

Метеорологическая характеристика режима ледника Туяксу

Л.А. Ерисковская

Институт географии Республики Казахстан, Алматы

Статья поступила в редакцию 20 июля 2008 г.

Представлена членом редколлегии В.Г. Коноваловым

Рассмотрены изменения среднемесячных метеорологических параметров на леднике Туяксу за 1972—2007 гг., оценено влияние синоптических процессов на выпадение осадков в ледниковой зоне в летний период.

Наиболее доступный и хорошо изученный в Заилийском Алатау — Бессейн ледник Туяксу, который был открыт в 1902 г. [6, 16] и находится на северном склоне этого хребта — с юго-северного на Тянь-Шане. Впервые наблюдения в высокогорье за поверхностным движением ледников Заилийского Алатау были проведены С.Е. Дмитриевым в 1903—1908 гг., на леднике Центральном Туяксу — в 1907 и 1911 гг., затем Н.Н. Пельговым и др. Особенно активно проводились исследования в период МГП (1957—1959 гг.). С 1972 г. на станции на Туяксу, расположенной на морене у ледника на высоте 3450 м, круглогодичные гидрометеорологические наблюдения проводит Институт географии Республики Казахстан. В настоящее время это единственная на Тянь-Шане высокогорная станция, которая находится близ ледника. Полученная здесь информация передается во Всемирную службу мониторинга ледников.

Метеорологическая характеристика

Ледник Туяксу имеет однокмерный циркулярный тип, ориентирован на север и относится к типу холодных ледников. Средняя абсолютная высота обтекающего его гребня — 4120 м [15]. В результате глобального потепления климат в Бессейне ледник стал менее континентальным, так как зимой температура воздуха повысилась намного быстрее, чем летом [9], и более влажным вследствие увеличения количества осадков (рис. 1). Индекс континентальности для периода исследований рассчитан по формуле В. Горчинского, которая, по мнению Е.Н. Вилесова, наиболее приемлема для территории Казахстана [5]:

$$K = 1,74 / \sin \phi - 23,$$

где K — индекс континентальности; %, A — амплитуда годовых колебаний температуры воздуха (использованы среднемесячные максимумные и минимумные значения, °C); ϕ — широта местности, град.

За период метеорологических наблюдений ледник отступил при увеличении количества осадков, толщины снежного покрова, относительной влажности, общей облачности [9, 11, 12], уменьшении продолжительности солнечного сияния [10], так как главным фактором его сокращения остается температура воздуха в летний период [13]. Среднемесячная

скорость ветра на леднике уменьшилась, минимумная наблюдалась в теплый период года. В первой половине XX столетия он превышал 2 м/с, сейчас стал меньше [11]. Высота нулевой изотермы был определен по средним многолетним данным (табл. 1): в мае она составляла 3400 м, в июне — 3900 м, в июле — 4290 м, в августе — 4270 м и в сентябре — 3750 м.

За исследуемый период (1972—2006 гг.) положительный баланс массы ледник имел в 1980/81, 1992/93, 2002/03, 2003/04 гг., когда его питание было ниже средней многолетней, и на долю облачного питания приходилось большая часть площади. Во все остальные годы преобладал отрицательный баланс, особенно резко выраженный в 1977/78,

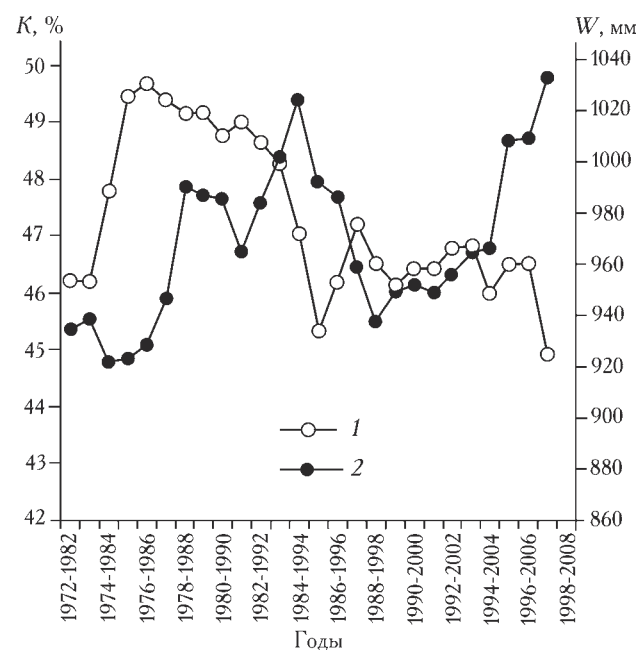


Рис. 1. Изменения скользящих по десятилетиям средних значений индекса континентальности K (1) и суммарного количества осадков W (2) за балансовый год для ледника Туяксу за 1972—2006 гг.

Прямые линии — линейные тренды

Fig. 1. Changes of 10-years running value of the continentality index K (1) and total precipitation sums W (2) for balance year for the Tuyuksu Glacier during 1972—2006

Straight lines — lineal trends

Средние значения метеорологических элементов по данным станции Туяксу за 1972—2007 гг.

Месяц	Метеопараметры*								
	T_1	T_2	T_3	W	F	H	Q	O	V
Сентябрь	2,0	5,7	-1,2	58,4	58,1	3,9	195,5	3,7	1,4
Октябрь	-3,2	0,3	-6,9	62,8	55,0	19,3	165,8	4,1	1,6
Ноябрь	-8,3	-4,4	-11,8	45,5	53,4	40,3	108,5	4,5	1,9
Декабрь	-11,4	-7,9	-15,0	35,6	52,9	53,2	92,5	4,5	1,8
Январь	-13,5	-9,6	-17,2	26,6	51,9	61,5	107,1	4,7	1,8
Февраль	-13,0	-8,7	-16,2	25,7	53,1	63,6	129,6	4,8	1,7
Март	-9,4	-4,6	-13,3	49,1	55,1	78,2	162,1	5,4	1,6
Апрель	-3,9	1,1	-7,8	100,6	59,0	92,7	173,0	5,6	1,5
Май	-0,4	4,2	-3,7	153,5	66,1	77,8	166,7	5,9	1,3
Июнь	3,2	7,1	-0,1	162,0	68,4	32,9	156,6	6,2	1,5
Июль	5,8	9,1	2,4	155,8	66,3	1,0	180,1	5,6	1,4
Август	5,7	9,4	2,5	97,5	60,7	0,3	196,0	4,4	1,4
Σ	-46,2	1,8	-88,6	973,1	700,1	524,6	1833,7	59,2	18,9
Среднее	-3,8	0,1	-7,4	88,1	58,7	43,7	152,8	4,9	1,6

*Температура воздуха, °C: T_1 — среднемесячная, T_2 — максимум, T_3 — минимум; W — сумма месячных осадков, мм, F — относительная влажность, %, H — толщина снежного покрова, см, Q — продолжительность солнечного сияния, ч, O — общая облачность в баллах, V — скорость ветра, м/с, Σ — сумма значений за 6-летний период (сентябрь—август).

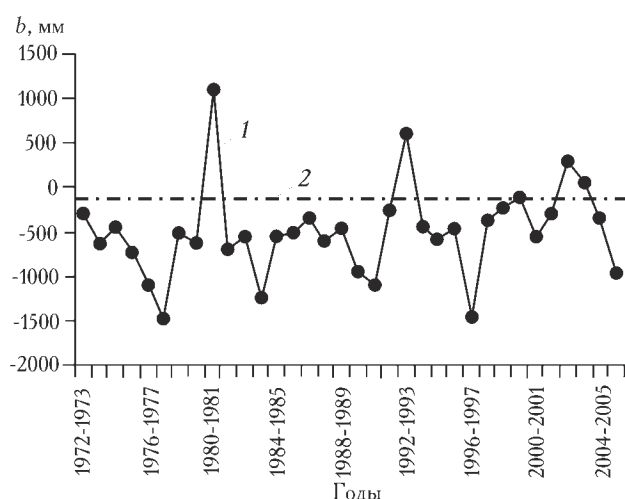


Рис. 2. Ход удельного баланса массы ледника b
1 — баланс массы ледника Туяксу; 2 — среднее значение за 1879—2006 гг.

Fig. 2. Change of specific glacier mass balance b
1 — mass balance in the Tuyuksu Glacier; 2 — average value for 1879—2006

1983/84, 1990/91, 1996/97, 2004/05, 2005/06 гг. при максимумно высоком положении границы питания ледника (рис. 2).

Многолетние колебания баланса массы ледника

Проанализируем благоприятные и неблагоприятные для оледенения годы по данным метеостанции Туяксу (табл. 2). Толщина снежного покрова в благоприятные годы (53,5 см) выше, чем в неблагоприятные (41,4 см). Как показано ранее [9], температура

воздуха в весенние месяцы (апрель—май) на леднике понижалась, и осадки весной чаще выпали в твердом виде. В неблагоприятные годы среднемесячная температура воздуха в весенние месяцы составляла $-3,2^{\circ}\text{C}$, в благоприятные — $-1,6^{\circ}\text{C}$. Количество же зимних осадков в неблагоприятные годы больше (100,4 мм), чем в благоприятные (91,0 мм). Отсюда следует, что для оледенения и более в значительное выпадение твердых летних и весенних осадков, которые способствуют уменьшению таяния ледника вследствие увеличения льда на его поверхности и возрастания затрат тепла на таяние свежевыпавшего снега. Сумма весенних осадков с марта по май в неблагоприятные годы была равна 286,5 мм, в благоприятные — 315,8 мм. В неблагоприятные годы сумма летних осадков составляла 370,4 мм, в благоприятные — 498,7 мм. В неблагоприятные годы среднемесячная температура воздуха в летний период была равна $5,4^{\circ}\text{C}$, в благоприятные $4,4^{\circ}\text{C}$. Максимальные значения температуры в неблагоприятные годы составляют $9,4^{\circ}\text{C}$, минимальные — $1,9^{\circ}\text{C}$, в благоприятные — соответственно 8,2 и $0,8^{\circ}\text{C}$ (табл. 2).

За 6-летний период среднемесячная, максимумная и минимумная температуры, продолжительность солнечного сияния и скорость ветра в благоприятные для оледенения годы меньше, облачность, осадки, относительная влажность, амплитуда максимумных и минимумных температур воздуха в весенние и летние месяцы — больше (за счет более резкого понижения минимумных температур воздуха), чем в неблагоприятные годы. Все эти факторы определяют режим оледенения и соответственно баланс массы

Средние значения метеорологических элементов по данным станции Тууксу

Месяц	Метеопараметры*										
	<i>T₁</i>	<i>T₂</i>	<i>T₃</i>	<i>A</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>O</i>	<i>V</i>
Неблагоприятные годы: 1977/78, 1983/84, 1990/91, 1996/97, 2004/05, 2005/06											
Сентябрь	3,0	6,6	0,0	6,6	42,6	10	55	0,9	216,8	3,7	1,2
Октябрь	−3,0	1,1	−7,0	8,1	73,7	13	53	9,3	160,0	4,5	1,2
Ноябрь	−7,9	−3,9	−11,6	7,7	50,8	10	46	47,8	118,5	4,2	1,6
Декабрь	−11,4	−7,5	−15,5	8,0	41,3	13	50	52,8	96,3	4,5	1,7
Январь	−14,5	−10,4	−18,5	8,1	31,8	10	51	64,5	103,7	4,7	1,5
Февраль	−14,3	−9,9	−17,5	8,5	27,3	11	54	71,8	140,7	4,7	1,6
Март	−8,2	−3,0	−12,7	9,7	42,4	16	57	81,8	167,3	5,0	1,3
Апрель	−3,1	2,5	−5,9	8,4	71,3	17	58	86,4	178,2	5,7	1,4
Май	0,0	4,5	−3,5	7,9	172,8	22	68	59,3	157,4	6,7	1,4
Июнь	3,5	7,6	0,4	7,3	172,2	19	70	22,0	165,7	6,3	1,4
Июль	6,3	10,2	2,9	7,3	111,0	15	64	0,1	184,5	4,8	1,4
Август	6,3	10,3	2,5	7,8	87,2	10	52	0,5	199,1	3,7	1,3
Σ	−43,3	7,8	−86,4	95,2	924,4	166	680	497,3	1888,1	58,3	17,0
Среднее	−3,6	0,7	−7,2	7,9	77,0	14	57	41,4	157,3	4,9	1,4
Благоприятные годы: 1980/81, 1992/93, 2002/03, 2003/04											
Сентябрь	2,1	5,9	−1,0	6,9	52,5	11	57	1,2	198,0	3,8	1,2
Октябрь	−2,7	−1,3	−5,8	4,6	76,7	11	57	23,0	157,6	4,5	1,4
Ноябрь	−6,9	−2,9	−10,6	7,7	71,8	13	59	59,6	100,1	5,3	1,8
Декабрь	−11,0	−7,4	−13,5	6,1	32,1	10	57	70,5	86,3	4,5	1,6
Январь	−12,7	−8,8	−16,6	7,8	27,8	9	54	77,8	114,7	4,3	1,5
Февраль	−11,9	−7,5	−16,2	8,7	31,1	10	58	79,8	115,1	5,3	1,7
Март	−8,9	−4,4	−13,3	8,9	59,0	16	60	91,5	158,4	6,3	1,3
Апрель	−4,0	1,3	−9,1	10,3	90,6	14	60	100,3	168,8	6,3	1,3
Май	−2,5	4,3	−5,2	9,4	166,2	19	72	95,5	166,8	6,5	0,9
Июнь	3,5	7,8	−0,5	8,3	180,6	21	71	41,5	165,2	6,5	1,1
Июль	5,1	8,6	1,6	7,9	237,4	20	72	1,8	153,7	6,5	1,2
Август	4,6	8,1	1,2	5,0	80,7	16	66	0,2	192,2	5,5	1,2
Σ	−45,2	3,6	−88,9	91,6	1106,4	170	741	642,5	1776,7	65,0	16,1
Среднее	−3,8	0,3	−7,6	7,6	92,2	14	62	53,5	148,1	5,4	1,3

*А — амплитуда максимумной и минимумной температуры воздуха. Остальные обозначения см. в сноске к табл. 1.

ледник. В неблагоприятные годы он был положительным и составил: в 1980/81 г. 1100 мм, в 1992/93 г. 602 мм, в 2002/03 г. 300 мм, в 2003/04 г. 62 мм, в неблагоприятные — отрицательным и был равен: в 1977/78 г. −1480 мм, в 1983/84 г. −1250 мм, в 1990/91 г. −1100 мм, в 1996/97 г. −1467 мм, в 2004/05 г. −338 мм, в 2005/06 г. −996 мм (см. рис. 2).

Синоптические процессы

Несомненно, что большое влияние оказывают синоптические процессы, для анализа которых использован типизация микrocиркуляционных процессов, разработанная Б.Л. Дзержевским для Северного полушария [7, 8]. Он выделил отдель-

ную группу меридиональной южной циркуляции (тип 13) — необычное состояние атмосферы с циклонической циркуляцией на полюсе, отсутствием блокирующих процессов на полушарии и тремя — четырьмя одновременными выходами южных циклонов в роторный сектор. Именно с этой группой связаны 1980-е годы (максимум приходится на 1989 г.) и по настоящее время, поэтому большинство метеорологических экстремумов, в том числе и дивергенцией Арктического бассейна и в горных районах. Рост повторяемости южных циклонов, отличающихся малым радиусом действия, большими скоростями перемещения и резкими контрастами температур на фронте, вызвало увеличение амплитуды её

колебаний и атмосферных осадков в различных регионах, в частности, в горных, в тёплое время года [14].

Для анализа синоптических процессов используются данные [17–20]. Рассчитано количество суток, при которых выпадут осадки при различных типах циркуляции в тёплый период — наиболее благоприятный для формирования годового баланса массы ледников. Как показано в [12], наибольшее количество осадков на леднике Туюксу выпало при ЭЦМ (элементарный циркуляционный механизм) 13л в основном в летний период. При ЭЦМ 13л полярное вторжение отсутствует, отмечается обширная депрессия над Арктическим бассейном и циклоническая деятельность над континентом [18]. Наибольшая интенсивность осадков также приходится на этот тип циркуляции. ЭЦМ 13л появился в начале XX столетия. Количество суток с циркуляцией такого типа быстро росло, в конце XX в. началось их уменьшение (рис. 3). Соответственно увеличился частот выпадения осадков, связанных с другими синоптическими процессами — 3, 9, 12, особенно ЭЦМ 9 [13]. Однако влияние ЭЦМ 13л ещё велико. На леднике Туюксу в летний период преобладают смешанные осадки при средней многолетней температуре воздуха $3,9^{\circ}\text{C}$, но в начале XXI в. их количество стало уменьшаться. Твёрдые осадки выпадали при средней многолетней температуре воздуха $2,1^{\circ}\text{C}$, жидкие — при $5,9^{\circ}\text{C}$ [13]. Из табл. 3 видно, что наибольшее количество осадков выпадает в смешанном виде.

Из табл. 3 также видно, что наиболее благоприятные условия складывались в годы с преобладанием циркуляции меридионального типа Е, и осадки выпадали в основном в твёрдом виде. В неблагоприятные годы преобладали меридиональная циркуляция С, и наибольшее количество осадков выпадало в смешанном виде.

При типе циркуляции Е высотный гребень ложливостным образом, что его ось располагается между 30° – 60° в.д. К востоку и западу от него обычно имеются глубокие холодные ложбины, которым соответствуют низменные кратчайшие циклоны, находящиеся в тылу вторжения холодных воздушных масс. В высокогорной зоне Зилийского Алатау на леднике Туюксу температура воздуха понижается, осадки выпадают в основном в виде снега [3]. При типе циркуляции Е в сочетании с минимумом солнечной активности увеличиваются глубины циклонов, и они становятся более обширными. Количество осадков возрастает на 20–30% по сравнению с многолетней нормой.

При типе циркуляции С в пределах талантико-европейского сектора преобладают высокая фронтальная зона характеризуется двумя высотными гребнями, расположенными над Западной Европой и Западной Сибирью. Между гребнями эта зона имеет сильный изгиб к югу. В отдельных случаях тот или иной высотный гребень может быть развит слабо или усиливаться лишь эпизодически. Наблюдается повышение температуры воздуха, и увеличиваются сток с ледника Туюксу [3]. При типе циркуляции С в соче-

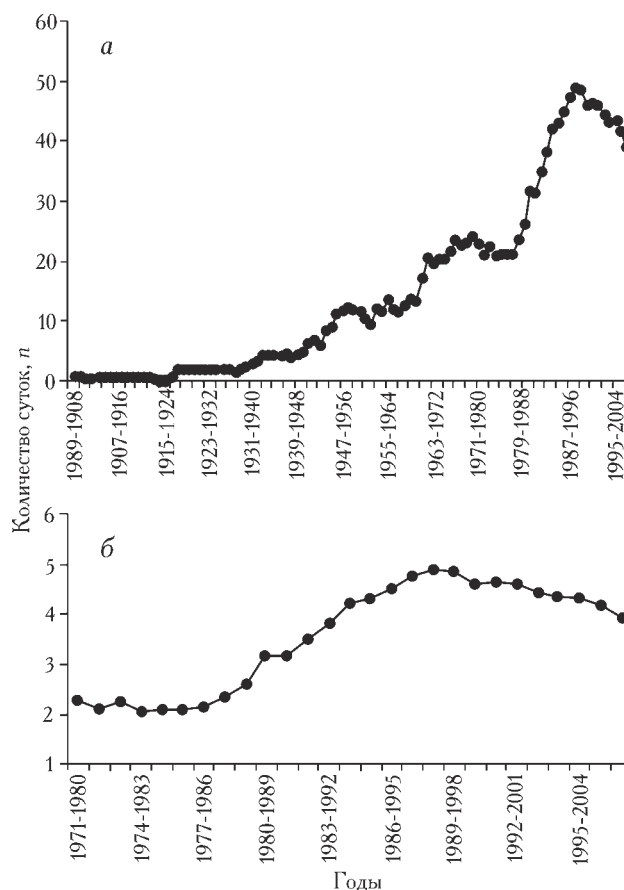


Рис. 3. Изменение скользящих по десятилетиям показателей при ЭЦМ 13л

а — количество суток для Северного полушария за летний период; б — количество суток с выпадением осадков на леднике Туюксу в летний период

Fig. 3. Change of 10-years running parameters for circulation type 13л ECM

а — days in the Northern Hemisphere for summer period; б — days with precipitation at the Tuyuksu Glacier for summer period

тении с минимумом солнечной активности количество осадков уменьшается на 30–40% от нормы [1].

При максимуме солнечной активности несколько увеличиваются повторяемость типа циркуляции Е, что способствует увлажнению, при минимуме — повторяемость типа С, что способствует засушливости [4]. В эпоху циркуляции типа Е создаются условия для стабилизации или слабого наступления ледников на Алтае и в Юго-Восточном Казахстане [2]. Наибольшее количество осадков в твёрдом виде на леднике Туюксу в благоприятные для оледенения годы выпало при циркуляции Е в сочетании с ЭЦМ 13л — 170,8 мм., смешанных — 10,0 мм.; общее количество осадков составило 567,3 мм. В неблагоприятные годы при типе циркуляции Е и ЭЦМ 13л смешанных осадков выпало 37,4 мм., их общее количество достигло 263,0 мм. В неблагоприятные годы преобладали тип циркуляции С, осадки выпадали в основном в жидком виде — 103,2 мм., общее их количество составило 344,0 мм, что значительно больше, чем при типе циркуляции Е — 263,0 мм.

Таблица 3

Выпадение осадков в благоприятные и неблагоприятные для оледенения годы на леднике Туюксу в летний период при различных синоптических процессах*

ЭЦМ**	Тип циркуляции W				Тип циркуляции E				Тип циркуляции C				Сумма осадков, мм				
	п	т	с	ж	п	т	с	ж	п	т	с	ж	п	т	с	ж	Σ
Бл. благоприятный год 2003/04																	
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	1	2,3	—	—	2	—	71,5	10,0	—	—	—	—	3	2,3	71,5	10,0	83,8
3	2	0,4	6,9	—	—	—	—	—	1	0,4	—	—	3	0,8	6,9	—	7,7
4	—	—	—	—	7	77,2	—	9,8	1	—	1,3	—	8	77,2	1,3	9,8	88,3
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	4	18,4	25,0	—	—	—	—	—	4	18,4	25,0	—	43,4
7л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7з	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	2,4	—	1	—	2,4	—	2,4
8б	4	0,6	20,6	0,2	5	11,8	91,4	0,4	1	—	—	0,5	10	12,4	112,0	1,1	125,5
8в	1	—	—	5,4	—	—	—	—	3	10,7	9,9	4,1	4	10,7	9,9	9,5	30,1
8г	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	2	0,2	—	10,0	2	28,7	—	1,9	1	4,6	—	—	5	33,5	—	11,9	45,4
10	1	—	1,1	—	5	12,1	21,5	0,3	—	—	—	—	6	12,1	22,6	0,3	35,0
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	4	5,2	17,6	15,6	—	—	—	—	2	6,9	3,5	—	6	12,1	21,1	15,6	48,8
12г	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12л	2	9,6	2,8	—	—	—	—	—	3	5,6	14,1	—	—	—	—	—	—
12з	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	15,2	16,9	—	32,1
13з	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13л	10	—	131,9	3,1	15	170,8	10,0	6,5	5	—	22,9	45,7	30	170,8	164,8	55,3	390,9
Σ	27	18,3	180,9	34,3	40	319,0	219,4	28,9	18	28,2	54,1	50,3	85	365,5	454,4	113,5	933,3
Σоб	—	—	—	233,5	—	—	—	567,3	—	—	—	132,2	—	—	—	—	933,3

Небл. благоприятный год 2005/06																	
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	6	51,6	3,2	1,1	2	3,7	8,0	—	3	—	26,6	—	11	55,3	37,8	1,1	94,2
4	2	8,5	3,7	—	2	—	27,4	—	4	—	22,2	—	8	8,5	53,3	—	61,8
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	2	21,6	—	—	3	11,1	29,4	—	2	1,2	51,8	—	7	33,9	81,2	—	115,1
7л	2	7,6	6,9	—	—	—	—	—	4	11,7	10,3	3,4	6	19,3	17,2	3,4	39,9
7з	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8б	2	—	16,3	—	2	20,1	2,9	—	—	—	—	—	4	20,1	19,2	—	39,3
8в	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8г	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	2	—	4,1	—	11	17,6	64,3	5,4	5	15,1	37,1	—	18	32,7	105,5	5,4	143,6
10	1	—	2,9	—	2	—	—	7,2	8	—	71,8	6,4	11	—	74,7	13,6	88,3
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	15,1	3	—	10,9	3,2	2	—	14,9	6,2	6	—	25,8	24,5	50,3
12г	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12л	2	5,3	—	—	3	—	1,7	12,7	—	—	—	—	5	5,3	1,7	12,7	19,7
12з	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13з	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13л	7	14,9	35,6	—	3	—	37,4	—	10	23,6	30,2	11,5	20	38,5	103,2	11,5	153,2
Σ	27	109,5	72,7	16,2	31	52,5	182,0	28,5	38	51,6	264,9	27,5	96	213,6	519,6	72,2	805,4
Σоб	—	—	—	198,4	—	—	—	263,0	—	—	—	344,0	—	—	—	—	805,4

*Данные по типизации Б.Л. Дзержевского получены Н.К. Кононовой со своего сайта в Интернете, по типизации синоптических процессов М.Х. Байдаль для Казхстан предоставлены отделом прогнозов погоды Казгидрометцентр.

**ЭЦМ — элементные циркуляционные механизмы, *л* — количество суток с выпадением осадков при различных ЭЦМ, мм; т, с, ж — твердые, смешанные и жидкие осадки; Σ — сумма осадков; Σоб — сумма твердых, смешанных и жидких осадков.

Выводы

Результаты настоящей работы хорошо согласуются с выводами, сделанными М.Х. Байдалом [1–4] для Казахстана и Н.К. Кононовой [14] для других регионов. Происходит перестройка атмосферной циркуляции, в частности, в начале XX столетия появились ЭЦМ 13л, которой созданы лучшие условия для обострения атмосферных фронтов, резких контрастов температуры воздуха и, следовательно, для возникновения экстремальных природных явлений. На примере ледника Туюксу установлено, что преобладание циркуляции типа Е в сочетании с ЭЦМ 13л в летний период в Зилийском Алтае благоприятно для оледенения, и баланс массы ледника становится положительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байдал М.Х. Комплексный мезоциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. Л., Гидрометеоиздт, 1961, 211 с.
2. Байдал М.Х. Колебания режимов ледников в связи с мезоциркуляционными эпохами. — МГИ, 1964, вып. 10, с. 112—120.
3. Байдал М.Х. Природная и прогностическая ценность двухлетней цикличности гидрометеорологических явлений. — Тр. КНИГМИ, 1965, вып. 23, с. 3—8.
4. Байдал М.Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. — Тр. КНИГМИ, 1970, вып. 35, с. 3—9.
5. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н., Гужавина Е.А. Континентальность климата Казахстана. — Тезисы докладов 2-го съезда Геогр.об-ва Казахстана ССР. Алма-Ата, 1985, с. 33—34.
6. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Зилийского Алтае в XX веке. Алматы, Казахский университет, 2001, 252 с.
7. Дзердзеевский Б.Л. Проблемы колебаний общей циркуляции атмосферы и климата. — Воейков и современные проблемы климатологии. Л., 1956, с. 109—122.
8. Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климата. М., «Наука», 1975, 285 с.
9. Ерисковская Л.А. Климатические изменения в высокогорной зоне Зилийского Алтае на примере ледника Туюксу. — Гидрометеорология и экология, Алматы, 2003, № 3, с. 33—38.
10. Ерисковская Л.А. Влияние климатических изменений на оледенение в высокогорной зоне Зилийского Алтае на примере ледника Туюксу. — Гидрометеорология и экология, Алматы, 2003, № 4, с. 31—34.
11. Ерисковская Л.А. Метеорологические условия на леднике Туюксу за последние годы, влияющие на оледенение. — Гидрометеорология и экология, Алматы, 2004, № 1, с. 34—41.
12. Ерисковская Л.А. Метеорологическая обусловленность колебания границы питания на леднике Туюксу. — Гидрометеорология и экология, Алматы, 2005, № 2, с. 79—88.
13. Ерисковская Л.А. Фоновый состав атмосферных осадков на леднике Туюксу. — Гидрометеорология и экология, Алматы, 2006, № 4, с. 108—117.
14. Кононова Н.К. Исследование многолетних колебаний циркуляции атмосферы Северного полушария и их применение в гляциологии. — МГИ, 2003, вып. 95, с. 45—65.
15. Ледники Туюксу. Л., Гидрометеоиздт, 1984, 170 с.
16. Макаревич К.Г. Ледники Туюксу. Алма-Ата, 1985, 10 с.
17. Савина С.С. Типизация элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) и спектры ее применения. — Методы метеорол. исследований, 1987, № 13, с. 5—17.
18. Савина С.С. Обобщенные схемы элементарных циркуляционных механизмов. — Методы метеорол. исследований, 1987, № 13, с. 18—29.
19. Савина С.С. Клендер последовательной смены ЭЦМ за 87-летний период (с 1899–1985 гг.). — Методы метеорол. исследований, 1987, № 13, с. 30—116.
20. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Динамика атмосферных процессов Северного полушария в XX столетии. Методы метеорол. исследований, 1984, № 9, 46 с.

SUMMARY

Data of observations at the Tuyuksu Glacier station for 1972–2007 show that in the cold period air temperature increases more intensively than in the warm period. Index of continentality, calculated according to the Gorchinskiy's formula, is getting less. In the beginning of the 1970s it made 46.2%, and at the end of the 1990s — 44.9%. Tuyuksu Glacier retreats despite of the increase in total precipitation (from 934.3 mm in the beginning of 1970s to 1032.7 mm at the end of the 1990s). Changes in the air temperature and precipitation in summer are the most important factors for the mass balance of the Tuyuksu Glacier. Thus, in «unfavourable» for glaciers years the mean summer air temperature was 5.4 °C, sum of precipitation 370.4 mm. In «favourable» years the mean summer air temperature was 4.4 °C, and sum of precipitation rises to 498.7 mm. Mass balance of the Tuyuksu Glacier is positive when the type of circulation E in combination with the ECM 13s prevails over the territory of Kazakhstan in summer. At the type E circulation the summer precipitation are mostly solid. Solid precipitation in summer at the type E in combination with the ECM 13s were not observed, and the total sum of precipitation for two summer periods was only 263.0 mm.