

В. Д. Панов

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ СОВРЕМЕННОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА
В БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Площадь современного оледенения Большого Кавказа в последнее столетие интенсивно сокращается, что в определенной степени сказывается и на объеме стока рек этого района. В связи с этим представляет определенный интерес сделать попытку дать прогноз изменения размеров современного оледенения на ближайшие 40-50 лет.

Известно, что для Большого Кавказа имеются достаточно точные сведения о размерах современного оледенения по состоянию на 1881-1912 и 1965-1970 гг. Анализ этих данных показал, что оледенение за прошедший промежуток времени весьма значительно изменилось (табл. I).

Таблица I

Изменение размеров современного оледенения Большого Кавказа
за 1881/1912 - 1965/1970 гг.

Склон	Уменьшение площади оледенения			Изменение числа ледников
	общее, км ²	в год, км ²	% площади оледенения 1881/1912 гг.	
Западный Кавказ	160,02	2,10	32,8	-91
северный	111,06	1,44	33,4	-98
южный	50,96	0,66	31,6	+7
Центральный Кавказ	486,74	6,32	33,2	+272
северный	388,64	5,05	37,1	+257
южный	98,10	1,27	23,4	+15
Восточный Кавказ	140,71	1,83	59,2	0
северный	139,50	1,81	59,2	+3
южный	1,21	0,02	54,8	-3
Большой Кавказ	789,47	10,25	35,9	+181
северный	639,20	8,30	39,6	+162
южный	150,27	1,95	25,8	+19

Примечание. Плюс (+) - увеличение, минус (-) - уменьшение.

Площадь оледенения за прошедшее время уменьшилась как на всем Большом Кавказе (35,9 %), так и во всех его районах. При этом наиболее значительное ее сокращение отмечается на северном склоне Восточного Кавказа, где оно оказалось равным 59,2 %, а наименьшее – на южном склоне Центрального Кавказа (23,4 %). В общем случае на северном склоне Большого Кавказа четко прослеживается увеличение сокращения площади оледенения с запада на восток, в то время как на южном склоне такого явления не отмечается. Так, на Центральном Кавказе произошло наименьшее уменьшение площади оледенения, а на Восточном – наибольшее /8,15/.

Число ледников Большого Кавказа увеличилось в целом на 9,8 %, при этом как на северном, так и на южном склонах. По отдельным же районам Кавказа отмечалось как увеличение, так и уменьшение числа ледников (табл. I). Увеличение числа ледников произошло в результате распада ранее единых ледников на части, а также отчленения притоков. Всего за счет распада образовалось 404 ледника, а отчленения притоков – 475. Растаяло за этот период 548 ледников, или 29,8 % числа ледников в 1881/1912 гг. Необходимо отметить, что наиболее интенсивно процессы исчезновения, распада и отчленения ледников отмечаются на северном склоне Большого Кавказа, где на них приходится 72–79 % общего числа ледников /15/.

Различия в интенсивности деградации оледенения в разных частях Большого Кавказа связаны с особенностями в их ороклиматических условиях, в то время как неравномерность во времени определяется преимущественно внутривековыми колебаниями климатических условий, а изменение числа ледников, кроме того, и преобладанием по различным районам Большого Кавказа простых или сложных ледников /13,15/.

Приведенные выше данные о деградации оледенения Большого Кавказа относятся к периоду, обеспеченному инструментальными метеорологическими наблюдениями, что весьма важно для их сравнения.

Имеющиеся многочисленные анализы современных колебаний климата /3–6, II, I7/ показывают, что в 1881–1978 гг. отмечаются колебания как температуры воздуха, так и атмосферных осадков. За рассматриваемый период в ходе температуры воздуха прослеживается два потепления и одно похолодание. Первое из потеплений началось в конце прошлого столетия и достигло максимума в 30-х годах нашего столетия. При этом средняя температура воздуха у поверхности земли северного полушария повысилась приблизительно на 0,8 °С. С 30-х годов нашего столетия началось похолодание, которое продолжалось до середины 60-х годов. Температура воздуха северного полу-

шария за это время понизилась на $0,4^{\circ}\text{C}$ /5/. С середины 60-х годов началось новое довольно быстрое потепление, средняя интенсивность которого, по И.И. Борзенковой и др. /3/, за 1964-1975 гг. составляет $0,3^{\circ}/10$ лет для средней годовой приземной температуры воздуха внеэкваториальной части северного полушария ($87,5-17,5^{\circ}$ с.ш.).

В целом за 1891-1978 гг. в широтной зоне $57,5-37,5^{\circ}$ северного полушария 15 % дисперсии ряда было обусловлено положительным трендом, который был равен $0,037^{\circ}\text{C}/10$ лет. В отдельные промежутки времени обе эти величины изменялись весьма значительно (табл. 2).

Таблица 2

Оценки параметров линейного тренда
средней годовой приземной температуры воздуха
для широтной зоны $57,5-37,5^{\circ}$ северного полушария
для различных частей временного ряда /6/

Период, годы	Число лет	Угловой коэффициент линейного ряда, $^{\circ}\text{C}/10$ лет	Среднее значение температуры, $^{\circ}\text{C}$	Относительный вклад линейного тренда в дисперсию ряда, %
1891-1978	88	0,037	0,04	15
1891-1940	50	0,114	-0,01	44
1940-1964	25	0,009	0,16	0
1964-1978	15	0,02	0,02	0
1946-1975	30	-0,056	0,12	4
1956-1975	20	-0,073	0,09	3
1966-1975	10	-0,08	0,05	1

Необходимо отметить, что изменения температуры воздуха имеют особенно большие амплитуды в высоких широтах и в холодный период года /4/.

В связи с тем что Большой Кавказ находится на границе умеренного и субтропического климатических поясов, а также имеет довольно значительные абсолютные высоты, температура воздуха в 1891-1978 гг. здесь изменялась несколько иначе, чем в целом в широтной зоне $57,5-37,5^{\circ}$ северного полушария, для которой и были приведены данные выше. Для подтверждения этого нами произведен анализ имеющихся материалов метеорологических наблюдений для ряда метеорологических станций, расположенных как на северном, так и южном склонах Большого Кавказа на различных абсолютных высотах (табл. 3).

Таблица 3

Отклонения температуры воздуха за период абляции \bar{t}
и суммы осадков \bar{r} от нормы

Метеорологические станции	Склон Большо- го Кавказа	1891-1940 гг.		1941-1964 гг.		1965-1978 гг.	
		$t^{\circ}\text{C}$	\bar{r} мм	$t^{\circ}\text{C}$	\bar{r} мм	$t^{\circ}\text{C}$	\bar{r} мм
Орджоникидзе	Северный	0,0	+2	+0,2	-4	0,0	+29
Казбеги, высок.	"			+0,4	-75	+0,1	+2
Пятигорск	"	-0,1	-2	0,0	+4	-0,2	+13
Бермамыт	"			+0,1	+14	-0,1	+42
Теберда	"			-0,3	+18	-0,3	+25
Тбилиси	Южный	-0,1	0	+0,3	+1	+1,2	-11
Сочи	"	0,0	-21	0,0	+31	-0,2	-63
Ачишхо	"			+0,2	-18	-0,1	-126

Примечание. Плюс (+) - увеличение, минус (-) - уменьшение.

Из данных табл.3 видно, что особенно значительные отличия от средних широтных температур воздуха отмечаются в период абляции ледников и заключаются они в следующем:

1) в 1891-1940 гг. на территории Большого Кавказа потепления не отмечалось;

2) в 1941-1964 гг. вместо похолодания повсеместно отмечалось потепление или температура воздуха была близка к норме;

3) в 1965-1978 гг. на большей части территории Большого Кавказа отмечалось похолодание и только в его восточной части было потепление или температура воздуха была близка к норме.

С колебанием температуры воздуха тесно связано изменение количества атмосферных осадков. Установлено, что при потеплении количество осадков уменьшается, а при похолодании - увеличивается. Однако этот общий вывод в некоторых районах, в том числе и на Большом Кавказе, не всегда выдерживается. Так, по Ф.З.Батталову /1/, О.А.Дроздову и А.С.Григорьевой /12/, на Европейской части СССР (ЕТС) и Северном Кавказе в 1900-1930 гг. осадков отмечено больше нормы, но на южном склоне Большого Кавказа (Сочи, Сухуми, Тбилиси) - их было меньше нормы, т.е. наблюдалась обратная картина. В 1941-1978 гг. асинхронность в изменении осадков и температуры воздуха отмечена в 50 % случаев. Во всех остальных случаях отмечалось увеличение или уменьшение суммы осадков при увеличении

или уменьшении температуры воздуха (табл.3).

Имеющиеся данные о колебании температуры воздуха и осадков за последние 80-90 лет позволили Г.В.Грузе, Л.К.Клещенко и Э.Я.Ранькову /II/ сделать вывод о том, что в ближайшие 25 лет нет оснований ожидать понижения средней годовой температуры воздуха для северного полушария в среднем более чем на $0,5^{\circ}\text{C}$ и повышения более чем на $0,6^{\circ}\text{C}$. Изменение годовой суммы осадков можно ожидать в пределах $\pm 7\%$ при наибольших значениях 20-28% в зимний период.

Имеется и еще несколько прогнозов изменения температуры воздуха и атмосферных осадков до конца XX в. /7,9,16,17/. Однако количественные оценки изменения метеорологических показателей, приводимые в этих прогнозах, относятся к обширным районам и их практически невозможно использовать для Большого Кавказа.

Наибольший интерес для нас представляет работа М.И.Будыко с соавторами, опубликованная в 1978 г. /5/. В отличие от всех предшествующих работ в ней приведены достаточно подробные сведения об изменении температуры воздуха и атмосферных осадков на территории СССР для конца XX и первой четверти XXI вв. На Большом Кавказе, по их данным и целом для всей территории, можно ожидать:

а) до конца XX в. повышения температуры воздуха за теплый период на $0,2-0,4^{\circ}\text{C}$ и за холодный - на $0,4-0,6^{\circ}\text{C}$. Количество осадков за холодный период увеличивается на 5-15%, а в целом за год не более чем на 10%;

б) в конце первой четверти XXI в. температура воздуха в теплый период года будет близка к современной, в то время как в холодный повысится на $4-6^{\circ}\text{C}$, годовое количество осадков увеличится на 5-10%.

Известно, что изменение размеров оледенения, кроме прочего, определяется изменением климатических условий. Поэтому вполне логично попытаться найти корреляционные зависимости между сокращением площадей ледников и климатическими условиями за последние 70-80 лет и некоторыми характеристиками современного оледенения. Из климатических показателей нами были взяты температура воздуха за летний период (июнь-август) и сумма осадков за холодный период (октябрь-май) на высоте фирновой линии.

В связи с тем что как температуру воздуха, так и количество осадков на уровне фирновой линии каждого ледника достаточно сложно рассчитать, все ледники Большого Кавказа были сведены в 69 ледниковых групп, для которых и были определены температуры воздуха и количество осадков.

Корреляционный анализ показал, что существует достаточно тесная связь между изменением площади оледенения, климатическими условиями и некоторыми характеристиками оледенения (площадью оледенения, высотой нижней границы ледников, высотой и длиной горного хребта в районах ледников, дробностью оледенения). В связи с тем, что нет возможности на 2000 г. получить с достаточно высокой точностью такие характеристики оледенения, как высота нижней границы ледников, высота и длина горного хребта в районах с ледниками, число ледников, для расчетов изменения площади оледенения мы использовали зависимость только с тремя переменными, а именно; температурой воздуха, осадками и площадью оледенения на исходный период. Общий вид полученного уравнения имеет вид:

$$\Delta S = 1,396t - 0,007h + 0,340 a + 1,352, \quad (1)$$

где ΔS - изменение площади оледенения (в км^2) за расчетный период (77 лет) для одного района; t - температура воздуха за летний период ($^{\circ}\text{C}$); h - сумма атмосферных осадков за холодный период, мм; a - средняя площадь оледенения ледниковой группы, км^2 . При этом общий коэффициент корреляции равен $0,94 \pm 0,01$, а средняя квадратическая ошибка уравнения регрессии $5,4 \text{ км}^2$.

Расчет изменения площади оледенения Большого Кавказа произведен нами для периодов 1967-2000 и 2000-2025 гг. Выполнялся он по отдельным крупным районам по следующему уравнению:

$$\Delta S = \frac{(1,396t' - 0,007h' + 0,340 a' + 1,352) n T}{77}, \quad (2)$$

где T - число лет в периоде; n - количество ледниковых группы в районе; t' - температура воздуха за летний период с поправкой на ее изменение, $^{\circ}\text{C}$; h' - сумма осадков за холодный период с поправкой на изменение, мм; a' - средняя площадь ледниковой группы района на исходный период, км^2 .

Результаты расчетов по уравнению (2) приведены в табл.4, из которой видно, что как в целом на Большом Кавказе, так и в отдельных его районах будет продолжаться сокращение площади оледенения. Однако темп деградации за 1967- 000 гг. уменьшится по сравнению с предыдущим периодом более чем в два раза, а за 2000-2025 гг. - более чем в три раза. По отдельным районам различия в скорости деградации оледенения будут еще более существенными и составят, например, на южном склоне Западного Кавказа 16 раз, в то время как на северном склоне Восточного Кавказа всего 1,8 раза. По таким различиям в интенсивности уменьшения площади оледенения близко к своим оптимальным размерам, а в каких его размеры еще не соответ-

Таблица 4

Изменение площади современного оледенения Большого Кавказа за 1890-2025 гг. при изменении климата / 5 / (верхняя строка) и сохранении современных климатических условий (нижняя строка)

Район	Кол-вст- во ледни- ковых групп	1890-1967 гг.		1967-2000 гг.		2000-2025 гг.	
		км ²	%	км ²	%	км ²	%
Западный							
северный склон	16	III	33	25	12	18	9
				33	15	21	11
южный склон	11	5I	32	0,5	0,4	2	2
				7	6	5	5
Центральный							
северный склон	17	389	37	106	16	67	12
				106	16	69	13
южный склон	14	99	23	35	11	22	8
				40	12	25	9
Восточный							
северный склон	11	139	59	34	36	20	33
				33	34	21	33

Продолжение табл. 4

Район	1890-1967 гг.		1967-2000 гг.		2000-2025 гг.		
	Количество во ледни- ковых групп	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Большой Кавказ							
северный склон	44	639	40	I66 I72	I7 I8	I05 III	I3 I4
южный склон	25	150	26	36 47	8 II	24 30	6 8
в целом	69	789	36	202 219	I4 I6	I29 I4I	II I2

ветствуют современным климатическим условиям.

В заключение необходимо отметить, что при современных климатических условиях или при повышении температуры воздуха на $0,5^{\circ}\text{C}$ и при увеличении осадков на 5–15 % /5/, площадь оледенения Большого Кавказа будет продолжать сокращаться. При этом расчёт по уравнению (2) показывает полное исчезновение оледенения на северном склоне через 100–300 лет, в то время как на южном склоне оно сохранится, причем в западной части даже в несколько больших размерах, чем в центральной (50 и 50 км² соответственно). Необходимо отметить, хотя по уравнению и получается, что на северном склоне Большого Кавказа через 100–300 лет исчезнут все ледники, в действительности этого не произойдет, поскольку некоторые каровые ледники даже в настоящее время /13/ имеют близкий к нулевому баланс массы. Также должны сохраниться и отдельные виссячие ледники, имеющие сейчас положительный баланс массы /14/. Таким образом, через 100–300 лет, если не произойдет изменения климатических условий в благоприятную сторону для ледников, на Большом Кавказе останется только незначительное оледенение, представленное каровыми и реже виссячими ледниками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б а т т а л о в Ф.З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 181 с.
2. Б о р и с е н к о в Е.П., М е л е ш к о В.П., Ш н е е р о в Б.Е., П р и е м о в В.Н. Влияние тепловых выбросов по погоду и климат. – Тр.ГГО, 1980, вып.438, с.42–61.
3. Б о р з е н к о в а И.И., В и н н и к о в К.Я., С п и р и н а Л.П., С т е х н о в с к и й Д.И. Изменение температуры воздуха Северного полушария за период 1881–1975 гг. – Метеорология и гидрология, 1976, № 7, с.27–35.
4. Б у д ы к о М.И., В и н н и к о в К.Я. Глобальное потепление. – Метеорология и гидрология, 1976, № 7, с.16–26.
5. Б у д ы к о М.И. Климат в прошлом и будущем. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 333 с.
6. В и н н и к о в К.Я., Г р у з а Г.В., З а х а р о в В.Ф. и др. Современные изменения климата Северного полушария. – Метеорология и гидрология, 1980, № 6, с.5–17.
7. В и т е л ь с Л.А. Аномалии циклического хода солнечной активности и тенденция современных колебаний климата. – Тр.ГГО, 1962, вып.133, с.105–110.

8. Виноградов О.Н., Коновалова Г.И., Псарева Т.В. Новые данные к гляциоморфологической характеристике современных ледников Кавказа и их эволюции в XX веке. - В кн.: Материалы гляциол. исслед. Хроника, обсуждения, вып.27. - М., 1976, с.44-50.

9. Гирс А.А. Внутриэпохальные преобразования форм атмосферной циркуляции и их причины. - Тр.ААНИИ, 1963, т.255, с.11-18

10. Гросвальд М.Г., Котляков В.М. Предстоящие изменения климата и судьба ледников. - Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1978, № 6, с.21-32.

11. Груза Г.Ф., Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я. Об изменениях температуры и осадков на территории СССР за период инструментальных наблюдений. - Метеорология и гидрология, 1977, № 1, с.13-25.

12. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков над территорией СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 158 с.

13. Панов В.Д. Изменение режима ледников Северного Кавказа в современную фазу оледенения. - Тр. ЗапНИГМИ, 1974, вып.58(64), с.241-247.

14. Панов В.Д. Режим и эволюция современного оледенения бассейна р.Черек Безенгийский. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 135 с.

15. Панов В.Д. Изменение размеров современного оледенения Кавказа за последние 60-90 лет. - Изв. ВГО, 1983, т.115, вып.2, с.120-126.

16. Полозова Л.Г. Предполагаемый знак отклонения от нормы средней месячной температуры воздуха в период 1876-1980 гг. на западной половине территории СССР. - Тр. ГГО, 1975, вып.354, с.137-142.

17. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современные изменения климата. - Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 268 с.