

РЕЖИМ ЛЕДНИКОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ РАЙОНОВ КАМЧАТКИ

Проблему колебаний ледников в горных районах в основном связывают с изменчивостью климата. Более сложный характер реакция оледенения на внешние воздействия имеет в районах активного вулканизма. Впервые на Камчатке балансовые работы были проведены на леднике Корято летом 1971 г. Аккумуляция составила 380 г/см^2 абляция - 333 г/см^2 и баланс массы за 1970/71 балансовый год - 57 г/см^2 при расчетном значении внутреннего питания 10 г/см^2 . По метеорологическим данным станции Сторож был восстановлен баланс массы ледника за 1939-1971 гг. [2]. Изучение ледника Корято послужило примером аналогичных работ на других ледниках Камчатки: леднике Козельском на Авачинском вулкане, кратерных ледниках Мутновского вулкана и леднике Гречишкина в северной части Срединного хребта.

Баланс массы ледника Козельский

Основным источником питания ледника Козельский служат атмосферные осадки. Кроме того, в зимнее время через седловину, с которой спускается ледник, перевевается большое количество снега с северных склонов на южные. Наибольшей толщины и плотности снежный покров на леднике достигает в конце мая - начале июня [3].

Аккумуляция на леднике изучалась посредством снегосъемки по одному продольному и трем-пяти поперечным профилям с шурфованием в опорных точках в период максимальных снегозапасов (май- начало июня). Измеренные итоговые значения максимальных запасов за отдельные годы различаются на 116 г/см^2 (табл. 1), наибольшее снегонакопление было в зиму 1973/74 балансового года, а наименьшее - в зиму 1978/79 г. В зимы 1974/75, 1976/77, 1979/80 гг. аккумуляция была практически одинаковой, хотя ее расположение по леднику несколько отличается. Среднее значение зимнего баланса за 6 расчетных лет составило 356 г/см^2 .

Зимний режим снежного покрова сохраняется в среднем до начала мая в пределах высот 700-1 200 м и до середины июня - в области питания ледника. По наблюдениям в мае снежную толщу можно разделить на две части: нижнюю, которая характеризуется мелкозернистой структурой, плотной упаковкой кристаллов снега и небольшим количеством ледяных включений, и верхнюю, которая отличается среднезернистой и крупнозернистой структурой и большим количеством прослоев и линз льда. Очевидно, что нижняя часть снежной толщи откладывалась в холодный сезон, когда господствует метелевый перенос, а верхняя - в более теплый период с частыми оттепелями и проникновением талых вод на глубину до 1,5-2 м. Самая низкая температура, до -7°C , наблюдалась в это время на глубинах 5-6 м. Плотности снега и фирна вниз по разрезу увеличиваются от 450 до 690 г/м^3 , средняя плотность перед началом летнего сезона равна 550 г/м^3 .

Образующийся в снежной толще весенний лед морфологически выражен

Таблица 1

Измеренные значения составляющих баланса массы (г/см^2) и высоты фирновой границы (м) ледника Козельский на 1973-1980 гг.

Годы	Высота фирновой границы, м	Зимний баланс *	Летний баланс	Годовой баланс
1972/73	1350		328	
1973/74	1160	430	-266	164
1974/75	1210	380	-282	98
1975/76	1210	—	-265	-
1976/77	1280	387	-475	-88
1977/78	1330	348	-442	-94
1978/79	1400	314	-	-
1979/80	1430	379	-379	0

* В зимний баланс входит значение внутреннего питания, принятое равным 17 г/см^2 .

в виде тонких горизонтальных ледяных прослоек толщиной не более 1 см (ледяной флиш). Весеннее таяние идет, как правило, с перерывами, во время которых может выпадать свежий снег. В мае завершается промачивание снежной толщи, весь разрез принимает температуру, равную 0°C . Средняя плотность по разрезу возрастает с 420 г/м^3 в апреле до 620 г/м^3 в мае; в области аккумуляции ледника эти процессы завершаются к середине июля.

По данным измерений в шурфах при проведении снегосъемочных работ весной 1978 г. и по методике работы [2] рассчитано внутреннее питание для ледника. В фирновом бассейне ледника Козельский, кроме 5-8 м сезонного фирна, промерзает, по-видимому, еще не более 4-5 м. Крупнозернистость и высокая плотность фирна снижают его водоудерживающую способность примерно до 5%. Тогда при средней плотности 600 кг/м^3 и глубине промерзания фирна 4,5 м осенне-зимнее внутреннее питание равно $13,5 \text{ г/см}^2$. Именно такое значение было определено в шурфе в апреле 1979 г.

В начале сезона абляции температура слоя снежного покрова, который выйдет на дневную поверхность к концу этого сезона, равна -6°C и линейно растет до 0°C в точке, расположенной ниже на 5 м. Тогда значение весенне-летнего внутреннего питания составит $5,1 \text{ г/см}^2$, а годового внутреннего питания - $18,6 \text{ г/см}^2$. Средневзвешенное значение внутреннего питания по леднику равно 17 г/см^2 , что вдвое больше рассчитанного для ледника Корыто.

Вклад лавин в питание ледника Козельский невелик, хотя в отдельные годы отмечались крупные снежные лавины (до 100 тыс. м^3), сходившие с соммы Авачи и по заданному склону вулкана. Фоновые осадки в области питания составляют 2000-2500 мм, метелевое перераспределение увеличивает снегозапас до 3500-4500 мм. Таким образом, вклад атмосферных осадков в аккумуляцию составляет 55-60%, метелевого снега - 37-40% и лавинного питания - 3-5%. Фирновая граница проходит на высоте 1260-1400 м.

Основной расход происходит за счет поверхностной абляции. Она гораздо менее изменчива в пространстве, чем аккумуляция. Верх по леднику от границы питания таяние закономерно уменьшается; градиент таяния в 1977 г. был равен 45, а в 1978 г. - 40 г/см²/100 м. Измеренные значения таяния за сезон изменялись от 266 г/см² в 1974 г. до 475 г/см² в 1977 г.; в среднем за период наблюдений годовое таяние равно 352 г/см². На языке ледника таяние по мере снижения высоты замедляется из-за резкого увеличения загрязненности поверхности. Разница между измеренным и возможным значениями таяния достигает 1000-1300 м.

Для районов активного вулканизма необходимо рассчитывать подледниковую абляцию, так как тепловой поток здесь гораздо выше, чем в невулканических районах [7]. К сожалению, методика вычисления подледниковой абляции еще не разработана, и мы можем оценить ее очень приблизительно, в пределах 5-10% поверхностной абляции.

В ходе основных метеоэлементов в летнее время, оказывающих наибольшее влияние на абляцию, отмечаются следующие особенности: в отличие от других ледниковых районов доля рассеянной радиации в тепловом балансе гораздо больше и, как правило, превышает 50%, что связано со значительной облачностью - как общей, так и нижней; относительно низкие летние температуры воздуха способствуют уменьшению поверхностной абляции; турбулентный обмен значителен и оказывает такое же влияние, как и радиационный баланс (почти постоянно происходит конденсация, что служит дополнительным источником таяния; таяние идет долго и интенсивно, а его суммарный слой за период может достичь 8 м); летние циклоны уменьшают интенсивность абляции [6], а частые летние снегопады нередко задерживают поверхностную абляцию на 5-10 сут.

Поскольку для ледника Козельский есть данные по балансу массы за несколько лет, была выполнена его реконструкция за длительный период путем применения степенной функции с целью приведения осадков за октябрь-май и средней температуры по метеостанции Петропавловск к значениям аккумуляции и абляции на леднике. Получены следующие эмпирические формулы:

$$B_w = 33,88 X_w^{0,51}, \quad (1)$$

$$B_s = 6,35 \cdot 10^{-3} t_s^{4,5}, \quad (2)$$

где B_w и B_s - средние аккумуляции и абляция на леднике, X - сумма осадков на метеостанции Петропавловск за период с 1 октября по 31 мая, t_s - среднелетняя (июль-август) температура воздуха на той же метеостанции.

По этим формулам рассчитаны составляющие баланса массы ледника Козельский за 1890-1980 гг. (табл. 2). При вычислениях по формуле (1) средняя абсолютная погрешность ΔB_w составила 11 г/см², что сопоставимо с погрешностью определения суммарной аккумуляции в поле, а средняя относительная погрешность $\sigma B_w = 3,04\%$. При расчете абляции по формуле (2) $\Delta B_s = 8$ г/см², а $\sigma B_s = 3,71\%$, что показывает хорошую сопоставимость измеренных и расчетных значений.

Таблица 2

Расчетные величины составляющих баланса массы ледника
Козельский, г/см²

Балансовые годы	X_w	B_w	t_s	$-B_s=A$	$B =$ B_w+B_s	$B =$ $=b+g$	Десяти- летние ΣB
1	2	3	4	5	6	7	8
1890/91	67,5	290	12,3	510	-220	-203	
1891/92	61,6	277	11,5	377	-100	-83	
1892/93	50,7	251	12,0	456	-205	-188	
1893/94	96,0	347	11,6	392	-45	-28	
1894/95	96,7	349	11,0	308	+41	+58	
1895/96	105,5	365	12,6	568	-203	-186	
1896/97	228,6	541	11,4	362	+179	+196	
1897/98	65,7	286	13,0	654	-368	-351	
1898/99	115,4	382	10,8	284	+98	+115	
1899/1900	206,1	513	10,3	229	+284	+301	-369
1900/01	61,7	277	12,7	589	-312	-295	
1901/02	58,0	269	10,9	296	-27	-10	
1902/03	28,8	188	10,0	201	-13	+4	
1903/04	73,3	303	10,9	296	+7	+24	
1904/05	66,4	288	11,4	362	-74	-57	
1905/06	77,4	311	12,4	529	-218	-20	
1906/07	79,0	315	12,6	568	-253	-236	
1907/08	66,2	287	11,3	348	-61	-44	
1908/09	71,5	299	13,2	700	-401	-384	
1909/10	99,4	354	12,7	589	-235	-218	-1417
1910/11	83,0	323	10,8	284	+39	+56	
1911/12	137,7	418	10,0	201	+217	+234	
1912/13	100,8	356	10,3	229	+124	+144	
1913/14	74,3	305	11,0	308	-3	+14	
1914/15	57,5	268	11,5	377	-109	-92	
1915/16	103,1	360	12,0	456	-96	-79	
1916/17	49,6	248	11,9	439	-19	-174	
1917/18	142,8	425	9,7	175	+250	+267	
1918/19	92,9	342	10,5	250	+92	+109	
1919/20	50,5	250	12,7	589	-339	-322	+157
1920/21	66,8	289	12,5	548	-259	-242	
1921/22	44,1	234	10,7	272	-38	-21	
1922/23	83,9	324	10,1	210	+114	+131	
1923/24	78,3	313	10,4	240	+73	+90	
1924/25	60,8	275	12,6	568	-293	-276	
1925/26	89,3	335	11,4	362	-27	-10	
1926/27	70,0	296	12,3	510	-214	-197	
1927/28	118,8	387	12,8	610	-227	-210	
1928/29	76,1	309	10,9	296	+13	+30	

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
1929/30	54,4	260	10,7	272	-12	+5	-700
1930/31	70,5	297	10,7	272	+25	+42	
1931/32	63,5	281	10,6	261	+20	+37	
1932/33	99,7	354	11,6	392	-38	-21	
1933/34	124,8	397	11,5	377	+20	+37	
1934/35	82,7	322	11,7	407	-85	-68	
1935/36	61,6	276	12,8	610	-334	-317	
1936/37	102,3	359	11,1	321	+38	+55	
1937/38	120,0	389	12,9	632	-243	-226	
1938/39	70,9	298	11,8	423	-125	-108	
1939/40	83,7	324	12,1	473	-149	-132	-701
1940/41	89,1	334	10,7	272	+62	+79	
1941/42	69,8	295	11,2	334	-39	-22	
1942/43	146,7	431	13,0	654	-223	-206	
1943/44	73,8	304	13,0	654	-350	-333	
1944/45	84,2	325	11,1	321	+4	+21	
1945/46	57,6	268	12,1	473	-205	-188	
1946/47	62,0	278	10,7	272	+6	+23	
1947/48	47,3	242	12,2	491	-249	-232	
1948/49	36,4	212	11,4	362	-150	-133	
1949/50	54,1	259	12,1	473	-210	-193	-1184
1950/51	43,2	231	11,9	439	-208	-191	
1951/52	33,1	202	11,3	348	-146	-129	
1952/53	24,1	172	10,8	284	-112	-95	
1953/54	50,0	249	10,6	261	-12	+5	
1954/55	48,3	245	11,5	377	-132	-115	
1955/56	128,2	403	11,0	308	+95	+112	
1956/57	72,4	301	11,1	321	-20	-3	
1957/58	65,1	285	10,8	284	+1	+18	
1958/59	69,4	294	11,7	407	-113	-96	
1959/60	78,4	313	11,2	334	-21	-4	-498
1960/61	98,3	352	11,7	407	-55	-38	
1961/62	104,8	363	12,1	473	-110	-93	
1962/63	109,6	372	11,7	407	-35	-18	
1963/64	58,1	269	9,9	192	+77	+94	
1964/65	95,1	346	10,6	261	+85	+102	
1965/66	82,8	322	11,2	334	-12	+5	
1966/67	101,9	358	11,1	321	+37	+54	
1967/68	118,5	387	10,4	240	+147	+164	
1968/69	92,6	341	11,2	334	+7	+24	
1969/70	84,1	325	12,5	548	-223	-206	+88
1970/71	127,2	401	10,4	240	+161	+178	
1971/72	132,5	410	10,6	261	+149	+166	
1972/73	108,5	369	10,9	296	+73	+90	

1	2	3	4	5	6	7	8
1973/74	129,6	405	10,7	272	+133	+150	
1974/75	123,1	394	11,8	423	-29	-12	
1975/76	115,0	381	10,7	272	+109	+126	
1976/77	100,9	356	12,0	456	-100	-83	
1977/78	89,1	334	12,0	456	-122	-105	
1978/79	69,3	294	11,2	334	-44	-23	
1979/80	104,4	363	11,5	377	-14	+3	+490
Сумма	7667,7	28800	1029,8	34470	-5670	4134	
Среднее	85,2	320	11,4	383	-63	-46	

Годовые значения баланса массы и его составляющих испытывают значительные колебания от года к году, причем масштаб изменчивости баланса гораздо выше: коэффициент вариации ряда равен 3,23, тогда как для V и V он равен 0,20 и 0,33 соответственно. Преобладание абляции над аккумуляцией свойственно большему числу лет (52 из 90). Среднее значение положительного баланса (112 г/см^2) несколько меньше, чем среднее из отрицательных значений (146 г/см^2). Экстремальными годами за 90-летний период были 1899/90 г. (301 г/см^2) и 1908/09 г. (-384 г/см^2), последний - вследствие абсолютного максимума абляции (700 г/см^2). Среднее многолетнее значение баланса массы за 1891-1980 гг. равно -46 г/см^2 . До 1945 г. часто происходили извержения Авачинского вулкана, которые, несомненно, оказывали ощутимое влияние на режим ледника. По этой причине выполненный расчет более достоверен для периодов пониженной активности вулканов, аналогичной 1970-1980 гг.

Баланс массы кратерных Мутновских ледников

Вулкан Мутновский находится в 100 км к югу от Петропавловска и несет 6 ледников общей площадью $5,3 \text{ км}^2$. Кроме того, выше 600 м над уровнем моря, здесь широко распространены многолетние снежники размером до $0,3 \text{ км}^2$. С 1980 г. начаты регулярные балансовые наблюдения на кратерных ледниках Мутновском Северо-Восточном и Мутновском Юго-Западном [4].

Ледник Мутновский Северо-Восточный - самый крупный в этом районе. Его площадь равна $1,34 \text{ км}^2$ (по состоянию на 1979 г.), наибольшая длина по продольному профилю - 1700 м. Поверхность ледника неоднородна. По центру, в северо-западном направлении, прослеживается ложбина, по которой от термальной площадки поднимаются вверх по леднику пары и газы. Справа от ложбины находится активная часть ледника, а слева - совершенно иная, спокойная, со слабым уклоном поверхности. В верхней части области абляции, в юго-западном направлении тянется гряда ледяных блоков, перекрытых вулканогенно-моренным чехлом. Возможно, это продукты обрушения со стенок кратера (встречаются обломки до 10 м в поперечнике, транспортируемые ледником, но возможно, что вулканогенный материал был занесен сюда взры-

вом при образовании активной воронки вулкана. С высоты 1600 м начинается ледопадная часть ледника. Фронт языка наползает на две термальные площадки, где удерживается в стационарном положении современной активностью фумарол.

Ледник Мутновский Юго-Западный имеет меньшие размеры: площадь его равна 0,96 км, длина - 1500 м. Характер поверхности более спокойный, чем у Северо-Восточного ледника. Трещин мало, в основном они встречаются в области абляции. В самой высокой части ледника имеются очень своеобразные бергшруды. Они представляют собой западины глубиной до 30 м, оконтуренные с одной стороны стенкой кратера, а со стороны ледника - гребневидными надувами снега. Область абляции имеет два языка. Один стекает в юго-западный кратер, где до начала 60-х годов существовало теплое озеро объемом до 55000 м³, а в августе 1964 г. на его месте уже находился лед, рассеченный трещинами [8]. В последние годы на поверхности льда ежегодно образовывается маленькое озеро диаметром 20-30 м с чистой водой. Второй язык Юго-Западного ледника стекает к термальной площадке в северо-восточном кратере. В конце летнего сезона 1980 г. он почти полностью оставался под снегом.

Кратеры вулкана весьма благоприятны для накопления снега. Толщина снежного покрова в начале летнего сезона почти повсеместно превышает 500 см. Весенние снегомерные работы были проведены с 25 по 29 июня методом нормальной снегосъемки с проходкой шурфов в опорных точках. Промерные точки на профилях располагались через 50 м (рис.1).

Распределение снежного покрова на Юго-Западном леднике более равномерно, чем на Северо-Восточном. Снегозапасы по профилям распределяются следующим образом: профиль 1 - 2713 мм; 2 - 2820 мм; 3 - 2747 мм; 4 - 2900 мм; 5 - 2810 мм; 6 - 2630 мм; 7 - 2690 мм. Величина аккумуляции, рассчитанная по высотным зонам, для Северо-Восточного ледника составила +282 г/см², а для Юго-Западного - +277 г/см². Средняя плотность годовой снежной толщи, достигающей 5-6 м, равна 540 кг/м³.

Сезон абляции на ледниках в год наблюдений начался 20 июня, когда средние суточные температуры воздуха в районе фирновой границы ледников перешли через 0°С. Согласно кратковременным метеонаблюдениям, вертикальный температурный градиент составил 0,7°С на 100 м.

На его величине, по-видимому, сказывается значительная фумарольная деятельность вулкана, сильно ослабляющая приход прямой солнечной радиации к поверхности ледников.

По данным метеопоста Дачный по значениям указанного температурного градиента рассчитана продолжительность сезона абляции. Он длился с 20 июня по 15 сентября, т.е. 87 сут. Первый снегопад в районе вулкана Мутновский отмечен 11 августа, когда граница сезонного снега опустилась до 1100 м. Свежий снег продержался на ледниках до 18-19 августа. По данным измерений в шурфах, абляция за сезон составила 240-260 г/см². Градиент таяния равен 26 см/100 м превышения. Плотность молодого фирна к концу летнего сезона увеличилась до 650 кг/м³. Средняя абляция на Северо-Восточном, леднике составила - 254 г/см², а на Юго-Западном - 253 г/см². В итоге баланс массы кратерных ледников вулкана Мутновский в 1979/80 балансовом году был положительным и составил 23 г/см² для Юго-Западного ледника и 29 г/см² для Северо-Восточного.

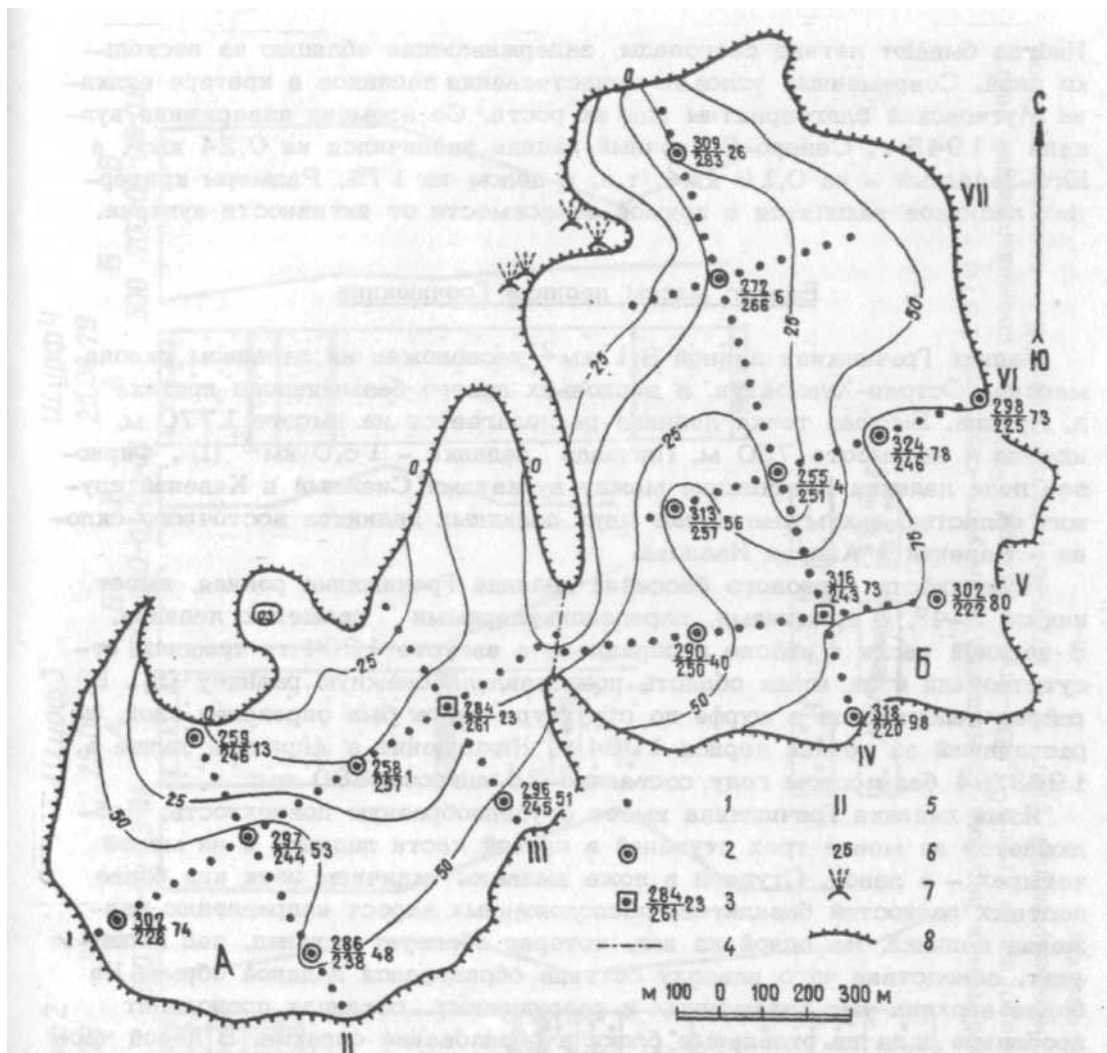


Рис. 1. Баланс массы кратерных ледников вулкана Сутновский за 1979/80 год: А - Мутновский Юго-Западный, Б - Мутновский Северо-Восточный.

1 - точки весенних снегосъемок; 2 - расчетный баланс массы в характерных точках снегосъемок; 3 - весенне - осенние шурфы; в числителе - весенний снегозапас, в знаменателе - абляция, множитель - фирновый остаток ($г/см^2$); 4 - ледораздел; 5 - номер снегомерного маршрута; 6 - изолинии фирнового остатка и абляции льда, 7 - термальные площадки; 8 - граница ледника

Кратерные ледники вулкана относятся к ледникам с инфильтрационным типом льдообразования. В центральных частях области аккумуляции фирна переходит в лед через 3-4 года на глубине 5-10 м. Фирновая граница в 1979/80 г. на Северо-Восточном леднике поднялась до 1620 м, а на Юго-Западном - до 1630 м. Холодный период на ледниках Мутновского вулкана длится до 9 мес. и характеризуется большим количеством осадков. Доля метелевого и лавинного снега в питании кратерных ледников невелика. Теплый период непродолжителен, около 3 мес.

Иногда бывают летние снегопады, задерживающие абляцию на несколько дней. Современные условия существования ледников в кратере вулкана Мутновский благоприятны для их роста. Со времени извержения вулкана в 1945 г. Северо-Восточный ледник увеличился на 0,24 км², а Юго-Западный - на 0,16 км², т.е. в целом на 17%. Размеры кратерных ледников находятся в прямой зависимости от активности вулкана.

Баланс массы ледника Гречишкина

Ледник Гречишкина длиной 8,1 км² расположен на западном склоне массива Острая-Хувхойтун, в верховьях левого безымянного притока р. Кутина. Высшая точка ледника располагается на высоте 1770 м, нижняя - на высоте 790 м. Площадь ледника - 16,0 км² [1]. Фирновое поле ледника Гречишкина между вулканами Снежный и Кевенэй служит областью аккумуляции еще двух долинных ледников восточного склона - Кевенэй и Андрея Иванова,

Поверхность фирнового бассейна ледника Гречишкина ровная, имеет наклон 3-4°, с трещинами, перпендикулярными движению ледника. В верхней части в районе ледораздела в августе 1964 г. трещины отсутствовали и фирновая область представляла снежную равнину [5]. В районе ледораздела в шурфе по структуре снега был определен слой, не растаявший за летний период 1964 г. Накопление в фирновой толще в 1963/64 балансовом году составило 25 августа 660 мм.

Язык ледника Гречишкина имеет ступенеобразную поверхность. Наблюдается не менее трех ступеней в правой части ледника и не менее четырех - в левой. Ступени в ложе вызваны наличием даек или более плотных разностей базальтов, расположенных вкрест направлению движения ледника. На одной из них, которая образует останец, лед наползает, вследствие чего наверху останца образовался ледяной обрыв. На более верхних уже сглаженных и разрушенных останцах происходит дробление льда на отдельные блоки и образование сераков. В левой части ледника, в его ложе, вероятно, имеются большие превышения, в результате чего происходит не только дробление, но и переворачивание блоков льда. Лед в районе языка постепенно утоньшается и ледник заканчивается постепенно, без какого-либо уступа или обрыва.

В августе-сентябре 1979 г. на леднике Гречишкина были проведены балансовые работы. Среднесуточные температуры воздуха на уровне фирновой границы за 1 мес. наблюдений колебались от 0 до 7°С 4-5 сентября в области питания начался сезон аккумуляции. В районе фирновой границы зимний сезон установился 14 сентября, а в области абляции - 20 сентября. За период наблюдений значение стаивания льда составило на конец языка 161 см и вблизи фирновой границы - 70 см. В области аккумуляции в отдельных точках стаяло 60-70 см. Температурный коэффициент таяния оказался равным 0,84 г/см²°С сут.

Строение фирновой толщи изучали в многочисленных трещинах и шурфах в области питания ледников Гречишкина и Андрея Иванова, где определяли фирновый остаток за 1978/79 балансовый год (рис. 2). Шурф № 1 был заложен в центре ледника Гречишкина, вблизи фирновой границы на высоте 1550 м и пройдет на глубину 180 см. Средняя плотность вскрытой толщи - 620 г/м³. Шурф № 2 заложен в ровной части

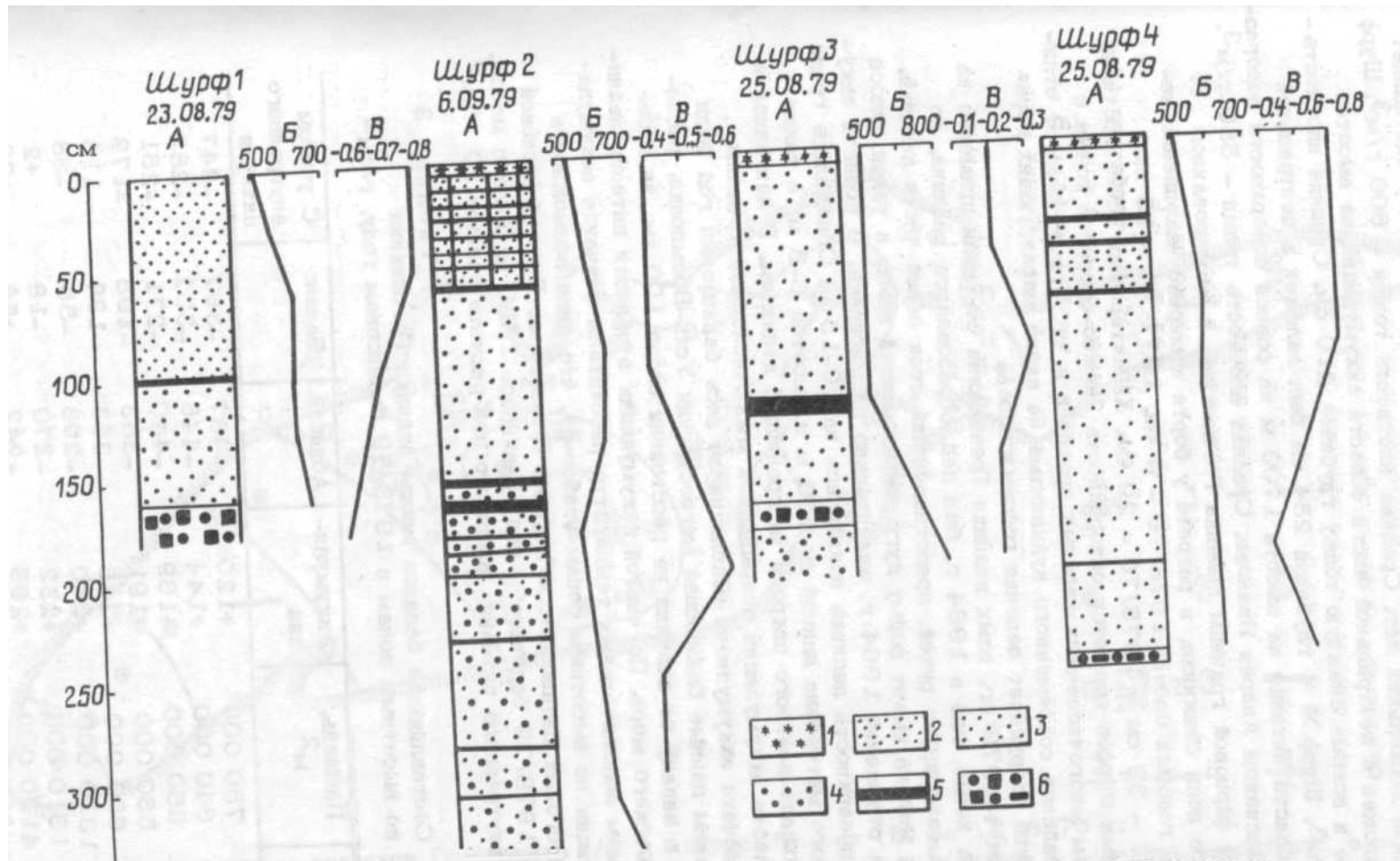


Рис. 2. Строение снежно-фирновой толщи ледника Гречишкина в августе-сентябре 1979 г.

А - стратиграфия толщи, Б - плотность (г/см^3), В - температура ($^{\circ}\text{C}$). 1 - свежесвыпавший снег, 2 - мелкозернистый снег, 3 - среднезернистый снег, 4 - крупнозернистый снег, 5 - ледяные прослои, 6 - смесь льда с фирнизованным снегом

области питания на высоте 1600 м. Пройдено 336 см, что составляет накопление нескольких лет. Средняя плотность толщи - 600 г/м. Шурф № 3 заложен в центральной части области аккумуляции на высоте 1600 м и вскрыл снежную толщу глубиной 210 см. Средняя плотность - 660 г/м³. Шурф № 4 глубиной 254 см был заложен в центральной части области питания на высоте 1700 м на ровной поверхности ледораздела с ледником Андрея Иванова. Средняя плотность толщи - 580 г/м³. В районе фирновой границы ледника Гречишкина, в изолированном от фирнового поля снежнике, в разрезе у борта измерено накопление нескольких годовых слоев: 1978/79 - 5 см, 1977/78 - 15 см, 1976/77 - 30 см и 1975/76 - 20 см. Характерными особенностями пройденных шурфов являются однородность снежно-фирновой толщи с развитием многочисленных ледяных прослоев и чистота разреза. В отличие от районов современного вулканизма не видно маркирующих горизонтов, что затрудняет деление годовых слоев.

За 1964-1979 гг. язык ледника Гречишкина отступил примерно на 50 м. На конце, где в 1964 г. был лед, образовалась равнина, по которой меандрирует ручей, представляющий сток левой части ледника. Конечная морена имеет форму дуги, окаймляющей язык, а узкая полоса моренных отложений 1964 г. значительно расширилась. В области аккумуляции поверхность ледника понизилась на 10-15 м. Обнажилась гряда обломочного материала длиной до 200 м и высотой 6-8 м, а также новые площади лавового покрова на границе с ледником. В центральной части области аккумуляции вскрывались многочисленные трещины.

Для расчета аккумуляции и абляции за весь балансовый год были использованы данные ближайшей метеостанции Усть-Воямполка, расположенной к западу от ледника на расстоянии около 100 км, на побережье Охотского моря. По чистой аккумуляции в области питания ледника и суммам положительных температур рассчитаны значения аккумуляции и абляции по высотным зонам (табл. 3), что дало возможность вывести итоговый баланс массы ледника Гречишкина. Высота фирновой границы в 1978/79 балансовом году равнялась 1550 м. Баланс массы, с учетом внутреннего питания, принятого при расчете равным 20 г/см²

Таблица 3
Составляющие баланса массы ледника Гречишкина
по высотным зонам в 1978/79 балансовом году, г/см²

Высотные зоны, м	Площадь, м ²	Аккумуляция	Абляция	Баланс	С учетом внутреннего питания
до 900	750 000	+120	-487	-367	-347
900-1000	640 000	+144	-446	-302	-282
1100	650 000	+169	-440	-271	-251
1200	550 000	+191	-383	-198	-178
1300	680 000	+215	-353	-138	-118
1400	1310 000	+240	-298	-58	-38
1500	000 4120	+252	-270	-18	+2
1600	000 1600	+298	-242	+56	+76
	44000 000	+266	-214	+52	+72
		+249	-283	-34	-14

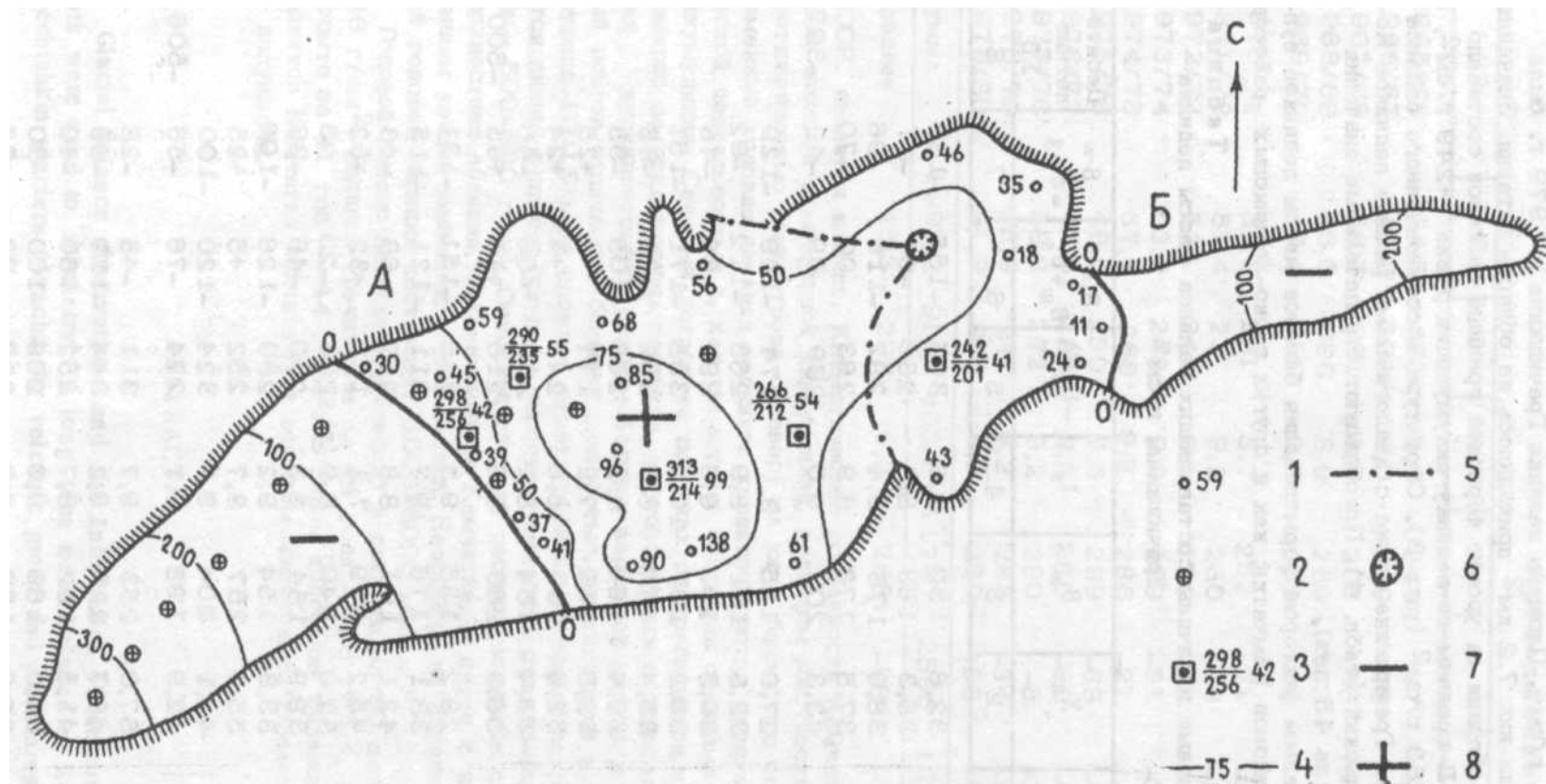


Рис. 3. Баланс массы ледников Гречишкина (А) и Андрея Иванова (Б) за 1978/79 г.
 1 - абляционные рейки; 2 - точки измерения фирна; 3 - шурфы; в числителе - весенний снеговой запас, в знаменателе - абляция, множитель - фирновый остаток (г/см^2); 4 - изолинии фирнового остатка и абляции льда; 5 - ледораздел; б - шлаковый конус; 7 - граница питания; 8 - область аккумуляции

составил -14 г/см^2 . Площадь ледника Гречишкина в 1979 г. была $14,41 \text{ км}^2$, из них $7,2 \text{ км}^2$ приходилось на область питания. Значение аккумуляции-абляции на уровне фирновой границы за сезон составило 266 г/см^2 . В среднем по леднику аккумуляция равна $+249 \text{ г/см}^2$, а абляция - 283 г/см^2 (рис. 3). Структура восстановленного баланса массы ледника Гречишкина схожа с аналогичными рядами ледников Корято и Козельский (табл. 4). Преобладают отрицательные значения баланса (35 из 45 лет).

Итак, главным фактором формирования баланса массы ледников вулканических районов Камчатки, как и других горно-ледниковых районов

Таблица 4

Расчетные величины составляющих баланса массы ледника Гречишкина, г/см^2

Балансовые годы	X_w	B_w	t_s	$-B_s=A$	$B = B_w + B_s$	$B = b + g$	Десятилетние ΣB
1	2	3	4	5	6	7	8
1935/36	32,6	150	9,6	305	-155	-135	
1936/37	35,3	163	8,3	230	-67	-47	
1937/38	38,0	176	9,4	292	-116	-96	
1938/39	37,5	173	8,9	263	-90	-70	
1939/40	43,3	200	9,0	269	-69	-49	-397
1940/41	27,0	125	9,1	274	-149	-129	
1941/42	32,8	151	8,9	263	-112	-92	
1942/43	50,5	233	9,5	299	-66	-46	
1943/44	36,2	167	10,1	338	-171	-151	
1944/45	38,4	177	8,7	252	-75	-55	
1945/46	35,4	164	9,0	269	-105	-95	
1946/47	39,5	182	7,2	177	+5	+25	
1947/48	32,4	150	8,6	246	+4	+24	
1948/49	33,4	154	8,1	220	-66	-46	
1949/50	56,3	260	8,0	215	+45	+65	-500
1950/51	29,2	135	9,3	286	-151	-131	
1951/52	38,1	176	9,7	311	-131	-115	
1952/53	42,1	194	8,8	257	-63	-43	
1953/54	45,2	209	7,2	177	+32	+52	
1954/55	52,0	240	8,9	263	-23	-3	
1955/56	39,9	184	8,3	230	-46	-26	
1956/57	33,3	154	9,2	280	-126	-106	
1957/58	55,6	257	8,7	252	+5	+25	
1958/59	44,1	204	9,9	324	-120	-100	
1959/60	42,9	198	9,1	274	-76	-56	-506
1960/61	57,0	263	9,7	311	-48	-28	
1961/62	48,7	225	10,2	344	-119	-99	
1962/63	41,5	192	8,7	252	-60	-40	
1963/64	36,5	169	9,0	269	-100	-80	
1964/65	33,9	157	8,3	230	-73	-53	

1	2	3	4	5	6	7	8.
1965/66	54,7	253	8,6	246	+7	+27	
1966/67	48,6	224	9,0	269	-45	-25	
1967/68	58,7	271	8,9	263	+8	+28	
1968/69	85,6	396	8,9	263	+133	+153	
1969/70	43,4	200	9,0	269	-69	-49	-166
1970/71	39,1	181	8,7	252	-71	-51	
1971/72	51,4	237	9,2	280	-44	-24	
1972/73	52,1	241	9,1	274	-33	-13	
1973/74	53,6	248	9,5	299	-51	-31	
1974/75	57,3	265	9,3	286	-21	-1	
1975/76	49,8	230	9,5	299	-69	-49	
1976/77	47,6	220	9,3	286	-66	-46	
1977/78	58,8	272	9,2	280	-8	+12	
1978/79	53,9	249	9,2	283	-34	-14	
1979/80	61,9	285	8,3	230	+55	+75	-139
Сумма	1993,2	9186	403,1	11797	2595	1708	
Среднее	45,3	209	9,2	268	-59	-39	

СССР, является климат. Климатические особенности Камчатки обусловлены сложной атмосферной циркуляцией, рельефом местности, большой протяженностью полуострова с севера на юг и близостью океана. Современные условия питания ледников характеризуются активной циклонической деятельностью и, как следствие, большими осадками в период аккумуляции. Снежный покров на ледниках распределяется крайне неравномерно за исключением ледников, расположенных в отрицательных формах вулканического рельефа (атрио, взрывных цирках и т.д.). Снежный покров отличается большой мощностью, достигающей в областях питания 10-15 м, и сложной стратиграфией. По всему разрезу встречаются линзы и прослойки льда. Средняя плотность снежно-фирновой толщи - 500-600 г/м³. Основной статьей расхода ледников служит поверхностная абляция, ее значение на Камчатке, в связи с низким положением концов ледников, очень велики. Например, на леднике Козельский годовая абляция составляет 3000-6000 мм.

Годовой баланс ледника Козельский в среднем за 90 лет равен - 46 г/см², ледника Гречишкина за 44 года - -38 г/см², а ледника Коряго за 41 год - 44 г/см². В целом колебания баланса массы ледников Камчатки подчиняются вековым изменениям климата северного полушария.

ABSTRACT

Glacial balance observations and the information of meteorological network were used to reconstruct a long-term mass balance of Kozelsky and Grechishkin glaciers (Avachinsky volcanic group and mountains Ostraya

and Khuvkhoytun). The mean annual balance of both glaciers is negative and equals 30 and 38 g/cra , respectively, for the last 40 years. From the beginning of the sixties favourable climatic conditions for glacial development of Kamchatka were observed, which caused the transgression of Kozelsky glacier in 1972-76 and the deceleration of degradation rate of Grechishkin glacier.

Besides that the regime of the crater glaciers of Mutnovsky volcano was examined (analysed). The accumulation of solid precipitation reaches here 3000 mm per year. The measured mass balance of North-eastern and Southwestern glaciers in 1980 were 29 and 23 g/cm² respectively. Presently, this volcano is active and has a positively influence on the crater glacier regime. The area of crater glaciation has increased by 0.4 km² or 17% since the major eruption in 1945.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов В.Н. Каталог ледников СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1968, Т. 20, Ч. 2-4, 75 с.
2. Виноградов В.Н., Ходаков В.Г. Баланс льда ледника Корыто в Кроноцком массиве. - В кн.: Гляциологические исследования. М.: Наука, 1976, № 25, с. 18-26.
3. Виноградов В.Н., Будников А.Е., Каразия Н.Ф. Черты режима ледника Козельский, - В кн.: Гляциологические исследования. М.: Наука, 1976, № 25, с. 36-44.
4. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Современное оледенение Южной Камчатки. - В кн.: Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1982, вып. 8, с. 27-33.
5. Виноградов В.Н., Огородов Н.В. Вулканы и ледники северной части Срединного хребта. - В кн.: Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1966, вып. 4, с. 70-85.
6. Маркин В.А. Особенности поступления тепла к поверхности ледников Камчатки в сезон абляции. - В кн.: Гляциологические исследования. М.: Наука, 1976, № 25, с. 27-35.
7. Поляк Б.Г. Геотермические особенности области современного вулканизма. - М.: Наука, 1966, 179 с.
8. Семенов В.И. В краю заоблачных вершин. - Петропавловск-Камчатский: Дальневосточное книжное издательство, 1970, 140 с.