

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

INSTITUTE OF GEOGRAPHY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
GLACIOLOGICAL ASSOCIATION
PUBLISHING HOUSE «NAUKA»



МАТЕРИАЛЫ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ



105

МОСКВА 2008

УДК 551.2/.3
ББК 26.222.8
М34

Редакция «Материалов гляциологических исследований» извещает своих авторов и читателей, что решением ВАК наш журнал включен в перечень периодических изданий, публикации в которых рассматриваются ВАКом при защите кандидатских и докторских диссертаций.

Информация содержится на сайте vak.ed.gov.ru

Главный редактор академик В.М. КОТЛЯКОВ

Ответственный секретарь О.М. ШЛЯХОВА

Редакционная коллегия: д.г.н. **В.Р. Алексеев**, к.г.н. **С.М. Архипов**, д.г.н. **А.Н. Божинский**, к.г.н. **С.Р. Веркулич**, к.г.н. **Н.А. Володичева**, к.г.н. **А.Ф. Глазовский**, д.г.н. **В.Н. Голубев**, д.г.н. **А.Н. Диких**, к.г.н. **Н.Н. Дрейер**, д.г.н. **Ю.Ф. Книжников**, д.г.н. **В.Г. Коновалов**, д.г.н. **М.М. Корейша**, к.г.н. **В.Я. Липенков**, д.г.н. **Ю.Я. Мачерет**, к.г.н. **В.И. Николаев**, к.г.н. **Н.И. Осокин**, к.г.н. **О.В. Рототаева**, д.ф.-м.н. **А.Н. Саламатин**, чл.-корр. РАН **О.Н. Соломина**, академик НАН Республики Казахстан **И.В. Северский**, д.г.н. **И.Е. Фролов**, к.г.н. **Т.Е. Хромова**, к.г.н. **Д.Г. Цветков**

В подготовке выпуска к печати принимали участие:

А.В. Котляков, Л.В. Набокова, Т.В. Сковородина

Компьютерная верстка: П.Р. Накалов

Подписной индекс **18046**

ISBN 978-5-02-036957-3

© Институт географии РАН, 2008
© Редакционно-издательское оформление.
Издательство "Наука", 2008



ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

**МАТЕРИАЛЫ
ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

ВЫПУСК 105

**DATA
OF GLACIOLOGICAL
STUDIES**

PUBLICATION 105

Москва

Октябрь 2008

АННОТАЦИЯ

В статьях раздела «Тематические и региональные работы» обсуждаются следующие проблемы: интерпретация временного радиолокационного разреза ледника с использованием модели распространения сферических электромагнитных волн в трехмерном пространстве; реологических характеристик льда и их влияния на динамику Антарктического ледникового покрова; чувствительности хронологии антарктического керна к геотермическому потоку; математического моделирования ледникового гистерезиса; возможностей прогнозирования экстремальных условий в арктических морях; четвертичного оледенения в горах Сибири как результате взаимодействия гляциальных и мерзлотных процессов; динамики ледников Северо-Чуйского хребта на Центральном Алтае во второй половине голоцена; многостадийных ледниковых катастроф как особого типа стихийно-разрушительных процессов гляциального генезиса; терминологии и показателей лавинной деятельности.

В разделе «Научные сообщения» приводятся статьи о строении и гидротермической структуре ледникового плато Амундсена на Шпицбергене по данным наземного радиозондирования; реконструкции баланса массы ледника Джанкуат на Кавказе в XX в.; позднеплейстоценовом ледниково-подпрудном озере в низовьях р. Чебдар в Горном Алтае; исследованиях ползучести и скольжения в снежном покрове на горных склонах и макроциркуляционных условиях массового лавинообразования; промерзании минерализованного искусственного фирна под снежным покровом; использовании геоинформационных систем для исследования нивально-гляциальных явлений в Хибинах; анализе зависимости скорости метаморфизма снежной толщи от степени гидроморфности фации, а также лавинной опасности для сноубордистов и горнолыжников на о. Сахалин.

В этом выпуске мы начинаем публикацию текстов докладов, прочитанных на XIV гляциологическом симпозиуме. В статьях этого раздела рассказывается об уменьшении атмосферных осадков в Антарктиде за последние три десятилетия, характеристиках снежно-ледяного покрова на оз. Байкал по данным дистанционного спутникового зондирования, сравнении изменчивости ледовых явлений на оз. Байкал и в Арктике, шестидесятилетней цикличности в изменениях климата полярных регионов, движении льда в Антарктическом ледниковом покрове, влиянии континентальности климата на нивацию, криогляциальных системах хр. Кодар в Забайкалье в условиях изменения климата, потоках энергии в снежных лавинах, одномерной и двухмерной моделях динамики русла реки в нижних бьефах гидротехнических сооружений в условиях формирования ледовых заторов.

В разделе «Экспресс-информация» сообщается о подвиге ледника Географического Общества на Памире. Публикуется аннотированная библиография русскоязычной литературы по гляциологии за 2006 год, а также информации о XIV гляциологическом симпозиуме в Иркутске, конференции по программе Международного полярного года 2007-2008 в Сочи, открытой научной конференции SCAR и IASC в Санкт-Петербурге.

ANNOTATION

The "Papers" section discusses the following problems: radar interpretation for glacier section using 3-D spherical radio wave propagation model; rheological properties of ice with implication to the Antarctic ice sheet dynamics; sensitivity of antarctic ice core chronology to geothermal flux; mathematical modelling of glacial hysteresis; forecast of extreme ice conditions in the Arctic seas: Quaternary glaciation in Siberian mountains as a result of glacial/permafrost processes interaction: glacier dynamics in Northern Chuysky Range, Central Altai, in second half of Holocene; multistage glacial disasters as a special type of natural destructive processes of glacial genesis; terminology and indexes of avalanche activity.

"Short Papers" section includes the papers on: hydrothermal structure of Amundsenisen ice plateau on Svalbard from RES data; mass balance reconstruction for Djankuat Glacier in Caucasus for XX century; the Late Pleistocene glacier-dammed lake in lower reaches of Chebdar River in Altai Mts; study of creep and glide in snow cover on mountain slopes and macro-circulation conditions of widespread avalanching; freezing of artificiamineralized firn under the snow pack; application of GIS to snow/ice studies in Khibiny Mts; relation of rate of snow pack metamorphism on hydromorphic facies, and avalanche hazard for snowboarders and skiers on Sakhalin Island.

In this issue we start to publish the set of papers presented on XIV Glaciological Symposium. These papers concern with: decrease of precipitation in Antarctica in the last three decades; characteristics of snow/ice cover on Baykal Lake from remote sensing data; comparison of ice phenomena variability on Baykal Lake and the Arctic; 60-year cycle of climate change in polar regions; Antarctic ice sheet movement; influence of climate continentality on nivation; cryoglacial systems in Kodar Range, Transbaykal area, under the climate change; energy flux in snow avalanches; 1-D and 2-D models of river channel in afterbays of hydraulic structures in case of ice clogging development.

Express Information section reports on surge of Geographical Society Glacier in Pamirs.

The annotated bibliography of Russian glaciological literature, 2006, is presented. Information on XIV Glaciological symposium, Irkutsk, the conference on International Polar Year 2007-2008, Sochi, and the Open Scientific Conference SCAR/IASC, Saint Petersburg, is given.

Реконструкция баланса массы ледника Джанкуат в XX столетии на основе макроциркуляционной модели

В.М. Федоров

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

*Статья поступила в редакцию 24 октября 2007 г.
Представлена членом редколлегии О.В. Ротондаевой*

Рассчитаны балансовые показатели ледника Джанкуат и его высотных зон до начала инструментальных наблюдений (1900/01–1966/67 гг.)

Ледник Джанкуат расположен на северном макросклоне Главного Кавказского хребта в верховьях долины р. Адыл-Су, правого притока р. Баксан. С 1968 г. на этом леднике, считающемся репрезентативным для Центрального Кавказа, проводятся комплексные систематические наблюдения, основная цель которых заключается в оценке и прогнозе его эволюции в условиях климатических изменений [12, 17]. Мониторинг включает наблюдения за колебаниями пространственных и динамических характеристик ледника и измерения баланса его массы. Основу представленной реконструкции составили данные, опубликованные в сборниках «Fluctuations of Glaciers» с 1967/68 по 1996/97 г. [24–26].

Макроциркуляционные атмосферные процессы определяют особенности массо- и энергообмена ледников с атмосферой и, следовательно, это — ведущие факторы в изменениях их баланса массы [4, 9, 10, 19, 20, 22]. В настоящей работе динамика макроциркуляционных процессов представлена как последовательное и закономерное чередование сезонов циркуляции и элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) в типизации Б.Л. Дзержевского. ЭЦМ — типовой циркуляционный процесс, в период действия которого в Северном полушарии сохраняется географическое положение циклонических и антициклонических областей и направление их перемещения [1, 2, 16, 23]. Каждый ЭЦМ имеет динамическую схему, отражающую его положение в любом регионе внетропических широт. С термическим режимом и характером осадков, соответствующим отдельным ЭЦМ, связана изменчивость показателей баланса массы ледников [7, 12, 13]. Смена одного ЭЦМ другим фиксируется по ежедневным синоптическим картам, представленным в календаре ЭЦМ, который ведется в Институте географии РАН с 1899 г. по настоящее время [8]. Этот календарь также служил основой предлагаемой методики реконструкции баланса массы ледника.

Ранее модель такой реконструкции разработана автором для ледников Норвегии [19, 20] и была основана на определении пропорции вклада каждого типа ЭЦМ в отклонение годовых балансовых показателей ледника от их среднемноголетних значений.

Методика исследований

Для имеющихся за 1967/68–1996/97 гг. рядов инструментальных наблюдений по балансу массы ледников [24–26] рассчитывались отклонения от средних многолетних значений. В результате были получены знакопеременные функции, отражающие колебания балансовых показателей относительно нормы. Для рассчитанных рядов по данным календаря ЭЦМ [2, 7, 8] установлена продолжительность каждого типа ЭЦМ (в сутках) отдельно для лет с положительными и отрицательными отклонениями от среднего многолетнего значения (отдельно для аккумуляции и абляции). При этом начало и продолжительность периодов аккумуляции и абляции определены эмпирически путем получения оптимальных оценочных параметров (максимальные коэффициенты корреляции и минимальные значения расхождения рядов). Далее для каждого балансового показателя рассчитывалась среднегодовая продолжительность (в сутках) отдельных ЭЦМ для лет с положительными и отрицательными отклонениями. Для ледника в целом и его высотных зон затем были вычислены пропорции вклада каждого ЭЦМ в формирование аккумуляции и абляции. Полученные пропорции и есть «ключ» для реконструкции аккумуляции, абляции и баланса массы ледника. В табл. 1 приведены результаты таких расчетов для ледника Джанкуат (в целом).

Для верификации «ключей» по установленным пропорциям были реконструированы ряды балансовых показателей за период инструментальных наблюдений. Сначала по календарю определялась продолжительность каждого ЭЦМ за этот период, а затем с использованием «ключа» — вклад каждого ЭЦМ в отклонение от среднего многолетнего значения отдельно аккумуляции и абляции. В предположении, что суммарная по модулю (за анализируемый период) аномалия вкладов ЭЦМ соответствует такой же аномалии составляющих баланса массы, были рассчитаны коэффициенты пропорциональности между ними. Значения ежегодных отклонений ЭЦМ были умножены на эти коэффициенты и таким образом определены годовые отклонения балансовых характеристик от среднемноголетних показателей и далее сами величины аккумуляции, абляции и затем баланса

Таблица 1

Пропорция вклада ЭЦМ (доли единицы) в формирование отклонения показателя баланса от среднего многолетнего значения («ключ») для ледника Джанкуат

Тип ЭЦМ по Б.Л. Дзердзеевскому [2]	Вклад ЭЦМ в формирование аномалии			
	аккумуляции		абляции	
	>0	<0	>0	<0
1а	0,753	0,247	0,696	0,304
1б	0,432	0,568	0,229	0,771
2а	0,583	0,417	0,471	0,529
2б	0,285	0,715	0,667	0,333
2в	0,364	0,636	1,000	0,000
3	0,575	0,425	0,368	0,632
4а	0,276	0,724	0,444	0,556
4б	0,621	0,379	0,243	0,757
4в	0,636	0,364	0,646	0,354
5а	0,462	0,538	0,371	0,629
5б	0,000	1,000	0,350	0,650
5в	0,000	1,000	0,232	0,768
5г	0,364	0,636	0,629	0,371
6	0,323	0,677	0,276	0,724
7аэ	1,000	0,000	0,561	0,439
7ал	0,438	0,562	0,263	0,737
7бэ	0,000	0,000	0,482	0,518
7бл	0,492	0,508	0,276	0,724
8а	0,581	0,419	0,588	0,412
8бэ	1,000	0,000	0,519	0,481
8бл	0,533	0,467	0,764	0,236
8вэ	0,238	0,762	0,458	0,542
8вл	0,418	0,582	0,160	0,840
8гэ	1,000	0,000	0,460	0,540
8гл	0,620	0,380	0,160	0,840
9а	0,578	0,422	0,454	0,546
9б	0,384	0,616	0,331	0,669
10а	0,420	0,580	0,303	0,697
10б	0,558	0,442	0,583	0,417
11а	0,533	0,467	0,499	0,501
11б	1,000	0,000	0,598	0,402
11в	0,432	0,568	0,628	0,372
11г	0,937	0,063	0,619	0,381
12а	0,483	0,517	0,498	0,502
12бэ	0,774	0,226	0,585	0,415
12бл	0,610	0,390	0,347	0,653
12вэ	1,000	0,000	0,500	0,500
12вл	0,428	0,572	0,229	0,771
12г	0,456	0,544	0,411	0,589
13э	0,117	0,883	0,542	0,458
13л	0,471	0,529	0,611	0,389
ВТ	0,000	0,000	0,000	0,000

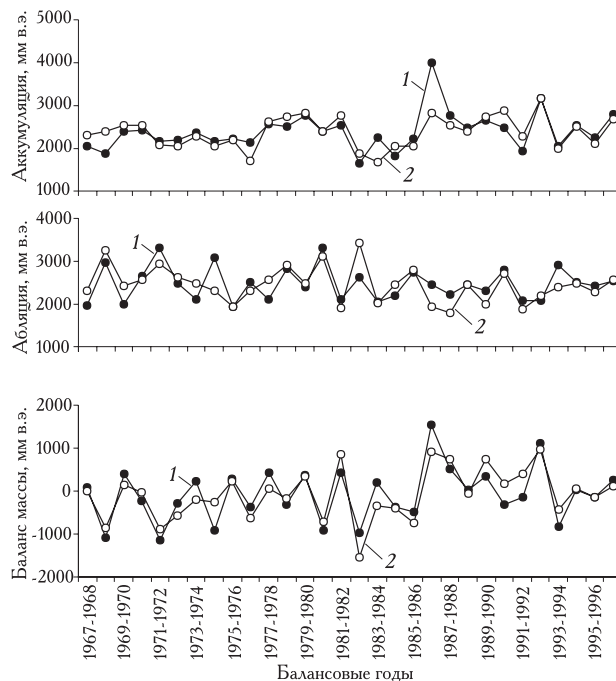


Рис. 1. Динамика балансовых показателей ледника Джанкуат с 1967/68 по 1995/96 г. 1 – инструментальные ряды, 2 – реконструированные ряды

Fig. 1. Dynamic of mass balance's index of Djankuat Glacier for 1967/68-1995/96. 1 – instrumental rows, 2 – reconstructed rows

массы — как для отдельных высотных зон, так и для ледника в целом (рис. 1). Полученные результаты представлены в табл. 2, где приведены коэффициенты корреляции между исходными и реконструированными рядами, и среднее расхождение между ними в миллиметрах водного эквивалента и в процентах от среднего значения аномалии для исходного ряда (аккумуляции и абляции). При этом оптимальные оценочные характеристики, например для всего ледника, были получены для средних многолетних периодов аккумуляции с 15 ноября по 1 мая и абляции с 1 июля по 15 сентября; по отдельным высотным зонам эти периоды отличаются. Как видно из данных таблицы, при высоких коэффициентах корреляции среднегодовые разности данных исходных и реконструированных рядов значительно меньше, чем среднегодовые отклонения аккумуляции или абляции от среднемноголетних показателей, что свидетельствует о существенном приближении реконструированных рядов к измеренным. Кроме того, эти расхождения в среднем сопоставимы с ошибками инструментальных измерений аккумуляции и абляции для ледника Джанкуат [12].

Таким образом, определенные в результате верификации достаточно высокая степень корреляционной связанности и приближения значений рядов стали основанием для реконструкции по данным календаря ЭЦМ (с использованием «ключей») балансовых показателей ледника Джанкуат в целом и по его высотным зонам с 1900/01 по 1966/67 г.

Оценочные характеристики связи инструментальных исходных и реконструированных рядов балансовых показателей для ледника Джанкуат в целом и его высотных зон

Ледник Джанкуат и его высотные зоны, м	Аккумуляция			Абляция			Баланс массы				
	Коеф-фициент корреляции	Среднее рас-хождение		Период	Коеф-фициент корреляции	Среднее рас-хождение		Период	Коеф-фициент корреляции	Среднее рас-хождение	
		мм в.э.	%			мм в.э.	%			мм в.э.	%
Ледник в целом	0,706	215	71,1	15.XI-1.V	0,650	253	82,1	1.VII-15.IX	0,841	280	56,6
2700-2800	0,781	200	64,8	10.X-10.V	0,741	347	65,7	15.VII-15.IX	0,815	361	59,0
2800-2900	0,748	209	71,2	1.X-10.V	0,755	277	67,6	1.VII-01.X	0,803	356	61,3
2900-3000	0,806	212	63,2	20.XI-15.IV	0,719	362	76,0	1.VII-30.IX	0,850	357	54,5
3000-3100	0,777	259	67,0	26.IX-21.VI	0,703	334	70,8	16.VIII-15.IX	0,780	430	68,3
3100-3200	0,772	243	66,1	25.IX-19.VI	0,736	267	72,2	23.VII-8.IX	0,774	355	68,2
3200-3300	0,762	223	66,5	16.XI-2.V	0,741	243	70,2	22.VII-15.IX	0,750	301	63,7
3300-3400	0,612	228	80,9	18.XI-4.IV	0,737	228	71,5	19.VIII-8.IX	0,703	320	72,2
3400-3500	0,706	289	74,3	18.XI-4.IV	0,727	184	70,6	19.VIII-9.IX	0,771	341	62,6
3500-3600	0,722	362	74,3	19.XI-17.IV	0,784	146	60,6	19.VIII-12.IX	0,759	376	63,8
>3600	0,750	265	79,6	2.XI-16.IV	0,807	146	57,0	18.VIII-9.IX	0,817	253	67,3

Вместе с тем модель имеет определенные ограничения.

1. При вычислении пропорции принимается осредненный для года за многолетний период вклад каждого ЭЦМ в отклонение анализируемого параметра (например, аккумуляции) от среднего многолетнего значения.

2. Интервал продолжительности периодов аккумуляции и абляции принят по модели, имеющей оптимальные оценочные критерии (коэффициент корреляции, степень приближения реконструированного и инструментального рядов), что, вероятно, соответствует средней многолетней продолжительности этих периодов.

3. Принимается, что пропорция вклада каждого типа ЭЦМ в отклонение аккумуляции и абляции от среднего многолетнего значения на протяжении периода реконструкции не менялась.

4. Считается, что отклонения от среднего многолетнего значения балансовых показателей определяются полностью циркуляционными факторами и на основе линейной (пропорциональной) зависимости.

5. На тестируемом участке должны встречаться все типы ЭЦМ, иначе могут появиться «белые пятна», искажающие результаты реконструкции.

Результаты и их обсуждение

Реконструированные значения аккумуляции, абляции и баланса массы следует считать предварительными. Очевидно, что в дальнейшем, по мере увеличения исходной информации, они могут быть откорректированы на основе пересчета «ключей».

Как показывает представленная на рис. 2 кумулятивная кривая баланса массы ледника Джанкуат за

1900/01-1996/97 гг., на протяжении прошлого столетия его масса уменьшалась. Суммарная за этот период аккумуляция (в м в.э.) составила 223,1, абляция — 244,6, т.е. дефицит массы равен 21,5. В среднем ежегодно ледник терял 222 мм в.э. На фоне общей тенденции сокращения отмечаются периоды квазистационарного режима ледника (1913/14-1923/24, 1931/32-1937/38, 1958/59-1967/68, 1990/91-1995/96 гг.), один непродолжительный период увеличения массы (1986/87-1989/90 гг.) и собственно периоды ее уменьшения (1990/01-1912/13, 1924/25-1930/31, 1938/39-1957/58, 1968/69-1985/86 гг.). В периоды квазистационарного развития ледника среднегодовые значения его балансовых показателей таковы (мм в.э.): аккумуляция 2390, абляция -2440, баланс массы

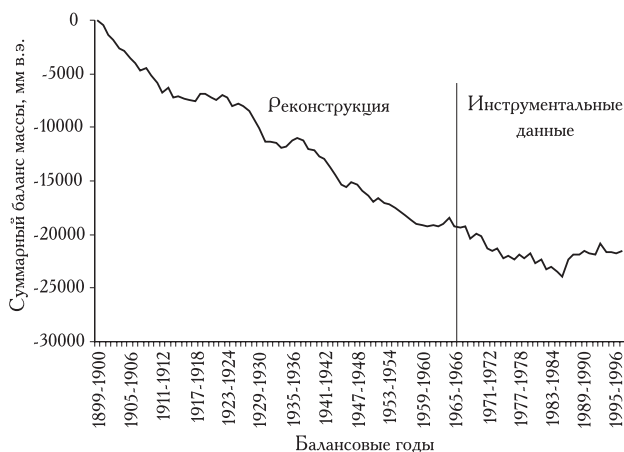


Рис. 2. Кумулятивная кривая баланса массы ледника Джанкуат с 1900/91 по 1995/96 г.

Fig. 2. Cumulative curve of mass balance of Djankuat Glacier for 1900/01-1995/96

50, в периоды увеличения массы 2980, –2370 и 610, соответственно, и для периодов ее сокращения соответственно 2170, –2590 и –430 мм в.э. Таким образом, различия между балансовыми показателями в периоды увеличения и сокращения массы ледника в среднем составляют для аккумуляции 810, абляции 220 и баланса массы 1040 мм в.э. Следовательно соотношение этих процессов в многолетней динамике баланса массы ледника Джанкуат в XX столетии составляет приблизительно 4:1.

Далее на основе результатов реконструкции была исследована динамика баланса массы ледника по высотным зонам: построены графики распределения в них среднегодовых значений балансовых показателей ледника для трех выделенных режимов изменения его массы (рис. 3).

Для распределения аккумуляции по высоте характерно закономерное увеличение ее абсолютных среднегодовых значений от нижних уровней к верхним для всех периодов изменения массы ледника (рис. 3 а), за исключением самой верхней зоны — более 3600 м. Это в целом согласуется с распределением годовых сумм осадков по высоте, установленным для северного склона Центрального Кавказа [21]. В периоды квазистационарного развития ледника или сокращения его массы среднегодовые значения аккумуляции в двух нижних высотных зонах (2700–2900 м) и самой верхней практически одинаковы. Для каждой высотной зоны разность в аккумуляции в периоды увеличения и сокращения массы в среднем составляет 725 мм в.э. (осреднение по всему высотному диапазону). Максимальные отклонения от среднего отмечаются для высотных зон 3400–3500 м (в среднем всего 290 мм в.э.) и более 3600 м (в среднем на 1130 мм в.э.).

Абляция, как следует из графиков (см. рис. 3, б), в периоды сокращения и увеличения массы ледника несколько различается только в нижних высотных зонах (с отрицательным балансом массы). Выше 3100–3200 м различия лежат в пределах погрешностей измерений и расчетов. В целом абляция имеет закономерную высотную структуру, практически не меняющуюся (за исключением нижних горизонтов) при различных режимах развития ледника. Иными словами, динамика баланса массы ледника определяется в зонах с положительными его значениями только процессами аккумуляции, а в зонах с отрицательным балансом отмечается некоторое влияние абляции.

Для распределения абляции по высоте характерны приблизительно одинаковые ее среднегодовые значения (особенно в периоды квазистационарного развития) в двух самых нижних зонах (2700–2900 м) и закономерное уменьшение с высотой (в среднем на 480 мм в.э. в каждой зоне), как и в других горных системах. Проявление этой закономерности в результатах, полученных на основе макроциркуляционной модели, подтверждает состоятельность последней.

Для ледника Джанкуат зависимость абляции B_a (отнесенной к его площади S) от высоты H , получен-

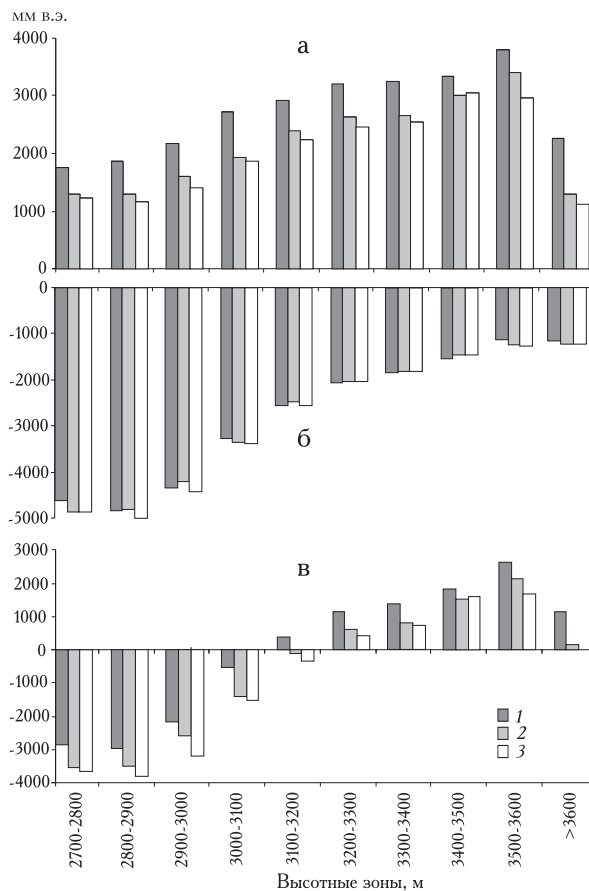


Рис. 3. Высотно-зональная структура балансовых показателей (а – аккумуляция, б – абляция, в – баланс массы) при увеличении массы (1), стационаровании (2) и сокращении (3) массы ледника

Fig. 3. Altitude-zonal structure of mass balance's indices (а – accumulation, б – ablation, в – mass balance) by mass increase (1), permanency (2) and mass balance reducing (3)

ная по реконструированным и инструментальным данным, имеет вид:

$$B_a/S = e^{(23,725 - 0,005H)}$$

Распределение аккумуляции и абляции определяет и высотную структуру баланса массы (см. рис. 3, в). В четырех нижних зонах (2700–3100 м) разница в его величине составляет 915 мм в.э. при изменении режима ледника от увеличения массы к ее сокращению. В зоне 3100–3200 м баланс массы при первом режиме в целом становится положительным, а при втором – отрицательным, т.е. знак баланса в этом случае показывает тенденцию в его динамике для всего ледника. Еще один индикатор тенденции развития ледника — значение баланса массы в высотной зоне более 3600 м. При стационарном режиме его среднегодовая величина в этой зоне составляет 150 мм в.э., при увеличении массы ледника она возрастает до 1145 мм в.э. и при сокращении падает до –35 мм. Таким образом, изменение знака баланса массы ледника в этой высотной зоне соответствует изменению его режима.

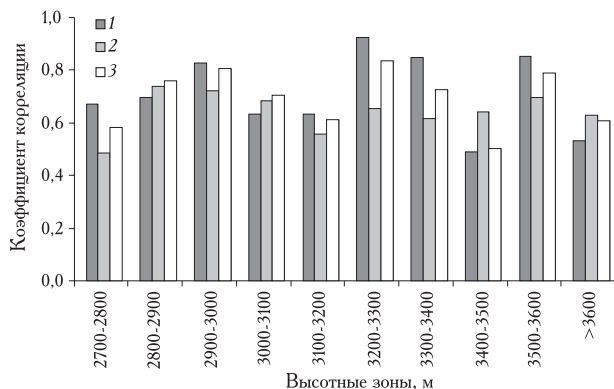


Рис. 4. Корреляционная связь балансовых показателей ледника Джанкуат в целом и его высотных зон: 1 — аккумуляция, 2 — абляция, 3 — баланс массы

Fig. 4. Correlation of mass balance's indices of Djankuat Glacier and its altitude zones: 1 — accumulation, 2 — ablation, 3 — mass balance

На основе анализа результатов реконструкции были определены репрезентативные для ледника высотные зоны по отдельным балансовым показателям. С этой целью были рассчитаны коэффициенты корреляции между ними в отдельных высотных зонах и по леднику в целом (рис. 4). Оказалось, что для аккумуляции наиболее репрезентативны зоны от 3200 до 3600 м, а для абляции — 2800-3000 м. Таким образом, для аккумуляции самыми показательными являются верхние, а для абляции — нижние зоны ледника. Репрезентативность баланса массы находится в более широком диапазоне: 2800-2900, 2900-3000, 3000-3100, 3200-3300, 3300-3400 и 3500-3600 м. Эти результаты можно использовать для рационального выбора точек по изучению балансовых составляющих и оптимизации мониторинга на леднике.

Ранее реконструкция баланса массы ледника Джанкуат была выполнена М.Б. Дюргеровым и В.В. Поповниным [3] на основе инструментальных измерений его составляющих за 1967/68-1976/77 гг. и рядов наблюдений метеостанций Пятигорск с 1871 г. и Терскол с 1963 г. и с помощью модифицированной схема расчета, предложенной ранее А.Н. Кренке и В.Г. Ходаковым [11]. Аккумуляция рассчитывалась по сумме осадков с сентября по май, а абляция — по средней температуре за июль-август. В расчетах использованы уравнения, отражающие линейный характер двухступенчатой связи Пятигорск — Терскол — ледник Джанкуат. В результате были реконструированы ряды аккумуляции, абляции и баланса массы с 1871/72 по 1966/67 г., а колебания показателей сопоставлены с циркуляционными эпохами по А.А. Гирсу.

Основной недостаток этой схемы реконструкции — небольшая продолжительность исходного ряда данных (1967/68-1976/77 гг.), который составляет менее половины средней продолжительности циркуляционной эпохи. К настоящему времени период наблюдений на леднике увеличился более чем втрое, что предоставляет возможности для корректировки

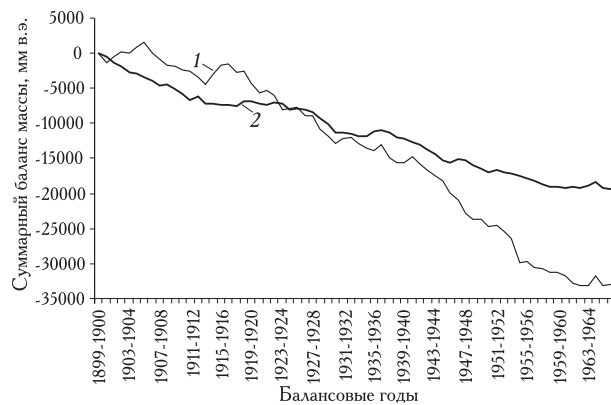


Рис. 5. Кумулятивные кривые баланса массы ледника Джанкуат: 1 — по реконструкции М.Б. Дюргерова и В.В. Поповнина [3], 2 — по макроциркуляционной модели

Fig. 5. Cumulative curves of mass balance of Djankuat Glacier: 1 — according to reconstruction of Dyurgerov and Popovnin (1981), 2 — according to macrocirculation model

такой реконструкции. Это особенно актуально, так как ее результаты использованы для разработки прогностических схем [15]. Так или иначе, данные автора и реконструкции М.Б. Дюргерова и В.В. Поповнина заметно различаются (рис. 5).

Очевидно, что состоятельность модели определяют путем сопоставления полученных результатов с независимыми материалами. Приведем некоторые из них. В.И. Турманина [18], исследуя эволюцию ледника Джанкуат фитоиндикационными методами, установила его наступание в 1912 г. По результатам реконструкции период с 1900/01 по 1912/13 г. в целом характеризуется сокращением баланса массы ледника. Однако в 1912/13 г. отмечаются его положительные значения (460 мм в.э.), с 1913/14 по 1923/24 г. ледник находился в квазистационарном состоянии, а с 1924/25 по 1930/31 г. его масса сокращалась. При этом в 1930/31 г. отмечено самое низкое за прошлое столетие значение баланса массы (-1230 мм в.э.), что согласуется с образованием конечно-моренного вала, известного как «морена 30-х годов» [5, 6, 12, 14, 18]. Анализируя геодезическое положение реперов и морфологию моренных валов, Е.А. Золотарев приходит к выводу о продолжительном стационаровании ледника в 1910-1920-х годах, в результате чего и сформировалась упомянутая морена. По заключению Е.А. Золотарева, сокращение ледника приходится на 1880-1910 гг., а в 1910-1920-е годы баланс его массы должен был приблизиться к нулевому значению, соответствующему стационарному состоянию. Эти данные согласуются с результатами нашей реконструкции: так, с начала столетия происходит сокращение массы ледника (исключение 1912/13 г.), затем, до 1923/24 г. следует период его квазистационарного развития, а с 1924/25 г. снова начинается постепенное сокращение. Завершается этот период тремя годами (с 1928/29 по 1930/31 гг.) с суммарным отрицательным балансом, составляющим 2850 мм в.э. Такие же изменения баланса массы

характерны и для нижней, фронтальной зоны ледника (см. табл. 2). Вероятно, в это время произошло окончательное обособление конечно-моренного вала («морены 30-х годов»), сформировавшегося в предшествующий период стационарного развития (1913/14–1923/24 гг.).

Выводы

На основе типизации циркуляции атмосферы Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому разработана макроциркуляционная модель реконструкции динамики баланса массы ледников, которая была использована при исследованиях репрезентативного для Центрального Кавказа ледника Джанкуат, что позволило получить следующие результаты: 1) реконструированы количественные показатели баланса массы ледника в XX столетии, и выяснилось, что на протяжении 100 лет его масса сокращалась, а на этом фоне отмечены периоды квазистационарного состояния ледника и непродолжительный период увеличения массы; 2) в динамике баланса массы ведущая роль принадлежит аккумуляции, а соотношение вклада аккумуляции и абляции в изменения баланса массы составляет приблизительно 4:1; 3) абляция имеет характерную высотную структуру независимо от характера режима ледника; 4) определены репрезентативные для отдельных балансовых показателей ледника высотные зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии. Материалы метеоролог. исследований. М., «Наука», 1968, 240 с.
2. Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климат (избранные труды). М., «Наука», 1975, 288 с.
3. Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция баланса массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX в. — МГИ, вып. 40, 1980 (1981), с. 73-82.
4. Егорова Н.Д. Циркуляция атмосферы и режим малоалмаатинских ледников в 1957-1959 гг. — МГИ, вып. 9, 1964, с. 87-92.
5. Золотарев Е.А. О конечной «морене 30-х годов» и размерах ледника Джанкуат. — МГИ, вып. 87, 1999, с. 177-183.
6. Золотарев Е.А., Сейнова И.Б. Изменение ледников бассейна р. Баксан в последние столетия. — МГИ, вып. 53, 1985, с. 192-196.
7. Кононова Н.К. Исследования многолетних колебаний циркуляции атмосферы Северного полушария и их применение в гляциологии. — МГИ, вып. 95, 2003, с. 45-65.
8. Кононова Н.К. Колебания циркуляции атмосферы северного полушария в XX — начале XXI века. www.atmospheric-circulation.ru.
9. Корякин В.С. Ледники Арктики. М., «Наука», 1988, 160 с.
10. Кренке А.Н. Районирование ледников Арктики в связи с циркуляцией атмосферы. — МГИ, вып. 8, 1963, с. 109-113.

11. Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха. — МГИ, вып. 12, 1966, с. 153-163.
12. Ледник Джанкуат. Л., ГИМИЗ, 1978, 184 с.
13. Маркин В.А. Элементарные циркуляционные механизмы и внешний массообмен на поверхности ледников. — МГИ, вып. 20, 1972, с. 116-124.
14. Орешникова Е.И. Ледники эльбрусского района по исследованиям 1932—1933 гг. — Тр. ледниковых экспедиций, вып. 3. Кавказ. М., 1936, с. 239-297.
15. Поповнин В.В. О прогнозе эволюции ледника Джанкуат. — МГИ, вып. 76, 1993, с. 25-36.
16. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Динамика атмосферных процессов северного полушария в XX столетии. Материалы метеоролог. исследований (циркуляция атмосферы), № 9. М., «Наука», 1984, 142 с.
17. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. М., «Научный мир», 2001, 204 с.
18. Турманина В.И. Исследование эволюции ледника Джанкуат фитоиндикационными методами. — МГИ, вып. 18, 1971, с. 106-109.
19. Федоров В.М. Макроциркуляционная модель реконструкции динамики баланса массы ледников Норвегии в XX столетии. — МГИ, вып. 100, 2006, с. 73-79.
20. Федоров В.М. Реконструкция динамики баланса массы субарктических ледников в XX столетии (на примере ледника Энгабреен). — Изв. РАН, сер. геогр., 2007, № 3, с. 18-26.
21. Ходос Э.Н. Расчет бюджета массы долинных ледников Кавказа. — МГИ, вып. 11, 1965, с. 159-166.
22. Ходос Э.Н. К вопросу о влиянии различных условий циркуляции атмосферы на колебания ледников Большого Кавказа. — МГИ, вып. 12, 1966, с. 164-170.
23. Циркуляционные механизмы современных колебаний климата. М., «Наука», 1987, 192 с.
24. Fluctuations of Glaciers (1959-1965), v. I-V. Paris, UNESCO, 1967-1988.
25. Fluctuations of Glaciers, v. VI, 1985-1990. IAHS-UNEP-UNESCO. Zürich, 1993, 322 p.
26. Fluctuations of Glaciers, v. VII, 1990-1995. IAHS (ICSU)-UNEP-UNESCO. Zürich, 1998, 296 p.

SUMMARY

Macrocirculation model for the reconstruction of the mass balance of Djankuat Glacier and its altitude zones is proposed. The model is based on the proportional correlations of average annual durations of ECM (after B. Dzerdzeevsky) for the years with negative and positive mass balance's indexes. The application of the model allowed reconstructing numerical mass balance's indexes of Djankuat Glacier for XX century. It was determined that the mass of the glacier had been reducing during the last century. The periods of quasistationary developing and a short period of the mass increasing are marked against a general reducing background. Accumulation is the important part in the dynamic of mass balance; the balance correlation between accumulation and ablation in the dynamic of mass balance is about 4:1.