

УДК 551.524.34(574)

Л.А. Ерисковская \*

**АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БАЛАНС МАССЫ  
ЛЕДНИКА ТУЙЫКСУ***ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, ЧИСЛО СУТОК С ОСАДКАМИ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ОСАДКОВ, БАЛАНС МАССЫ ЛЕДНИКА, СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ*

*В статье рассматривается среднемесячная температура воздуха и месячные суммы осадков за балансовый год, а так же холодный и теплый периоды по данным гляциологического стационара ледника Туйыксу за период 2006...2010 гг. Исследовано влияние синоптических процессов (по типизации Б.Л. Дзердзеевского) на фазовый состав осадков. Выявлено количество осадков в процентах за каждый год теплого периода второго пятилетия 21 века. Подсчитано число случаев выпадения осадков в сутках за летние месяцы при типах циркуляции (по М.Х. Байдалу) и различных элементарных циркуляционных механизмах в экстремальные годы.*

**Введение**

Изменение климата влияет на погоду в горах и может оказывать воздействие на экономику многих стран мира. В настоящее время внимание ученых все более и более сосредоточивается на высокогорных районах. Но еще больший научно-практический интерес проявляется к ледникам – одним из важнейших составляющих водного баланса. Ледники – аккумуляторы влаги. Вода в ледниках консервируется на много сотен и тысяч лет. Именно ледники можно назвать гигантскими естественными хранилищами запасов пресной воды. Задаче перспективного планирования с учетом максимального использования природных ресурсов придается большое значение в нашей стране. Необходимо знать масштабы колебаний климата как в прошлом, так и в будущем, а также какие изменения происходят в рамках месяца, сезона, года. Для рассмотрения этого вопроса взят репрезентативный ледник Туйыксу. Станция располагается на морене возле ледника на высоте 3450 м, где ведутся непрерывные наблюдения лабо-

---

\* Институт географии, г. Алматы

раторией гляциологии Института Географии с 1972 года. Проанализированная научная информация высылается во Всемирную службу мониторинга ледников.

### **Метеорологические исследования**

Большой научно-практический интерес представляют метеопроцессы при экстремальных значениях годового баланса массы ледников. Положительный баланс массы ледника за период 2006...2010 гг. был в 2009 и 2010 гг. – это благоприятные для оледенения годы (бл/г), когда снеговая линия (граница питания) ледника была ниже средней многолетней, и на долю области питания приходилась большая часть площади ледника. Во все остальные годы указанного периода преобладал отрицательный баланс неблагоприятные для оледенения годы (нбл/г) с максимально высоким положением границы питания ледника.

Особенно чувствительны ледники к колебаниям температуры воздуха и осадкам, т.е. параметрам, определяющим их внешний массоэнергообмен. При анализе метеорологических исследований использовались среднемесячные значения температуры воздуха, суммы осадков за месяц, которые определяли сотрудники стационара под руководством академика И.В. Северского. Данные по удельным величинам составляющих баланса массы ледника Туйыксу в водном эквиваленте, продолжительность годового, холодного и теплого периодов были рассчитаны и предоставлены К.Г. Макаревичем. В процессе обработки полученных материалов был выявлен фазовый состав осадков за исследуемый период, при различных элементарных циркуляционных механизмах (ЭЦМ), а также при каких типах циркуляции преобладают твердые осадки, (так как твердые осадки являются одним из главных факторов оледенения) и их число случаев (в сутках) за теплый период. Были проанализированы два экстремальных года 2008 г., когда годовой баланс был минимальным и 2009 г., когда годовой баланс был максимально положительным за летний период. За эти годы было подсчитано число случаев (в сутках) с выпадением осадков за летний период.

В классической метеорологии для средних широт в гляциальной зоне холодный период продолжается с сентября по май, теплый период с июня по август, а балансовый год с сентября по август, что соответствует календарному году. Для оценки режима ледника взята другая длительность указанных периодов. Это связано с устойчивым переходом осенью средне-суточных температур от положительных к отрицательным и весной от отрицательных к положительным. В первом случае начинается очередной балан-

совый год и зимнее снегонакопление, во втором – абляция накопленного зимой снега и многолетнего льда на языке. Таким образом, продолжительность балансового года оказывается разной из года в год, что соответствует стратиграфической системе оценки баланса массы ледника (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность холодного, теплого и балансового года

| № | Год        |            |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
|   | 2006       | 2007       | 2008       | 2009       | 2010       |
| 1 | 18.09.2006 | 14.09.2006 | 23.09.2007 | 20.09.2008 | 31.08.2009 |
| 2 | 12.05.2006 | 12.04.2007 | 9.05.2008  | 31.05.2009 | 6.06.2010  |
| 3 | 236        | 240        | 228        | 253        | 279        |
| 4 | 14.09.2006 | 23.09.2007 | 20.09.2008 | 31.08.2009 | 2.10.2010  |
| 5 | 125        | 134        | 134        | 92         | 118        |
| 6 | 361        | 374        | 362        | 345        | 397        |

*Примечание:* 1 – начало балансового года, 2 – конец холодного (зимнего) периода, 3 – продолжительность холодного периода в сутках, 4 – конец теплого периода и балансового года, 5 – продолжительность теплого периода в сутках, 6 – продолжительность балансового года в сутках.

Из данных табл. 1 видно, что продолжительность холодного, теплого периодов и балансового года значительно меняются. Но, как рассматривалось в [5], для оледенения главным фактором является изменение температуры воздуха в теплый период (в основном в летние месяцы) и увеличение осадков в твердом виде [6]. Согласно датам табл. 1 были рассчитаны температура воздуха, суммы осадков, за второе пятилетие 21 века (2006...2010 гг.).

Самая низкая температура воздуха, (2006...2010 гг.) за теплый период была в 2009 г. (табл. 2) и это повлияло на другие удельные величины составляющих баланса массы ледника Туйыксу в водном эквиваленте. Это отразилось на годовом балансе, он положительный (табл. 3).

В 2010 г. баланс также положительный (табл. 3), несмотря на то, что температура воздуха за теплый период была выше, чем в 2009 г. (табл. 2) и по продолжительности больше (табл. 1), но осадков в 2010 г. выпало много (табл. 2). Выпадали они в основном в смешанном виде (табл. 4), большую долю составили твердые осадки, так как наблюдались они в утреннее, вечернее и ночное время, когда температура воздуха намного ниже среднесуточной.

Таблица 2

Метеорологические параметры гляциальной зоны Заилийского Алатау по данным станции Туйыксу

| Период   | Год            |                |                |                |                |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  | 2006           | 2007           | 2008           | 2009           | 2010           |
| <b>Сумма среднемесячных температур воздуха, °С</b> |                |                |                |                |                |
| годовой  | -1088,4 (-3,0) | -818,9 (-2,2)  | -1135,6 (-3,1) | -1113,0 (-3,2) | -1112,8 (-2,8) |
| холодный   | -1690,5 (-7,2) | -1497,2 (-6,2) | -1858,3 (-8,2) | -1525,7 (-6,0) | -1673,7 (-6,0) |
| теплый   | 602,1 (4,8)    | 678,3 (5,1)    | 722,7 (5,4)    | 412,7 (4,5)    | 560,9 (4,8)    |
| <b>Сумма атмосферных осадков, мм</b>               |                |                |                |                |                |
| годовой  | 925,4          | 1079,2         | 810,4          | 965,1          | 1343,5         |
| холодный   | 441,4          | 326,6          | 371,9          | 590,4          | 808,0          |
| теплый   | 484,0          | 752,6          | 438,5          | 374,7          | 535,5          |

*Примечание:* В скобках приведены средние суточные показатели.

Таблица 3

Удельные величины составляющих баланса массы ледника Туйыксу в водном эквиваленте

| Год     | Площадь ледника, км <sup>2</sup> | Зимний баланс, м | Летний баланс, м | Годовая аккумуляция, м | Годовая абляция, поступившая в сток, м | Годовой баланс массы ледника, м |
|---------|----------------------------------|------------------|------------------|------------------------|--|---------------------------------|
| 2006    | 2,513                            | 0,687            | -1,656           | 1,009                  | -1,978                                 | -0,969                          |
| 2007    | 2,472                            | 0,541            | -1,386           | 1,017                  | -1,922                                 | -0,845                          |
| 2008    | 2,451                            | 0,411            | -1,768           | 0,777                  | -2,135                                 | -1,357                          |
| 2009    | 2,451                            | 0,626            | -0,420           | 0,949                  | -0,743                                 | 0,206                           |
| 2010    | 2,446                            | 0,887            | -0,857           | 1,495                  | -1,463                                 | 0,032                           |
| Среднее | 2,466                            | 0,630            | -1,217           | 1,061                  | -1,648                                 | -0,587                          |

Как рассматривалось [6], на леднике Туйыксу в мае и сентябре преобладают твердые осадки, в летние месяцы – смешанные. Наибольшее количество жидких осадков наблюдается в августе. В 2010 году жидких осадков не было. На температуру воздуха и выпадение осадков большое влияние оказывают синоптические процессы.

#### Синоптические процессы

Для такого анализа использовалась типизация макроциркуляционных процессов, разработанная Б.Л. Дзердзеевским для Северного полушария [3, 4]. В отдельную группу им выделена меридиональная южная циркуляция (тип 13) – необычное состояние атмосферы с циклонической циркуляцией на полюсе, отсутствием блокирующих процессов на полушарии и тремя-четырьмя одновременными выходами южных циклонов в разных секторах полушария. Именно с этой группой с начала 1980-х годов (мак-

симум приходится на 1989 г.) и в настоящее время связано большинство метеорологических экстремумов, в том числе и в Арктическом бассейне, и в горных районах. Рост повторяемости южных циклонов, имеющих малые радиусы действия, большие скорости перемещения и резкие контрасты температур на фронтах вызывает увеличение амплитуды колебаний температуры воздуха и атмосферных осадков в разных регионах, в частности, в горных районах в тёплое время года [8].

При исследовании синоптических процессов использовались данные с сайта [http:// www.atmospheric-circulation.ru](http://www.atmospheric-circulation.ru). На их основе устанавливалась продолжительность выпадения осадков (сутки) при различных типах циркуляции. Наибольшее количество осадков на леднике Туйыксу, как отмечалось в работе [5], выпадало при ЭЦМ *13л* в основном в летний период. В случае ЭЦМ *13л* полярное вторжение отсутствует, отмечаются обширная депрессия над Арктическим бассейном и циклоническая деятельность на континентах [4]. В 20 в. продолжительность числа суток с ЭЦМ *13л* возрастала. Правда, в конце столетия число суток с выпадением осадков при ЭЦМ *13л* на леднике Туйыксу стало уменьшаться, но влияние данного типа циркуляции еще велико [5] (табл. 4). Согласно данным исследования [5, 7], наибольшее количество осадков на леднике Туйыксу также выпадало при ЭЦМ *13л*. В связи с уменьшением числа суток ЭЦМ *13л* стали увеличиваться продолжительность других ЭЦМ, в частности типа *12* [6]. В 2009 г осадки в основном выпадали при типе циркуляции *12л*, происходило понижение температуры воздуха за теплый период (табл. 2), баланс массы оказался положительный (табл. 3), в 2010 г. наибольшее количество осадков выпало при ЭЦМ *13л* (табл. 4). Температура воздуха обычно при выпадении осадков понижается, что благоприятно для оледенения. Из данных табл. 4 видно, что большее количество осадков выпадало при ЭЦМ *13л*, *12бл* и *12вл* (три блокирующих процесса на полушарии, один из которых развивается над Западной Сибирью). При ЭЦМ *12бл* и *12вл* средиземноморские циклоны выходят на Казахстан. Рост суммарной продолжительности ЭЦМ *12-го* и чередование их с ЭЦМ *13-го* типа создали наилучшие условия для обострения атмосферных фронтов, формирования обильных осадков и резких контрастов температуры воздуха [8].

Таблица 4

Сумма осадков за теплый период при различных ЭЦМ на леднике Туйксу, 2006...2010 гг.

| ЭЦМ   | 2006           |                  |               | 2007           |                  |               | 2008           |                  |               | 2009           |                  |               | 2010           |                  |               |
|-------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|
|       | Твёрдые осадки | Смешанные осадки | Жидкие осадки | Твёрдые осадки | Смешанные осадки | Жидкие осадки | Твёрдые осадки | Смешанные осадки | Жидкие осадки | Твёрдые осадки | Смешанные осадки | Жидкие осадки | Твёрдые осадки | Смешанные осадки | Жидкие осадки |
| 2     | -              | -                | 18,4          | 37,2           | 18,4             | 1,8           | -              | 30,3             | 1,7           | 3,5            | -                | 23,3          | -              | -                | -             |
| 3     | -              | 21,0             | 84,3          | -              | 84,3             | 0,4           | -              | 26,8             | -             | -              | 4,3              | -             | -              | -                | -             |
| 4     | 8,5            | 19,3             | 4,2           | 12,7           | 4,2              | -             | 43,3           | -                | -             | -              | -                | -             | -              | 18,7             | -             |
| 6     | 21,6           | 81,2             | -             | 15,2           | -                | 41,5          | 5,0            | -                | -             | -              | -                | -             | 0,4            | 7,5              | -             |
| 7л    | -              | 17,2             | 19,1          | 23,9           | 19,1             | 20,2          | -              | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             |
| 8а    | -              | -                | -             | -              | -                | -             | 7,6            | -                | -             | -              | 9,4              | -             | 4,4            | -                | -             |
| 8б    | -              | 32,2             | 19,8          | -              | 19,8             | -             | -              | -                | -             | 4,9            | -                | -             | -              | -                | -             |
| 8в    | -              | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | 8,8           |
| 8г    | -              | -                | -             | 9,4            | -                | -             | -              | 1,9              | -             | -              | -                | 5,9           | -              | -                | -             |
| 8з    | -              | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             | 6,8            | -                | -             | -              | -                | -             |
| 9     | 1,2            | 24,3             | 166,9         | 53,7           | 166,9            | -             | 1,2            | 52,2             | 10,6          | -              | 30,3             | -             | 3,8            | 126,8            | -             |
| 10    | 4,0            | 69,1             | 0,8           | -              | 0,8              | -             | 7,8            | 67,5             | -             | -              | 10,0             | 1,2           | -              | -                | -             |
| 12а   | -              | 34,3             | 15,2          | 38,0           | 15,2             | -             | -              | 37,4             | -             | 25,5           | 59,0             | 7,7           | 42,1           | 94,8             | -             |
| 12б   | -              | -                | -             | -              | -                | -             | 11,5           | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             |
| 12в   | 7,6            | 18,5             | 69,7          | 34,2           | 69,7             | -             | -              | 6,5              | -             | 63,6           | 84,1             | 20,8          | -              | 42,0             | -             |
| 13з   | -              | -                | -             | 8,7            | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             | -              | -                | -             |
| 13л   | 14,9           | 97,5             | 1,7           | 94,1           | 1,7              | 3,0           | 2,6            | 80,4             | 2,7           | 0,4            | 14,0             | -             | 0,9            | 185,5            | -             |
| Σ     | 57,8           | 414,6            | 11,6          | 327,1          | 400,1            | 25,4          | 64,6           | 358,9            | 15,0          | 104,7          | 211,1            | 58,9          | 51,6           | 483,9            | -             |
| Σ год | 484,0          | -                | -             | 752,6          | -                | -             | 438,5          | -                | -             | 374,7          | -                | -             | 535,5          | -                | -             |
| Σ%    | 11,9           | 85,7             | 2,4           | 43,5           | 53,1             | 3,4           | 14,8           | 81,8             | 3,4           | 27,9           | 56,3             | 15,8          | 9,6            | 90,4             | -             |

Как отмечалось в работе [1], наиболее благоприятные условия в отношении осадков для Казахстана складываются при меридиональном типе Е, когда осадки выпадают в основном в твёрдом виде и при этом понижается температура воздуха. На леднике Туйксу наибольшее количе-

ство осадков в твердом виде наблюдалось при типе Е [7]. В эпоху циркуляции типа Е создаются условия для стационарирования или слабого наступания ледников на Алтае и в Юго-Восточном Казахстане [2].

Были проанализированы 2 года с использованием типизации М.Х. Байдала при различных ЭЦМ: 2008 г., когда годовой баланс был резко отрицательный – 1,357 и 2009 г., когда годовой баланс был максимально положительный 0,206 (табл. 3). Данные по типизации М.Х. Байдала для Казахстана были предоставлены отделом прогнозов погоды РГП «Казгидромет». Число случаев с выпадением осадков при типе Е в 2009 г. было больше. В августе 2-е суток с осадками было при ЭЦМ 8зз (табл. 5). При этом типе циркуляции их выпало мало, но резко понизилась температура воздуха, что благоприятно для оледенения. Такой тип циркуляции в летнее время встречается редко.

Таблица 5

Число случаев (сутки) выпадения осадков в летний период на леднике Туйыксу при различных синоптических процессах (2008...2009 гг.).

| ЭЦМ                             | 2008 год |       |       | 2009 год |       |       |
|---------------------------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
|                                 | Тип III  | тип E | тип C | тип III  | тип E | тип C |
| 2                               | 2        | -     | 1     | 4        | -     | 1     |
| 3                               | 4        | -     | -     | 2        | -     | -     |
| 4                               | -        | 4     | 2     | -        | -     | -     |
| 6                               | 2        | 2     | -     | -        | -     | -     |
| 8a                              | 2        | -     | -     | 1        | -     | 3     |
| 8б                              | -        | -     | -     | -        | 2     | -     |
| 8г1                             | -        | -     | 1     | -        | -     | 1     |
| 8гз                             | -        | -     | -     | 2        | -     | -     |
| 9                               | 7        | 2     | 1     | -        | 3     | -     |
| 10                              | 2        | 3     | 4     | 1        | 4     | -     |
| 12a                             | -        | -     | -     | 5        | 1     | 2     |
| 12л                             | -        | -     | -     | 10       | 8     | 3     |
| 13л                             | 8        | 2     | 2     | 1        | 2     | -     |
| Σ                               | 27       | 13    | 11    | 26       | 20    | 10    |
| Σ <sub>общая</sub>              | 51       |       |       | 56       |       |       |
| Σ <sub>осадков</sub> , мм       | 97,7     | 97,1  | 94,0  | 173,0    | 141,0 | 60,7  |
| Σ <sub>осадков общая</sub> , мм | 288,8    |       |       | 374,7    |       |       |

Теплый период в 2008 году был с 9 мая по 20 сентября, а в 2009 году только летние месяцы с июня по август (табл. 1). Осадков в 2008 г. за теплый период выпало 438,5 мм, в 2009 г. – 374,7 мм, но в твердом виде значительно больше (табл. 4). Анализ табл. 5 показал, что и в 2008 г. и в 2009 г. в летний период преобладал тип III. В 2009 г. при типе E

(число случаев 20) сумма осадков составила 141,0 мм, что было намного больше, чем в 2008 г. (число случаев 13, сумма осадков 97,1 мм.).

### Заключение

Несмотря на глобальное потепление, годовой баланс массы ледника бывает положительным, такими были 2009 и 2010 гг. Как рассматривалось ранее, главным фактором благоприятным для оледенения является понижение температуры воздуха за теплый период, особенно в летние месяцы. В 2009 г. температура была самая низкая за рассматриваемый период, годовой баланс составил 0,206, осадков за теплый период выпало 374,7 мм., наибольшее их количество выпало при ЭЦМ 12л. В 2010 г. температура воздуха повысилась, но осадков за аналогичный период выпало намного больше, чем в 2009 г. с преобладанием твердой фазы (535,5 мм.), в жидком виде осадки не наблюдались. Это благоприятно сказалось на оледенении, годовой баланс составил 0,032. Наибольшее количество осадков выпало при ЭЦМ 13л. Резко отрицательный годовой баланс (-1,357) за исследуемый период был в 2008 г., в 2009 г. годовой баланс был максимально положительный (0,206). Число случаев и сумма осадков в 2009 году были больше, чем в 2008 году.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М.Х. Колебания режима ледников в связи с макроциркуляционными эпохами. // МГИ. – 1964. – Вып. 10. – С. 112-120.
2. Байдал М.Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометиздат, 1961. – 211 с.
3. Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климат. – М: Гидрометеиздат, 1975. – 285 с.
4. Дзердзеевский Б.Л. Проблемы колебаний общей циркуляции атмосферы и климата // Воейков и современные проблемы климатологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – С. 109-122.
5. Ерисковская Л.А. Метеорологическая обусловленность колебания границы питания на леднике Туюксу // Гидрометеорология и экология. – 2005. – № 2. – С. 79-88.
6. Ерисковская Л.А. Метеорологическая характеристика режима ледника Туюксу // МГИ. – 2009. – Вып. 107. – С. 130-136.
7. Ерисковская Л.А. Фазовый состав атмосферных осадков на леднике Туюксу // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 4. – С. 108-117.



8. Кононова Н.К. Исследование многолетних колебаний циркуляции атмосферы Северного полушария и их применение в гляциологии // МГИ. – 2003. – Вып. 95. – С. 45-65.

Поступила 20.03.2013

Л.А. Ерисковская

### **АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖАУЫН ШАШЫН ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТҰЙЫҚСУ МҰЗДЫҒЫНЫҢ САЛМАҚ БАЛАНСЫНА ӘСЕРІ**

*Мақалада баланс жылдағы орташа айлық ауа температурасы және айлық жауын шашын сомасы, сонымен қатар Тұйықсу мұздығындағы гляциологиялық стационар мәліметтері бойынша 2006...2010 жылдар аралығындағы суық және жылы мерзімдер қарастырылған. Жауын – шашынның фазалық құрамына синоптикалық процестердің әсері зерттелген (Дзержевский типтеуі бойынша). 21 ғасырдың екінші бесжылдығындағы әр жылдың жылы мерзіміне жауын-шашын мөлшерінің пайызы анықталды. Циркуляция типтеріндегі (М.Х.Байдалу бойынша) жаз айларындағы тәуліктерде және қысылаң жылдардағы әртүрлі қарапайым циркуляция механизмдерінде жауын-шашын түсу жағдайларының саны есептелді.*