

УДК 551.577.22 + 513(574)

Канд. геогр. наук  
Канд. геогр. наукН.В. Пиманкина \*  
Н.К. Кононова \*\*  
Л.А. Ерисковская \***АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕТНИХ ОСАДКОВ НА ЛЕДНИКЕ  
ТУЙЫКСУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ***ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ, ОСАДКООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ, ЛЕДНИК, ТВЕРДЫЕ И ЖИДКИЕ ОСАДКИ, ИЗМЕНЕНИЕ СУММ ОСАДКОВ*

*В статье рассмотрена межгодовая изменчивость сумм летних осадков различного фазового состава на леднике Туйыксу и их связь с определенными типами циркуляции (в типизации Б.Л. Дзердзеевского). Установлено, что в последнее десятилетие наблюдается сокращение продолжительности зональных процессов и увеличение меридиональных северных циркуляций и изменение сумм, связанных с этими процессами осадков. Выявлена определенная периодичность колебаний гляциологических параметров в зависимости от макроциркуляционных характеристик.*

**Введение**

Режим ледников во многом определяется крупномасштабными циркуляционными процессами. Аккумуляция и абляция на ледниках, наряду с другими факторами, зависит от погодных условий, прежде всего от количества осадков и температуры воздуха. Внутригодовой ход осадков, выпадающих на хребте Иле Алатау и на сопредельных территориях, зависит как от общей циркуляции атмосферы, так и местных физико-географических условий, а межгодовая изменчивость сумм осадков связана с условиями атмосферной циркуляции. Существуют типизации циркуляционных процессов и различные способы их учета, предложенные в разное время Г.Я. Вангенгеймом, А.А. Гирсом, М.Х. Байдалом. В работах [1, 2] выполнен анализ влияния атмосферных процессов (в часто применяемой типизации Г.Я. Вангенгейма) на колебания ледника Туйыксу, при

---

\* Институт географии, г. Алматы

\*\* Институт географии, г. Москва

этом рассчитанные коэффициенты корреляции между рядом гляциологических характеристик и показателями атмосферной циркуляции невысоки. Типизация циркуляционных процессов по Б.Л. Дзердзеевскому использована для оценки влияния синоптических процессов на режим осадков и изменения баланса массы ледника Туйыксу в работе [4]. Выделены типы элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), которые оказывают наибольшее влияние на колебания баланса массы ледника [9].

Осадки, выпадающие на ледник в твердом виде (летние снегопады), образуют временный снежный покров и влияют на состояние и режим ледника, препятствуя таянию льда. Жидкие осадки прогревают снежную толщу на леднике и способствуют сходу накопленного за зимний сезон снега. Увеличение сумм жидких осадков, выпадающих летом, играет значительную роль в таянии ледника.

В данной работе оценена связь между количеством атмосферных осадков разного фазового состава, выпадавших на леднике в летние месяцы, с типами циркуляции по Б.Л. Дзердзеевскому.

### **Исходная информация**

В качестве исходных данных были использованы материалы многолетних круглосуточных наблюдений, выполняемых Институтом географии Республики Казахстан на гляциологической станции «Туйыксу-1» (Н = 3450 м н.у.м.), начиная с 1972 г. Для анализа циркуляции атмосферы использована типизация элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) Северного полушария, разработанная Б.Л. Дзердзеевским и коллегами [3], и Календарь последовательной смены ЭЦМ за 1899...2012 гг. [5, 6]. В качестве показателей атмосферных процессов использована повторяемость числа суток с определенными типами циркуляции.

В настоящее время ледники хребта Иле Алатау находятся в стадии отступления. По данным наблюдений, с 1956 г. ледник Туйыксу отступил на 750 м, а в среднем за год сокращение составляет 13,6 м [7].

Для определения связи между выпадением осадков в летний период в районе ледника Туйыксу и колебаниями циркуляции атмосферы использована классификация циркуляции атмосферы внетропических широт Северного полушария [3]. Основным признаком, по которому была проведена типизация, явилось наличие или отсутствие блокирующих процессов на полушарии, их направление и количество. В отдельную группу были выделены процессы с циклонической циркуляцией на полюсе. Всего авторами выделено 4 группы циркуляции, 13 типов, 41 подтип, ЭЦМ, который

и является основной единицей типизации. ЭЦМ обозначаются цифрами (от 1 до 13) и буквами. Число обозначает тип ЭЦМ, начальными буквами алфавита обозначается подтип, а буквы «з» или «л» обозначают зимний или летний. ЭЦМ различаются количеством и направлением блокирующих процессов и выходов южных циклонов. На каждый ЭЦМ составлена динамическая схема географического положения и путей перемещения циклонов и антициклонов. Все ЭЦМ разделены на 4 группы: зональную (без блокирующих процессов), нарушения зональности (с одним блокирующим процессом), меридиональную северную (с двумя-четырьмя блокирующими процессами) и меридиональную южную (без блокирующих процессов, с циклоном на полюсе и тремя-четырьмя выходами южных циклонов на полушарии) [5, 6].

Многолетние ряды продолжительности (в сутках) ЭЦМ, приведенные в Календаре смены ЭЦМ, позволяют сопоставить их с характеристиками метеорологического режима. Влияние циркуляции атмосферы на формирование аккумуляции и абляции ледника заключается в том, что типу погоды при определенном ЭЦМ соответствует определенный режим увлажнения и температуры.

Для изучения влияния атмосферной циркуляции на режим осадков в период абляции (июнь – август) в первую очередь был произведен подсчет суммарной месячной и годовой продолжительности ЭЦМ и их групп. По данным таблиц ТМ-1 для ледника Туйыксу [8] подсчитано количество дней с осадками разного фазового состава, выпадающих при различных ЭЦМ. Определены ЭЦМ, способствующие выпадению осадков в летний период, и проанализирована их повторяемость. Подсчитаны изменения метеорологических характеристик (средняя температура воздуха, суммы осадков) и баланса массы ледника Туйыксу по циркуляционным эпохам (периодам с однородным характером циркуляции атмосферы, [3, 5]).

### **Результаты и интерпретация**

Значимость каждого ЭЦМ для формирования летнего баланса массы ледника была оценена через количество суток и суммы осадков разного фазового состава, выпадающих в июне – августе. В табл. 1 обобщены данные о количестве суток, при которых выпадали осадки в теплый период года на метеоплощадке Туйыксу-1 при различных типах и группах ЭЦМ за период 1972...2012 гг. В среднем за июнь – август на леднике отмечается 52 сут с осадками. Средняя многолетняя сумма осадков за ука-

занный период составляет 420 мм, из них 150 мм твердых, 190 мм смешанных и 80 мм жидких.

Согласно табл. 1, основными осадкообразующими ЭЦМ для Иле Алатау являются летние подтипы ЭЦМ типов 2, 4, 9, 10, 12, особенно 12а, чаще всего проявляющийся в период перехода от холодного полугодия к теплomu, и ЭЦМ 13л. Наибольшее количество дней с осадками, в том числе обильными (более 10 мм/сут.), связано с действием ЭЦМ 13л, при котором в Арктике и на большей части континента развивается циклоническая деятельность. Данный ЭЦМ относится к меридиональной южной группе циркуляции и отличается большой повторяемостью в летний период. При ЭЦМ 13л ледник Туйыксу находится на северо-западной границе антициклонической области, рядом с которой пролегают пути средиземноморских циклонов.

Таблица 1  
Число дней с осадками при разных ЭЦМ на леднике Туйыксу

Тип ЭЦМ	май	июнь	июль	август	сентябрь	Всего
<b>Зональная</b>						
1з	4	0	2	1	7	14
2а	40	65	61	44	7	217
Нарушение зональности						
3л	31	26	34	16	7	114
4з+л	50	62	73	50	17	252
5	0	0	4	10	10	24
6	10	38	18	19	10	95
7л	37	27	15	22	25	126
7з	2	0	0	0	3	5
<b>Меридиональная северная</b>						
8а	45	32	11	5	12	105
8б	25	15	20	13	9	82
8в	13	12	14	10	22	71
8г	20	9	9	15	4	57
9	92	83	78	38	29	320
10	62	46	54	35	22	219
11	10	6	8	3	14	41
12а	112	53	16	20	40	241
12г	14	0	0	1	11	26
12бл+вл	80	43	36	38	32	229
12з	1	2	0	2	16	21
<b>Меридиональная южная</b>						
13з	5	0	0	1	51	57
13л	131	268	259	190	98	946
Всего	784	787	712	533	446	

*Примечание:* все подтипы ЭЦМ не перечисляются, указывается только сезонная принадлежность (з – зимние, л – летние).

Механизм влияния ЭЦМ на формирование баланса массы ледника состоит в том, что во время антициклона район оказывается в зоне повышенного давления с нисходящими потоками, разрушением облачности и отсутствием осадков. При слабой циклонической циркуляции район оказывается в малоградиентной области пониженного давления с высокой температурой воздуха и отсутствием осадков. Эти ситуации способствуют абляции. Если район оказывается в области циклонической циркуляции, то мощная облачность способствует уменьшению приходящей солнечной радиации и понижению температуры воздуха, выпадают осадки.

При выпадении осадков в виде снега интенсивность абляции замедляется. В верхних зонах ледника осадки выпадают в твердом виде, что в результате способствует формированию более высокого годового баланса ледника.

Следует отметить, что погода в районе ледника за конкретный период времени зависит от того, под влиянием какой части циклона оказался исследуемый район, при этом возможны морозящие или ливневые осадки, а также возможно потепление или похолодание без осадков.

Мы попытались оценить вклад отдельных ЭЦМ в выпадение осадков разного фазового состава. Наибольшее число дней с твердыми и смешанными осадками наблюдается при группе ЭЦМ меридиональная северная (табл. 2). Больше всего жидких осадков приносит ЭЦМ 13л.

Таблица 2  
Число суток и суммы твердых, смешанных и жидких осадков (мм) за июнь – август (1999...2012 гг.) по отдельным типам ЭЦМ на леднике Туйыксу

Тип ЭЦМ	Число суток с твердыми осадками	Сумма твердых осадков	Число суток со смешанными осадками	Сумма смешанных осадков	Число суток с жидкими осадками	Сумма жидких осадков
<b>Зональная</b>						
2а	3	26,5	2	30,3	7	20,1
<b>Нарушение зональности</b>						
4	6	104,6	1	8,4	4	13,5
<b>Меридиональная северная</b>						
9а	38	417,5	36	294,3	29	158,8
10б	12	52,7	10	176,8	9	20
12а	41	327,7	30	399,1	17	120,1
12бл	21	216,3	16	191,6	10	66,7
<b>Меридиональная южная</b>						
13л	66	653,1	76	699,1	74	405,9

Мы попытались сопоставить границы циркуляционных эпох [5] с изменениями гляциоклиматических характеристик ледника внутри этих временных пределов. Проведенный анализ позволил выявить определенные периоды колебания гляциологических параметров различной продолжительности в зависимости от макроциркуляционных характеристик.

Первый период, по нашему мнению, продолжался с 1957 по 1973 гг. Границы периода в целом соответствуют периоду увеличения продолжительности меридиональных северных и южных процессов [5]. Наблюдались повышенная зимняя аккумуляция, небольшой отрицательный годовой баланс (табл. 3). Снеговая линия находилась в среднем на высоте 3750 м.

Таблица 3

Гляциоклиматические характеристики ледника Туйыксу

Характеристика	Период наблюдений			
	1957...1973 гг., меридиональные северные и южные	1974...1998 гг.		1999...2012 гг., меридиональные северные
		1974...1985 гг., зональные	1986...1998 гг., меридиональные южные	
Средняя температура воздуха за сентябрь – май	(-7,3)	-7,1	-6,8	-6,2
Средняя температура воздуха за июнь – август	(4,1)	4,9	4,8	5,3
Средняя температура воздуха в июле	(4,6)	5,9	5,7	5,7
Сумма осадков за сентябрь – май, мм	(563)	549	535	670
Сумма осадков за июнь – август, мм	(445)	385	446	422
Средняя толщина снега в апреле, см	-	67	84	108
Зимний баланс, мм	1086	555	500	637
Летний баланс, мм	-1186	-1257	-1030	-969
Годовой баланс, мм	-100	-702	-530	-332
Высота снеговой линии, м	3750	3892	3852	3817

*Примечание:* данные в скобках восстановлены по связи с М Мынжилки (Н = 3017 м н.у.м.), расположенной в 3 км к северу от станции «Туйыксу-1». Данные о балансе массы ледника взяты из [7, 8].

Для периода 1974...1998 гг. характерны высокие значения отрицательного годового баланса, отступление снеговой линии до высоты 3870 м (на 120 м выше, чем в первом периоде). Границы периода приблизительно соответствуют периодам повышенной продолжительности зональных процессов (1974...1985 гг.) и затем быстрого роста продолжительности меридиональных южных процессов (1986...1998 гг.). Первое десятилетие

характеризуется наибольшим количеством суток с осадками и сумм осадков, принесенными в летний период зональными процессами и процессами нарушения зональности (рис. 1, 2).

Число суток с осадками и суммы осадков, связанных с меридиональными южными процессами (тип *13л*, выходы южных циклонов), в 1974...1986 гг. было наименьшим за исследуемый период и в среднем ниже нормы на 40 %. При ЭЦМ меридиональной северной группы циркуляции также выпало осадков меньше (при средней многолетней сумме за июнь – август 2120 мм в указанный период выпало 1520 мм, а число дней с осадками было ниже нормы на 40 %).

В последующие годы общее число суток с твердыми осадками, приносимыми всеми процессами, сократилось, зато резко (в 4 раза!) возросло число суток и суммы осадков смешанных и жидких, приносимых меридиональными южными процессами. С 1987 по 2004 гг. суммарная продолжительность ЭЦМ *13л* в июне – августе превышала норму, а максимум летней продолжительности (89 сут) наблюдался в 1989 г.

Следует отметить, что изменения средних месячных сумм осадков за указанные периоды (без выделения по группам циркуляции) статистически незначимы. Проверка с помощью критерия Стьюдента показала достоверные изменения в количестве осадков только для февраля.

Следующий период продолжается с 1999 по настоящее время. Последний отрезок времени является относительно благоприятным для жизни ледника. В качестве критериев благоприятности можно считать среднюю сумму осадков за сентябрь – май, на 10 % превышающую среднюю величину за 36 лет наблюдений; среднюю температуру июля на 6 % ниже нормы; толщину снежного покрова (измерения по рейке на площадке наблюдений) на 20 % больше нормы. Летний баланс остается отрицательным, однако модуль величины летнего баланса меньше, чем в предыдущие периоды (табл. 3).

Данный период характеризуется значительным сокращением продолжительности зональных процессов и увеличением меридиональных процессов на полушарии. При этом чаще стали возникать ситуации, связанные с развитием северных блокирующих процессов, что характерно для меридиональной северной группы циркуляции.

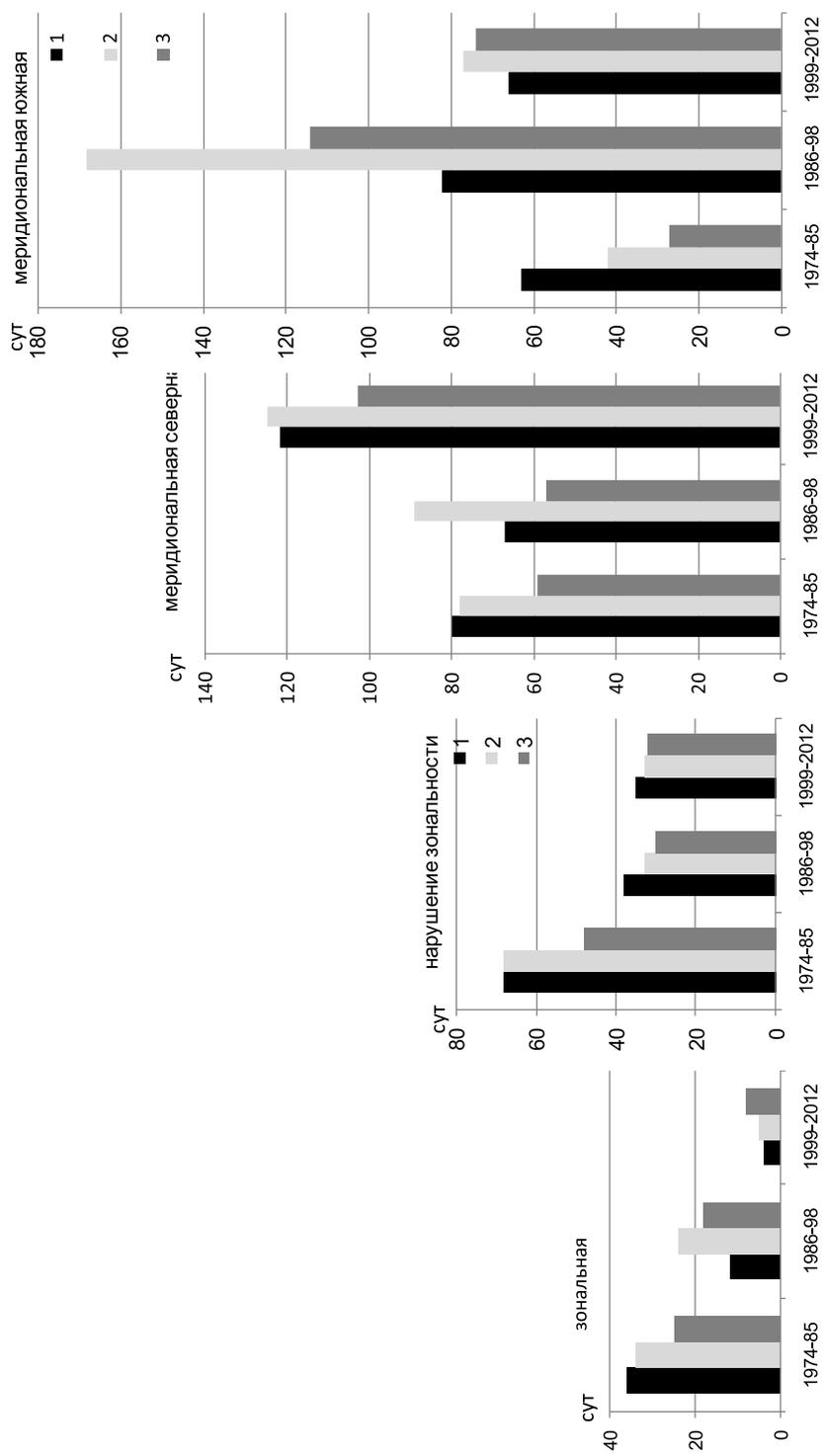


Рис. 1. Число суток с осадками разного фазового состава, выпадающих на леднике Гуйяксу в июне – августе, по группам атмосферной циркуляции в различные периоды наблюдений. 1 – твердые, 2 – смешанные, 3 – жидкие осадки.

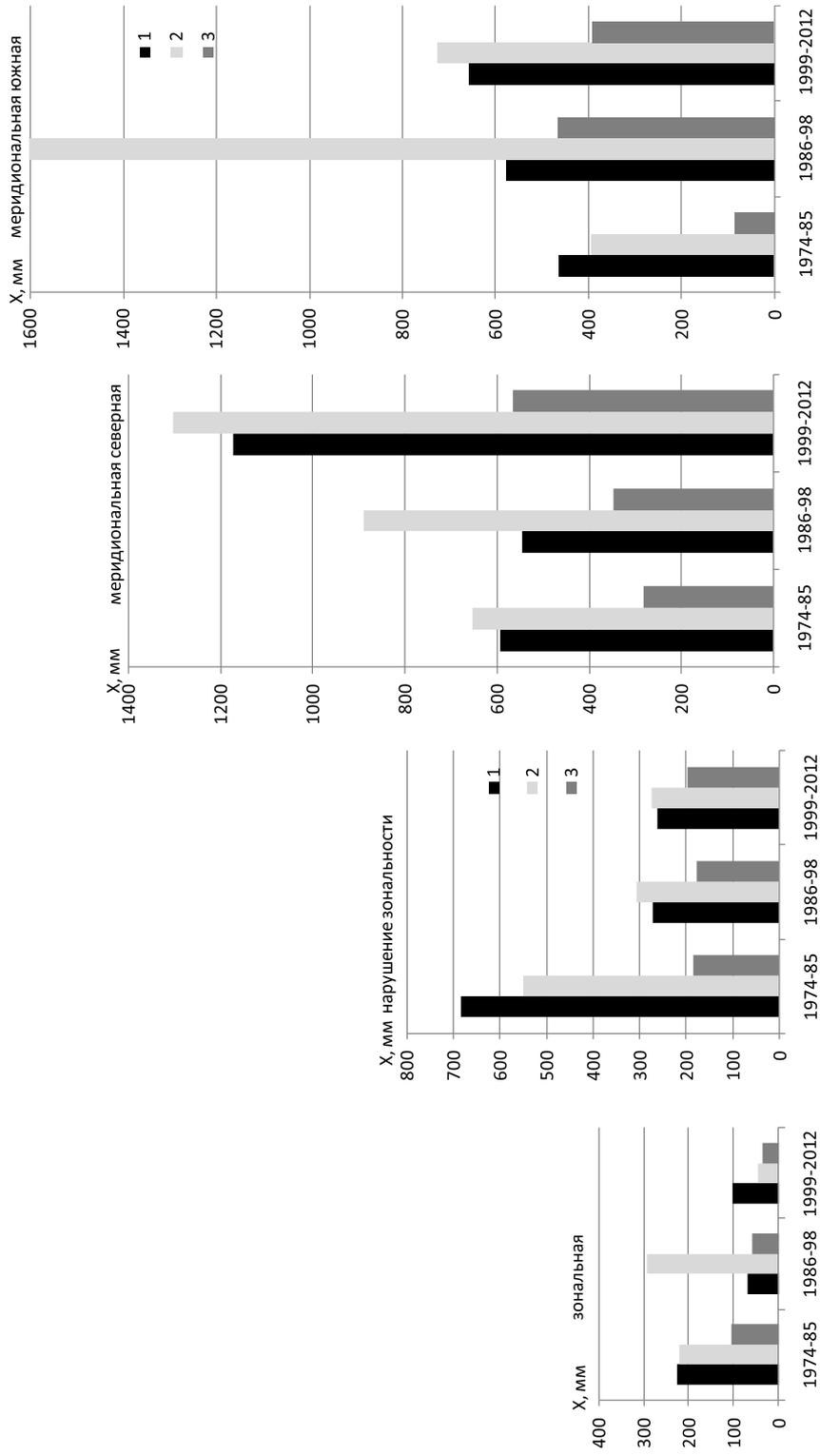


Рис. 2. Суммы осадков разного фазового состава, выпадающих на леднике Гуйяксу в июне – августе, по группам атмосферной циркуляции в различные периоды наблюдений. Условные обозначения см. рис. 1.

Циклоны, выходящие на азиатскую часть континента с восточного Средиземноморья, встречаются на своем пути преграду в виде блокирующего антициклона над Европейской частью России, Поволжьем или Сибирью. Атлантические циклоны огибают европейский антициклон с севера, траектории циклонов меняются. Район исследований чаще оказывается на пути южных циклонов или в регионе слияния средиземноморских циклонов, обходящих с юга отрог азорского антициклона, с атлантическими циклонами, приходящими сюда с северо-запада [5].

Общее количество суток с выпадением осадков при этих процессах увеличилось на 60 % по сравнению с предыдущим десятилетием, возросли суммы твердых и смешанных осадков. В последнее десятилетие отмечается постепенное уменьшение суммарной продолжительности ЭЦМ 13л в летний период.

### **Заключение**

На основании анализа данных о продолжительности ЭЦМ (в сутках), приведенных в Календаре смены ЭЦМ, и суточных данных метеонаблюдений на леднике Туяксу сделан вывод о том, что основными осадкообразующими процессами являются типы циркуляции 2, 4, 9, 10, 12 и 13л (по классификации Б.Л. Дзердзеевского). Модуль величины летнего баланса ледника значительно увеличивается при увеличении повторяемости ЭЦМ 13л. Анализ многолетних колебаний суммарной продолжительности ЭЦМ данных типов показал, что в начале 21 века наблюдается рост продолжительности процессов меридиональной северной группы циркуляции и на 60 % увеличилось число суток с осадками разного фазового состава, выпадающими при этих процессах на леднике в июне – августе. Общая сумма осадков, выпавших в твердом виде за последнее десятилетие, выше средней многолетней величины, а жидких осадков – меньше средней. Преобладание меридиональных процессов в циркуляции атмосферы Северного полушария, отмечающееся в последние годы, в дальнейшем может привести к формированию блокирующих антициклонов, увеличению выходов циклонов и увеличению сумм атмосферных осадков над районом исследований.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Головкова Р.Г., Денисова Т.Я., Токмагамбетов Г.А.. Влияние атмосферной циркуляции на энергетический режим и абляцию ледника Туяксу // МГИ. – 1986. – № 58. – С. 29-34.

2. Денисова Т.Я., Макаревич К.Г., Панова Е.Н., Чичасов Г.Н.. Влияние крупномасштабных атмосферных процессов на колебания ледников // МГИ – 1986. – № 57. – С. 52-58.
3. Дзерdzeевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии // Матер. метеорологических исследований. – М.: изд. ин-та геогр АН, 1968. – 240 с.
4. 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.
5. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерdzeевскому / Отв. ред. А.Б. Шмакин. – М.: Воентехиздат, 2009. – 372 с.
6. Кононова Н.К. Календарь смены ЭЦМ за 1899-2012 гг. [Электрон. ресурс]. – URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru> (дата обращения 20.06.2013).
7. Макаревич К.Г., Касаткин Н.Е. Полувековые исследования баланса массы Центрального Туюксуйского ледника в Заилийском Алатау // Географические проблемы устойчивого развития: Теория и практика / Под ред А. Медеу. – Алматы: Принт-S, 2008. – С. 99-111.
8. Материалы по исследованию режима ледника Туюксу, 1971-2012 гг. Фонды ТОО «Институт географии» АО ННТХ «Парасат».
9. Pimankina N., Kononova N.K., Yeriskovskaya L.A. Analysis of the influence of atmospheric circulation onto the fluctuations of the Tuyuksu Glacier mass balance (The Alatau mountains) //Abstract Proceedings. Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13. July 8-12, 2013. – P. 1116.

Поступила 22.04.2014

Геогр. ғылымд. канд. Н.В. Пиманкина  
 Геогр. ғылымд. канд. Н.К. Кононова  
 Л.А. Ерисковская

**АТМОСФЕРАЛЫҚ ЦИРКУЛЯЦИЯҒА БАЙЛАНЫСТЫ  
 ТҰЙЫҚСУ МҰЗДЫҒЫНДАҒЫ ЖАЗҒЫ ЖАУЫН-  
 ШАШЫНДАРДЫҢ ӨЗГЕРГІШТІГІН ТАЛДАУ**

*Мақалада Тұйықсу мұздығындағы жауын-шашындардың әртүрлі фазадағы құрам жиынтығының ондағы анық типіне айналуына байланысты және жыларалық өзгергіштігі қарастырылған*

*(Б.Л. Дзердзеевскийдің типтеуінде). Бекітілгені бұл жауын-шашындардың осы процестегі жиынтығының өзгеруіне орай және солтүстік меридионадағы процестің артуы мен соңғы он жылдағы зоналық процес ұзақтығының қысқаруы бақыланады. Макроциркуляциялық сипатқа байланысты гляциологиялық параметрлердің анық мерзімділігінің ауытқулары анықталды.*