

Л. С. ГОВОРУХА

БАЛАНС ВНЕШНЕГО МАССООБМЕНА ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОЙ ЗЕМЛИ

(Представлено академиком С. В. Калесником 19 V 1969)

Одну из основных частей программы гляциологических исследований североземельской экспедиции в 1965 г. составили балансовые наблюдения. Они являлись дополнением и продолжением структурно-гляциологических исследований, проводившихся на Северной Земле в 1962—1963 гг. На основе полученных данных сделан первый подсчет баланса массы североземельских ледников.

Аккумуляция. Величины снегонакопления и чистой аккумуляции измерялись нами на Северной Земле четырежды: в весенние месяцы (апрель—май) 1962, 1963, 1965 и 1966 гг. Измерениями в шурфах и снегомерными съемками были охвачены все ледниковые купола на о-вах Комсомолец, Пионер, Октябрьской революции и Шмидта, а также наиболее крупные ледники на о. Большевик: Ленинградский, Семенова-Тянь-Шанского, Восточный, Кропоткина. Таким образом, измерениями оказалась охвачена, по существу, вся территория архипелага. Полученные данные показали, что величина аккумуляции на вершинах североземельских куполов уменьшается в пределах архипелага от 40,0—45,0 г/см² на севере до 15,0—19,0 г/см² на юге, т. е. примерно в два раза (1, 3).

Оценки среднееголетней аккумуляции проводились в шурфах и скважинах, пройденных на вершинах куполов, имеющих разную абсолютную высоту над уровнем моря. Тем самым были охарактеризованы условия снегонакопления в различных гляциологических зонах. В области абляции (вблизи границы питания) влагосодержание снежного покрова не превышает 16,0—20,0 г/см², тогда как на вершинах наиболее высоких куполов (Карпинского, Академии наук) достигает 46,0—50,0 г/см². Вертикальный градиент аккумуляции составляет около 0,35 мм/м.

По данным снегомерных съемок, среднееголетнее годовое количество твердых осадков, выпадающих на уровне моря в центральной части архипелага, оценивается равным 90 мм; в диапазоне высот до 400 м (в пределах области абляции) сезонное снегонакопление не превышает 140—160 мм в водном эквиваленте, однако по мере увеличения высоты оно растет со скоростью 0,35—0,40 мм/м и на высотах 750—950 м над у. м. достигает 460—500 мм (в слое воды). Из этого количества 15—20% составляют осадки, выпадающие в период с мая по август. Указанные величины сезонного снегонакопления наряду с шурфовочными данными приняты за исходные при построении осредненной кривой аккумуляции для различных гляциологических зон всего архипелага в целом (рис. 1). Исходя из полученных данных, приходную часть баланса льда североземель-

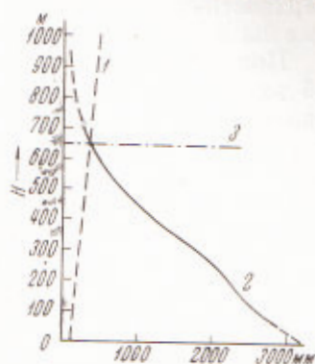


Рис. 1. Изменение аккумуляции (1) и абляции (2) по высоте (1965 г.). 3 — сезонная линия равновесия аккумуляции и абляции

ских куполов можно оценить в $3,5 \text{ км}^3/\text{год}$, если принять среднюю величину слоя аккумуляции для всего ледникового покрова в целом равной $20,0 \text{ г/см}^2$ (в слое воды) (определена путем планиметрирования).

Абляция. Оценка величины абляции — поверхностного таяния и испарения льда и айсбергового стока — сделана по реечным и инструментальным измерениям, проведенным на архипелаге в период абляции (июнь — август) 1965 г. Из графика (рис. 1) видно, что абляция в 1965 г. вблизи уровня моря составила 3550 мм . Средний градиент ее при этом равен примерно $3,5 \text{ мм/м}$. Он изменяется от 14 мм/м у уровня моря до $0,5 \text{ мм/м}$ на высотах более 800 м . Для области абляции средний градиент равен $5,0 \text{ мм/м}$. На основании полученных данных путем планиметрирования найдено, что средний слой абляции, взятый для всего архипелага в целом (в водном эквиваленте), составляет $67,5 \text{ г/см}^2$. Отсюда общая потеря льда в 1965 г. за счет его таяния и испарения составила $17\,470 \text{ км}^2 \times 0,000675 \text{ км} = 11,8 \text{ км}^3$.

Абляцию за счет откалывания айсбергов, т. е. так называемый айсберговый сток, мы можем оценить по тем данным о скоростях движения поверхностных слоев льда в выводных ледниках и куполах, которые впервые были получены на архипелаге летом 1965 г. (2).

Прямые измерения на куполах и ряд признаков, свидетельствующих об их активности (гофрировка, торошение и валом припая; трещинообразование и откол айсблоков), позволяют оценить скорость движения льда в краевых зонах этих ледников не менее чем 10 м/год . Эта цифра и принята при вычислении величины айсбергового стока на протяжении недифференцированных фронтов ледниковых щитов, достигающих моря. Протяжение таких ледниковых берегов, подсчитанное по крупномасштабным картам, составляет $146,5 \text{ км}$ (погонных). Высота их барьеров (включая подводную часть) принята равной 10 м , что является минимальной величиной для приближенного подсчета. Отсюда годовой сброс айсбергов составит: $146,5 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cong 0,015 \text{ км}^3$ ($0,0135 \text{ км}^3$ воды).

В отношении выводных ледников на основании прямых замеров приняты следующие исходные данные для подсчета: средняя годовая скорость движения 100 м ; толщина в краевой части 20 м . Последняя также является заниженной величиной. Протяжение фронтов выводных ледников и других активных барьеров составляет $191,5 \text{ км}$ (погонных). На основе этих данных годовой сброс айсбергов выводными ледниками равен $191,5 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,383 \text{ км}^3$ ($0,345 \text{ км}^3$ воды). Общий айсберговый сброс для всего архипелага в целом составляет $0,15 + 0,383 \cong 0,4 \text{ км}^3/\text{год}$ ($0,36 \text{ км}^3$ воды).

Баланс льда. Таким образом в нашем распоряжении есть все основные исходные данные для подсчета баланса массы ледникового покрова Северной Земли в 1965 г. Две статьи бюджета (аккумуляция и айсберговый сток) характеризуются среднеголетними данными, третья статья — абляция (поверхностное таяние + испарение) — аномальными величинами того и другого, как следствие вторжений теплых масс континентального полярного воздуха (2). Поэтому для расчета среднеголетнего годового бюджета величина абляции принята нами уменьшенной примерно в $1,5$ — 2 раза, т. е. в том же соотношении, каким характеризуется отношение сумм срочных положительных температур воздуха в период абляции 1965 г. к таковым за ряд предыдущих лет (в осредненном многолетнем выражении, по данным местных полярных станций). Для исчисления среднеголетнего годового баланса льда этим экстраполяционным путем средний слой абляции принят равным в пределах от $33,7$ до $45,0 \text{ г/см}^2$. Расчет годового баланса (табл. 1) сделан по этим двум крайним значениям, характеризующим среднеголетние условия абляции. Для условий аномально «холодного» года средний слой абляции принят равным $20,0$ — $27,0 \text{ г/см}^2$ (уменьшение в $2,5$ раза). Указанные оценки сделаны на основании пересчета величин абляции, измеренных в 1965 г., соответственно средним годовым суммам срочных положительных темпера-

тур воздуха с использованием температурного коэффициента таяния, равного 2,02 мм/град. Учитывая малую толщину фирнового слоя и сравнительно большие уклоны, облегчающие сток талых вод, экстраполиро в а н н ы й расчет среднего слоя абляции по температурному коэффициенту таяния можно считать вполне надежным, это следует из ряда работ А. Н. Кренке, В. Г. Ходакова, Г. Хойнкеса, В. И. Михалева, Э. Н. Ходос, посвященных изучению коррелятивных связей между суммами положительных температур и абляцией.

Помимо расчетов баланса льда по гляциологическим данным, мы имеем возможность проконтролировать их по материалам гидрологических наблюдений, проведенных Р. К. Сиско летом того же, 1965, года в бассейне р. Ушакова, на территории которого находятся изучавшиеся гляциологические объекты — купола Дежнева, Малютка, Вавилова и Альбанова. Величина речного ледникового стока (соответствующая слою абляции), осредненная для всего архипелага в целом и скорректированная пропорционально гипсометрическому положению поверхности ледников, оказалась равной 90,0 г/см². Полученная гидрологическая оценка слоя абляции 1965 г. превышает итог подсчета по гляциологическим данным на 90,0 — 67,5 = 22,5 г/см². Это расхождение конечных ре-

Т а б л и ц а 1

Соотношения составляющих приходной и расходной частей в годовом балансе внешнего массообмена ледникового покрова Северной Земли

Вид подсчета	Аккумуляция		Абляция				Сальдо		Относит. изменение массы ледников
	ср. слой, мм	общ. объем, км ³	таяние (сток) + испарение		айсберговый сток		ср. слой, мм	общ. объем, км ³	
			ср. слой, мм	общ. объем, км ³	ср. слой, мм	общ. объем, км ³			
1965 г.									
Среднеголетние условия									
I	200	3,5	675	11,8	20,6	0,36	-495	-8,66	0,0017
II	200	3,5	450	7,85	20,6	0,36	-270	-4,71	0,0009
III	200	3,5	337	5,9	20,6	0,36	-158	-2,76	0,0005
Условия «холодного» года									
I	200	3,5	180	3,15	20,6	0,36	0	0	0
II	200	3,5	270	4,72	20,6	0,36	-90	-1,58	0,0003
III	300	5,25	180	3,15	20,6	0,36	+100	+1,75	0,0003
Гидрологические оценки условий 1965 г.									
I	200	3,5	900	15,7—17,0	20,6	0,36	-(720—800)	-(12,56—13,86)	~0,0025
II	200	3,5	685	12,0—12,54	20,6	0,36	-(507—540)	-(8,86—9,40)	~0,0018

зультатов объясняется тем, что в сток входят также летние жидкие осадки плюс объем стаявших в 1965 г. снежников-перелетков и лощинных ледников (без потерь талых ледниковых вод на испарение и инфильтрацию в грунт). Главным выводом, вытекающим из сопоставления этих двух оценок абляции (полученных столь различными методами), является подтверждение правильности осреднения гляциологических данных — средняя для архипелага величина слоя абляции, равная $67,56 \text{ г/см}^2$, во всяком случае не представляется завышенной. Хорошее совпадение гидрологических и гляциологических оценок абляции получается, если приближенный экстраполированный подсчет суммарного (для всего архипелага) объема стока и величины абляции провести по соотношению ледниковых и неледниковых территорий в бассейне р. Ушакова и архипелага в целом. Соответствующий объем стока в таком случае равен 12 км^3 . В слое стока это составит $68,5 \text{ г/см}^2$; таким образом, эта оценка почти совпадает с гляциологической. Некоторое несоответствие между интенсивностью оледенения бассейна р. Ушакова (51%) и архипелага в целом (47%) в данном расчете компенсируется гипсометрическим различием сравниваемых территорий. Само же промежуточное положение о. Октябрьской революции в архипелаге позволяет распространить полученные на нем гляциологические и гидрологические оценки стока и абляции на другие острова.

В табл. 1 сведены результаты подсчетов годового баланса вещества во внешнем массообмене ледникового покрова Северной Земли. Почти при всех вариантах ему свойственно отрицательное сальдо, характерное для современного гляциоклиматического режима архипелага (при сравнительно заниженном айсберговом стоке, удельный вес которого относительно невелик). Положительное сальдо в современных условиях также вероятно, однако в отдельные годы чаще возможна сбалансированность при условии повышенной (примерно в 1,5 раза) аккумуляции и уменьшенной (против средней величины) абляции. Полуторное увеличение аккумуляции в отдельные годы представляется вполне реальным, в частности, такие изменения в режиме аккумуляции отмечены Н. В. Давидович⁽⁴⁾ на Новой Земле. Для Северной Земли это подтверждается анализом изменчивости сезонного снегонакопления по снегомерным наблюдениям полярных станций. Колебания высотного положения границы питания на Северной Земле в этих случаях предполагаются в диапазоне от 200—300 до 650 м. Верхний предел характеризует аномальные условия абляции, отмеченные в центральной части архипелага в 1965 г., а нижний — условия «холодного» года. Промежуточное положение границы питания, являющееся средне-многолетним, устанавливается по балансовым кривым на уровне 400—450 м, что согласуется с прежними определениями ее высоты, установленными структурно-гляциологическим профилированием⁽¹⁾.

Балансовые данные хорошо согласуются с комплексом различных гляциогеоморфологических и структурно-гляциологических индикаторов, свидетельствующих об отступании ледников Северной Земли в современной климатической обстановке. По темпу деградации оледенение Северной Земли находится примерно в равных условиях с Новой Землей. Североземельские ледники теряют ежегодно в среднем 3—4,5 км³ льда, или около $20,0 \text{ г/см}^2$ в водном эквиваленте, со всей площади оледенения (от 0,0005 до 0,0009 долей по объему и толщине покрова). Этому количеству теряемой ледниками влаги соответствует повышение уровня Мирового океана примерно на 0,02 мм в год.

Арктический и Антарктический
научно-исследовательский институт
Ленинград

Поступило
14 V 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. С. Говоруха, ДАН, 163, № 5 (1965). ² Л. С. Говоруха, Материалы гляциол. иссл. (хроника, обсужд.), 12, М., 1966. ³ Л. С. Говоруха, Изв. Всесоюз. геогр. общ., 100, 1 (1968). ⁴ Н. В. Давидович, В сборн. Гляциологические исследования, 9, Изд. АН СССР, 1963.