильная завихренность циркуляции (повторяемость типов С и А была выше 36 и 22% соответственно), ослабленный западный ветер и усиленный южный. Наибольшая продолжительность синоптических периодов наблюдалась у циклонов (семь дней, 1–7 августа) и антициклонов (пять дней, 11–15 августа).

Синоптические процессы в нижней тропосфере

Поле геопотенциала 700 гПа над Кодаром в июле и августе существенно различалось. В июле наблюдалось чередование антициклонических и циклонических процессов (средняя продолжительность 2,8 дня), а также западных и северо-восточных ветров. В августе доминировали более продолжительные (пять дней) циклонические процессы и южные ветра. На картах абсолютной топографии изобарической поверхности 700 гПа тип А представлен гребнями (78%) и антициклонами, а тип С – циклонами (73%) и ложбинами (рис. 2);

большинство чистых адвективных типов – также гребнями.

Антициклонические образования представляли собой в основном мощные субтропические антициклоны и гребни с Тихого океана. Мощный субтропический антициклон в июле располагался на западе Тихого океана. В третьей декаде июля интенсивный антициклон находился над Восточной Сибирью, распространяясь к полюсу. В частности, 26 и 27 июля (типы ANE и AE) район Кодара находился под влиянием разрушающегося антициклона, сместившегося с запада. Затем 27 июля произошло его слияние с субтропическим антициклоном с центром над районом Тикси, который стационарировал там начиная с 20 июля и блокировал западный перенос. Летние антициклоны в Сибири часто сопровождаются блокировками зональной циркуляции [22]. С 10 по 15 августа над районом исследования наблюдались гребень субтропического антициклона и сам антициклон (тип А, рис. 2, а). Западно-восточный перенос в этот период был блокирован, так как над Северной Землей располагался центр циклонической деятельности, а связанная с ним ложбина была глубокой и протяженной, достигающей северных районов Казахстана.

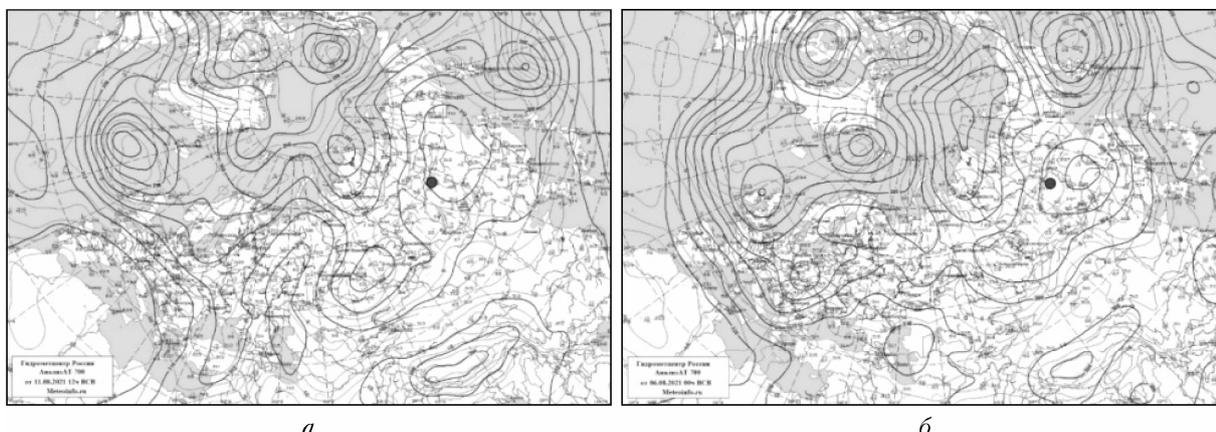


Рис. 2. Карты абсолютной топографии изобарической поверхности 700 гПа для наиболее повторяющихся типов погоды: а – тип А (антициклон, 11.08.2021 г.), б – тип С (циклон, 06.08.2021 г.). Черный кружок показывает расположение хребта Кодар

На район исследований оказывали влияние циклоны, движущиеся с запада и юго-запада, ложбины, движущиеся с севера, и частные циклоны. Центр циклонической циркуляции сформировался в результате углубления барической ложбины, направленной из Монголии на район исследования. Данный циклон стационарировал над Сыгьктинским ледником со 2 по 6 августа. Он был большой по площади, но с небольшими барическими градиентами, что объясняет достаточно низкие скорости ветра (в среднем 0,5 м/с), зафиксированные в этот период на леднике (тип С, рис. 2, б). Когда к концу дня 6 августа циклон заполнился, образовалась ложбина. После прохождения вечером того же дня полярного холодного фронта в указанной ложбине снова сформировался самостоятельный центр циклона. Скорость ветра 7–8 августа на леднике возросла до 2,8 м/с (типы С и СS).

Метеорологические условия на леднике

Метеорологический режим на леднике сильно зависит от типа погоды (рис. 3). Для антициклонических типов (ASW, ASE и AE) характерны максимальные температуры воздуха (10–12 °С), а для циклонических (CN и С) – минимальные (4 °С). Относительная влажность воздуха достигает максимальных значений в циклонической группе (в среднем 96%, для СS и CN – 100%) и снижается в антициклонической (в среднем 72%, для ASE и AE – 60%). Аналогичная картина наблюдается для облачности и осадков: наибольшие значения характерны для циклонической группы (в среднем 87% и 14 мм/сут), особенно для типов CN и СS (100% и 18 мм/сут). Наибольшие скорости ветра отмечены для адвективных типов с циклонической кривизной (до 2,8 м/с для СS), а наименьшие (≤ 1 м/с) – для адвективных типов с антициклонической кривизной (ANE, AE) и циклонов (С).

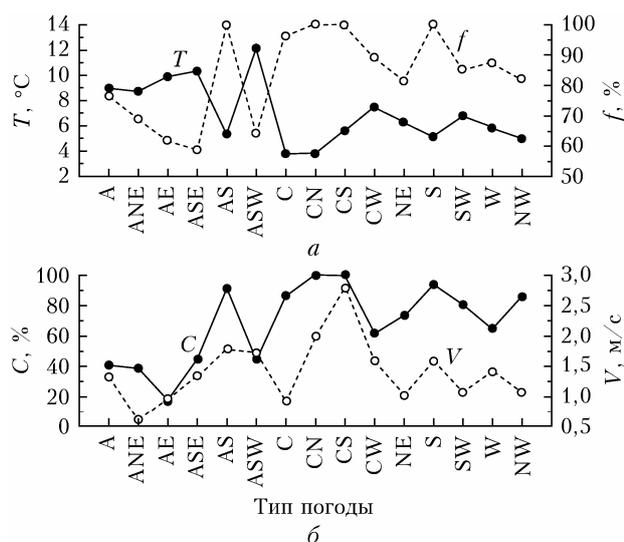


Рис. 3. Средние значения температуры (T), относительной влажности (f) и скорости ветра (V) на леднике, а также общей облачности (C) на ближайшей метеостанции Чара для разных типов погоды

Таяние и тепловой баланс ледника

Наибольший вклад в таяние ледника вносили антициклонические типы (44%), адвективные и циклонические – 30 и 26% соответственно. На антициклоны (тип А) приходилось 29% суммарного таяния ледника, на циклоны (тип С) – 20%. Суммарная абляция для типа А была больше, чем для типа С, в 1,5 раза.

В физическом смысле скорость таяния снега и льда определяется балансом энергии на ледниковой поверхности. Доминирующим источником энергии таяния Сыгьктинского ледника является радиационный баланс: в 2019–2020 гг. его доля в теплоэквиваленте таяния составила 89–95% [19], в 2021 г. – 86%. Составляющие тепловой баланс ледника определяются типами погоды (таблица). Потоки приходящей коротковолновой радиации (S_{in}) в антициклонических условиях максимальны (среднее значение для типов ASE, ANE и AE – 326 Вт/м²), а в циклонических – минимальны (в среднем 14 Вт/м² для типов СS и CN). Среднее значение S_{in} в антициклонической группе в пять раз больше, чем в циклонической (240 и 45 Вт/м² соответственно). Для адвективной группы среднее значение S_{in} немного ниже среднесезонного (128 и 147 Вт/м² соответственно). Значения коротковолнового баланса (S_{net}) имеют идентичное распределение по группам типов погоды: средние значения S_{net} для группы ANT в 6,3 выше, чем для группы СYC и в 2,4 раза выше, чем для группы ADV.

Распределение длинноволновой радиации по типам погоды контрастирует с коротковолновой радиацией: максимумы L_{in} и L_{net} наблюдаются в циклонических условиях (СYC), а минимумы – в антициклонических (ANT). Синоптический эффект радиационного баланса ледника (т.е. соотношение значений R_{net} в антициклонических и циклонических условиях) составляет от 2 (А/С) до 2,5 (ANT/СYC). Следовательно, для скорости абляции синоптический коэффициент равен 1,6–1,8. Тепловые потоки турбулентного тепла (явного и скрытого) являются второстепенным источником энергии таяния ледника (13% в 2021 г.), что объясняется низкими скоростями ветра [19]. У циклонических типов средние значения потоков турбулентного тепла в 2,5–3 раза выше (за счет типов СS и CN), чем у антициклонических и адвективных. Распределение энергии таяния снега и льда (M) по типам погоды полностью соответствует распределению радиационного баланса: в антициклонических условиях средние значения M в 1,6–1,8 раза выше, чем в циклонических и адвективных.

Резкие различия между величинами потоков энергии, расходуемой на таяние ледника, при разных синоптических ситуациях объясняются влиянием облачности. Связь облачности с энергией таяния осложнена влиянием множества взаимодействующих физических процессов (прямое радиационное воздействие, альbedo поверхности и совместное изменение температуры, влажности и ветра), но наиболее тесная связь обусловлена воздействием облачности

Средние значения компонентов теплового баланса ледника при разных типах погоды, Вт/м²

Тип погоды	Число дней	A, мм в.э.	S_{in}	S_{net}	L_{in}	L_{net}	R_{net}	$H + LE$	Q_{rain}	M
A	9	47,4	235,3	136,3	289,9	-25,7	110,6	8,7	0,0	119,0
ANE	1	64,0	321,4	222,9	250,9	-64,7	158,2	1,2	0,0	159,0
AE	1	67,4	313,6	214,3	265,3	-50,4	163,9	3,9	0,0	167,4
ASE	1	33,4	343,6	126,6	263,7	-51,9	74,6	8,6	0,0	82,8
AS	1	27,1	21,9	18,8	342,0	26,4	45,2	20,8	2,6	68,2
ASW	1	24,1	206,3	73,1	291,0	-24,7	48,4	11,2	0,6	59,9
C	11	26,3	73,2	39,8	332,0	16,3	56,2	7,5	2,2	65,5
CN	1	21,6	17,0	7,1	333,2	17,6	24,7	25,6	3,5	53,5
CS	1	37,2	11,5	10,5	342,8	27,2	37,6	52,1	4,3	93,8
CW	1	25,0	79,1	25,8	331,5	15,8	41,6	18,4	2,3	62,0
NE	5	29,6	163,7	90,9	291,8	-23,8	67,0	6,3	0,6	73,6
S	1	29,2	31,7	26,5	340,2	24,6	51,1	21,3	1,6	73,6
SW	4	25,0	128,1	53,5	315,2	-0,4	53,1	7,8	1,7	62,3
W	5	26,2	133,0	53,8	313,9	-1,8	52,0	11,6	2,3	65,6
NW	2	15,6	182,9	50,2	298,0	-17,6	32,6	5,4	1,0	38,8
ADV	17	25,1	127,9	55,0	311,8	-3,8	51,2	10,5	1,4	62,8
CYC	14	27,5	45,2	20,8	334,9	19,2	40,0	25,9	3,1	68,7
ANT	14	43,9	240,3	132,0	283,8	-31,8	100,1	9,0	0,5	109,4

Примечание. A – абляция, мм в.э.; S_{in} – приходящая коротковолновая радиация; S_{net} – коротковолновый баланс; L_{in} – приходящая длинноволновая радиация; L_{net} – длинноволновый баланс; R_{net} – радиационный баланс; $H + LE$ – явное и скрытое тепло турбулентных потоков; Q_{rain} – тепло жидких осадков; M – тепловой эквивалент таяния.

на радиационный баланс [23]. Именно этим можно объяснить относительно низкие средние значения коротковолновой радиации, поступающей на поверхность Сыгыктинского ледника [18, 19].

Согласно данным районирования облачности [24] Забайкалье летом характеризуется повышенным (~7 баллов) средним баллом облачности. На большинстве ледников в сезон абляции наблюдается умеренное или сильное снижение радиационного баланса в пасмурную погоду [25]. Высокая повторяемость пасмурной погоды на Кодаре связана с циклоническими условиями и довольно сильно снижает радиационный баланс и скорость таяния ледников. Дополнительным фактором, уменьшающим поступление солнечной радиации, могут быть лесные пожары, как это наблюдалось летом 2019 г. [18].

Антициклональный режим характеризуется безоблачной или малооблачной погодой с положительными аномалиями температуры и ускоренным таянием ледников [3]. Соотношение разных режимов атмосферной циркуляции над Кодаром, по-видимому, оказывало существенное влияние на скорость дегляциации кодарских ледников [15], поэтому при разработке моделей баланса массы ледников важно учитывать параметры атмосферной циркуляции.

Заключение

Использование синоптической классификации при анализе метеорологического режима и скорости таяния Сыгыктинского ледника (хребет Кодар) в период абляции 2021 г. позволяет сделать следующие выводы. Основными типами погоды на уровне изобарической поверхности 700 гПа являются циклоны (24%) и антициклоны (20%), при этом продолжительность синоптических периодов увеличивается к концу сезона абляции. Метеороло-

гические условия на леднике и скорость абляции отражают влияние циклонических и антициклонических процессов.

Для антициклонических типов погоды характерны высокие температуры, низкая относительная влажность и облачность. В большинстве случаев антициклоны над Кодаром связаны с мощными субтропическими антициклонами и гребнями с Тихого океана. Наибольший вклад в таяние внесли антициклонические (44%), а наименьший – циклонические типы погоды (26%). Радиационный баланс, определяющий интенсивность таяния ледника, в антициклонических условиях был в 2–2,5 раза больше, чем в циклонических. Следовательно, скорость абляции в зависимости от синоптических условий менялась в 1,6–1,8 раза. Резкие различия между величинами потоков энергии, расходуемой на таяние ледника при разных синоптических ситуациях, объясняются влиянием облачности. Соотношение разных режимов атмосферной циркуляции над Кодаром существенно влияло на скорость дегляциации кодарских ледников, поэтому при разработке моделей баланса массы ледников важно учитывать разные режимы атмосферной циркуляции.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ (проект № 24-27-00165 «Гляциоклиматическое моделирование оледенения хребта Кодар»).

Список литературы

1. Головкина Р.Г., Денисова Т.Я., Токмагамбетов Г.А. Влияние атмосферной циркуляции на энергетический режим и абляцию ледника Тууску // Материалы гляциологических исследований. 1986. № 58. С. 29–34.
2. Ерисковская Л.А. Влияние климатических изменений на оледенение в высокогорной зоне Заилийского Алатау

- на примере ледника Туюксу // Гидрометеорология и экология. 2003. № 4. С. 31–34.
3. *Ананичева М.Д., Кононова Н.К.* Связь температуры воздуха, осадков и баланса массы ледников с макроциркуляционными процессами на северо-востоке Сибири и Полярном Урале // Материалы гляциологических исследований. 2007. Т. 107. С. 58–67.
 4. *Shahgedanova M., Stokes C.R., Gurney S.D., Popovnin V.* Interactions between mass balance, atmospheric circulation, and recent climate change on the Djankuat Glacier, Caucasus Mountains, Russia // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. P. D04108. DOI: 10.1029/2004JD005213.
 5. *Toropov P.A., Aleshina M.A., Grachev A.M.* Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th–21st century // *Int. J. Climatol.* 2019. V. 39, N 12. P. 4703–4720. DOI: 10.1002/joc.6101.
 6. *Jenkinson A.F., Collison F.P.* An initial climatology of gales over the North Sea // *Synoptic Climatology Branch Memorandum.* 1977. V. 62. P. 18.
 7. *Azorin-Molina C., Guijarro J.A., McVicar T.R., Vicente Serrano S.M., Chen D., Jerez S., Espirito Santo F.* Trends of daily peak wind gusts in Spain and Portugal, 1961–2014 // *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2016. V. 121. P. 1059–1078. DOI: 10.1002/2015JD024485.
 8. *Putniković S., Tošić I., Đurđević V.* Circulation weather types and their influence on precipitation in Serbia // *Meteorol. Atmos. Phys.* 2016. V. 128. P. 649–662. DOI: 10.1007/s00703-016-0432-6.
 9. *Spellman G.* An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location // *Theor. Appl. Climatol.* 2017. V. 128. P. 731–744. DOI: 10.1007/s00704-015-1711-8.
 10. *Gilbert J., Llasat M.C.* Circulation weather types associated with extreme flood events in Northwestern Mediterranean // *Int. J. Climatol.* 2018. V. 38. P. 1864–1876. DOI: 10.1002/joc.5301.
 11. *Royé D., Lorenzo N., Martín-Vide J.* Spatial–temporal patterns of cloud-to-ground lightning over the northwest Iberian Peninsula during the period 2010–2015 // *Nat. Hazards.* 2018. V. 92. P. 857–884. DOI: 10.1007/s11069-018-3228-9.
 12. *Sarricolea P., Meseguer-Ruiz O., Martín-Vide J., Outeiro L.* Trends in the frequency of synoptic types in central-southern Chile in the period 1961–2012 using the Jenkinson and Collison synoptic classification // *Theor. Appl. Climatol.* 2018. V. 134. P. 193–204. DOI: 10.1007/s00704-017-2268-5.
 13. *Miró J.R., Pepin N., Peña J.C., Martín-Vide J.* Daily atmospheric circulation patterns for Catalonia (northeast Iberian Peninsula) using a modified version of Jenkinson and Collison method // *Atmos. Res.* 2020. V. 231. P. 104674. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.104674.
 14. *Spellman G., Bird D.* Sunshine and solar power in the UK // *Theor. Appl. Climatol.* 2024. V. 155. P. 1989–2003. DOI: 10.1007/s00704-023-04711-x.
 15. *Осипова О.П., Осипов Э.Ю.* Влияние атмосферных процессов на динамику ледников Кодара // *Геогр. природ. ресурсов.* 2023. № 4. С. 99–107. DOI: 10.15372/GIPR20230410.
 16. *Stokes C.R., Shahgedanova M., Evans I.S., Popovnin V.V.* Accelerated loss of alpine glaciers in the Kodar Mountains, south-eastern Siberia // *Glob. Planet. Change.* 2013. V. 101. P. 82–96. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.12.010.
 17. *Osipov E.Y., Osipova O.P.* Mountain glaciers of southeast Siberia: Current state and changes since the Little Ice Age // *Ann. Glaciol.* 2014. V. 55, N 66. P. 167–176. DOI:10.3189/2014AoG66A135.
 18. *Осипов Э.Ю., Осипова О.П., Василенко О.В.* Метеорологический режим Сыгктинского ледника (хребет Кодар) в период абляции // *Лёд и снег.* 2021. Т. 61, № 2. С. 179–194.
 19. *Osipov E.Y., Osipova O.P.* Surface energy balance of the Sygktinsky Glacier, south Eastern Siberia, during the ablation period and its sensitivity to meteorological fluctuations // *Sci. Rep.* 2021. V. 11, N 1. P. 21260. DOI: 10.1038/s41598-021-00749-x.
 20. *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 // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–471. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2.
 21. *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 // *Atmos. Res.* 2022. V. 277, N 106291. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106291.
 22. *Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мордвинов В.И.* Динамические процессы в атмосфере, обуславливающие аномалии осадков в Восточной Сибири и Монголии в летний период // *Фундаментальная и прикладная климатология.* 2018. Т. 1. С. 10–27.
 23. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Соколов К.И., Харюткина Е.В.* Изменчивость составляющих теплового баланса поверхности азиатской территории России в период современного глобального потепления // *Оптика атмосф. и океана.* 2011. Т. 24, № 1. С. 22–29.
 24. *Комаров В.С., Нахтигалова Д.П., Ильин С.Н., Лавриченко А.В., Ломакина Н.Я.* Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности как основа для построения локальных облачных моделей атмосферы. Часть 2. Результаты климатического районирования // *Оптика атмосф. и океана.* 2014. Т. 27, № 10. С. 899–905.
 25. *Conway J.P., Abermann J., Andreassen L.M., Azam M.F., Cullen N.J., Fitzpatrick N., Giesen R.H., Langley K., MacDonell S., Mölg T., Radić V., Reijmer C.H., Sircart J.-E.* Cloud forcing of surface energy balance from in situ measurements in diverse mountain glacier environments // *Cryosphere.* 2022. V. 16. P. 3331–3356. DOI: 10.5194/tc-16-3331-2022.

O.P. Osipova, E.Yu. Osipov. Synoptic conditions for ablation of the Sygktinsky Glacier (Kodar Range).

The influence of synoptic conditions at the 700 hPa isobaric surface on meteorological regime and melt of the Sygktinsky glacier (Kodar Range) in the 2021 ablation season was studied. Totally 15 weather types were classified using the Jenkinson and Collison method. It was found that the most frequent types are cyclones (24%) and anticyclones (20%). A significant dependence of the meteorological regime of the glacier on synoptic conditions was revealed. Anticyclonic types are characterized by high temperatures and low relative humidity and cloudiness. For cyclonic types, the opposite relations are observed. It was found that the radiation regime on the glacier and its melting rate depend on synoptic conditions. The greatest contribution to melting was made by anticyclonic weather types (44%), and the least by cyclonic types (26%). The net radiation of the glacier in anticyclones was 2–2.5 times greater than in cyclones, and the ablation rate was 1.6–1.8 times greater. The differences between the energy fluxes used for glacier melting under different synoptic patterns are explained by the cloudiness. The different atmospheric circulation regimes over the Kodar significantly affected the deglaciation of the Kodar glaciers in recent decades.