

УДК 551.524.2/3

**ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В ПРЕДЕЛАХ ЗАИЛИЙСКО-  
КУНГЕЙСКОЙ ГОРНОЙ ЛЕДНИКОВОЙ СИСТЕМЫ**

Доктор геогр. наук

П.А. Черкасов

*Описана методика расчёта средней суточной температуры воздуха для любой точки трёхмерного пространства в пределах Заилийско-Кунгейской ледниковой системы.*

На основе систематических 40-летних исследований условий существования оледенения Джунгарского Алатау разработаны теория, методы расчёта и программы, которые позволяют воспроизводить полную картину формирования всех составляющих водно-ледового баланса на физической поверхности каждого ледника в пределах бассейнов рек ледниковой системы; установить закономерности пространственных изменений внешнего оборота массы и роль расходной части баланса в стоке отдельных рек за конкретный балансовый год [5]. Часть методических приёмов опубликована в отдельных статьях [8, 9].

Главными условиями существования горных ледников, являются: их расположение на склонах хребтов или между ними в виде разрозненных масс льда различной величины, ориентированных в разных направлениях относительно сторон света и наклонённых под разными углами к горизонту. Основную роль в энергетическом балансе ледников играет солнечная радиация; роль теплообмена с воздухом вторична [6, 7]. Ледники подчиняются общеклиматическому режиму баланса тепла и влаги, что приводит к изменению их размеров, но взаимного влияния они почти не оказывают. Каждый ледник "живёт" в присущих только ему условиях питания и абляции.

Характерными погодными признаками существования ледников природной зоны с аридными условиями климата являются: устойчивый зимний антициклон, низкая температура воздуха, летний пик осадков (около 60 % от годовой суммы) и совмещение процессов аккумуляции и абляции с тёплым периодом года.

Модельный комплекс состоит из ряда самостоятельных задач, результаты решения которых являются материалом для следующих задач. Сюда относятся:

- два метода определения средней суточной температуры воздуха и общей облачности для любого ледника в пределах ледниковой системы;
- метод расчёта зимних снегозапасов и летних осадков на площади ледника с учётом физического строения его поверхности;
- метод расчёта температурного коэффициента таяния снега и льда в любой точке физической поверхности ледника с учётом восьми переменных: типа ледника, абсолютной высоты, ориентации, угла наклона, альбедо, температуры воздуха, общей облачности и склоновых коэффициентов инсоляции за каждый день абляционного периода;
- метод расчёта склоновых коэффициентов инсоляции, в котором учитываются четыре группы типов ледников, восемь азимутов ориентации склонов, углы их наклона и дата календарного года;
- расчёт составляющих и баланса внешнего массообмена на физической поверхности каждого ледника системы: зимней аккумуляции (зимнего баланса), летней и годовой аккумуляции, возможной годовой абляции, внутреннего питания, абляции, поступившей в сток, летнего баланса и годового баланса;
- определение доли талой ледниковой составляющей в стоке каждой реки ледниковой системы за конкретный балансовый год;
- метод расчёта запасов льда в ледниках и прогноза их эволюции.

Результаты расчётов могут быть использованы для характеристики климата горной страны – изменения региональных зависимостей полей температуры воздуха и общей облачности от географической широты, долготы и абсолютной высоты места во взаимодействии с особенностями планетарной циркуляции атмосферы. В этой статье изложен метод определения средней суточной температуры воздуха.

Для удобства при определении места расположения ледников и метеорологических станций (М) в работе мы избрали условную систему координат. Исследования ограничены территорией от точки 43° с. ш. по 75 км к югу и северу и от точки 77°15' в. д. по 185 км к западу и востоку. Эти географические координаты точки соответствуют примерно центральному положению на площади Заилийско-Кунгейской ледниковой системы, входящей в пределы этого прямоугольника.

Для изучения режима горизонтальных и вертикальных градиентов нами были использованы: 1 – средние многолетние месячные температуры воздуха на 27 метеорологических станциях Гидрометслужбы Казахстана [2] и Киргизии [3]; 2 – метеорологические наблюдения на ледниках Заилийского Алатау за период с 1957 по 2000 гг., проводимые институтом географии.

### *Пространственные изменения температуры воздуха в пределах ледниковой системы*

Используя этот массив информации, для каждого месяца года были построены ориентировочные кривые распределения средних суточных средних месячных норм температуры воздуха с высотой. По этим графикам температуры воздуха для всех М были приведены к высоте  $z_0$  – самому нижнему пределу их расположения на данной территории. В нашем случае  $z_0 = 300$  м над уровнем моря.

На основе полученной информации о приведённой температуре воздуха, к высоте  $z_0$  ( $T_{z_0}$ ), и данных о местоположении М (плановых условных координатах) для всех месяцев года были построены графики связи  $T_{z_0}$  с широтой места  $\varphi$ . Графики были аппроксимированы полиномом первой степени, поскольку на протяжении выбранных 150 км установленная зависимость носила линейный характер:

$$T_{z_0}(\varphi) = A_0 + (A_1 \cdot L_\varphi), \quad (1)$$

где  $L_\varphi$  – расстояние до М, в км,  $A_0$  и  $A_1$  – коэффициенты.

Как эта, так и последующие связи (о которых пойдёт речь ниже) были аппроксимированы степенными многочленами по методу наименьших квадратов [1]. Для расчёта использован алгоритм и программа общего случая квадратического приближения функции одной переменной [10].

Степень связи  $T_{z_0}$  с широтой места  $\varphi$  (на расстоянии 150 км в пределах Заилийско-Кунгейской ледниковой системы) определена по коэффициенту корреляции  $r$ . Степень несогласованности линий регрессии между параметрами названной связи оценена величиной разброса  $\sigma_x$  и относительной ошибки рассеивания  $\Delta x$ , %. Коэффициенты полиномов и оценки степени связей за все месяцы года приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты полиномов аппроксимации изменения  $T_{z_0}$  в зависимости от широты места  $\varphi$ , степень их связи и градиенты  $\Delta T_{z_0}(\varphi)$

Месяц	Коэффициенты полиномов		Степень связи $T_{z_0}$ с $\varphi$			$\Delta T_{z_0}(\varphi)$
	$A_0$	$A_1$	$r_x$	$\sigma_x$ , °C	$\Delta x$ , %	°C/км
1	-10,60	-0,021	0,54	1,14	7	-0,0214
2	-7,23	-0,026	0,58	1,22	11	-0,0256
3	2,34	-0,017	0,52	0,94	84	-0,0169
4	10,77	-0,006	0,21	0,80	8	-0,0063
5	18,79	-0,009	0,44	0,65	2	-0,0094
6	23,24	-0,006	0,26	0,72	2	-0,0055
7	26,01	-0,003	0,11	0,85	2	-0,029
8	24,47	-0,004	0,17	0,87	3	-0,0044
9	19,74	-0,015	0,46	1,01	4	-0,0150
10	10,60	-0,018	0,58	0,85	7	-0,0176
11	1,23	-0,022	0,57	1,10	164	-0,0223
12	-6,55	-0,020	0,50	1,17	12	-0,0198

*Примечание:*  $\Delta T_{z_0}(\varphi)$  - пространственный широтный градиент температуры воздуха на изучаемой территории. Знак градиента соответствует направлению с юга на север.

Аппроксимирующие прямые, полученные по указанным выше коэффициентам полиномов приведены на рис. 1а.

Из данных табл. 1 видно, что степень связи  $T_{z_0}$  с географической широтой на изучаемой территории невелика. Это зависит с одной стороны от влияния орографии, способствующей возникновению широкого диапазона микроклиматических условий, а с другой - от небольшой протяженности изучаемой территории с севера на юг (150 км). Кроме того, в течение года степень этой связи постоянно изменяется. В зимние (I, II, XI, XII) и летние (VI, VII) месяцы, когда над Заилийско-Кунгейской ледниковой системой и прилегающей территорией устанавливается антициклон, степень связи становится минимальной. В весеннее и осеннее время, при активном перемещении границы снежного покрова по широте степень связи

возрастает, так как увеличивается широтный температурный градиент. Максимальная величина разброса  $\sigma_x$  наблюдается в зимне-осеннее время, а минимальная - летом. Соответствующим образом ведут себя и относительные ошибки аппроксимации  $\Delta x, \%$ .

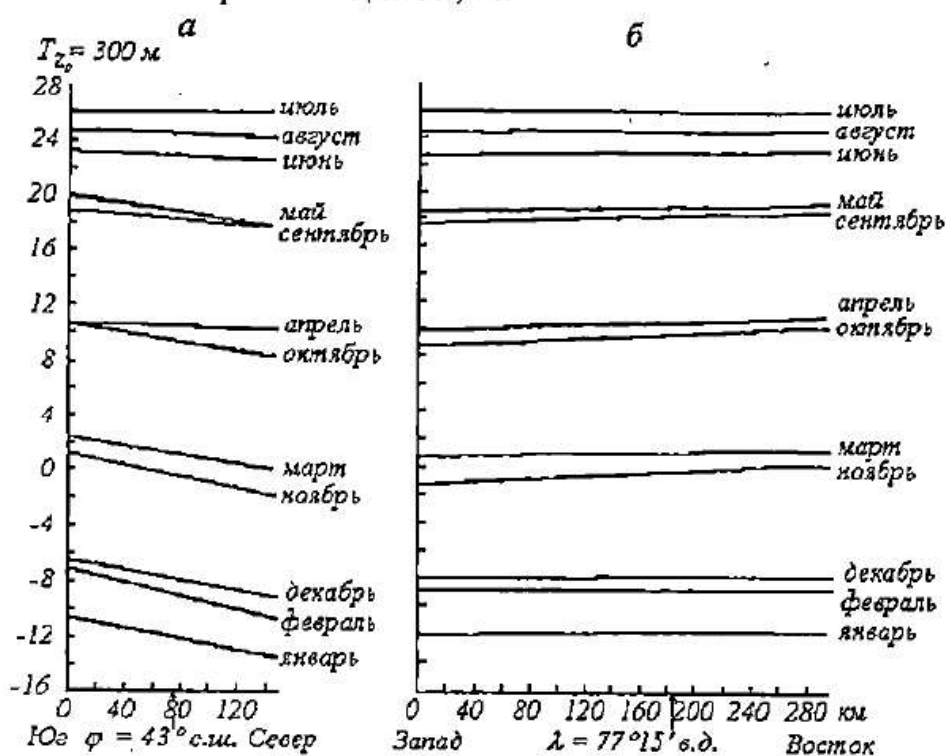


Рис. 1. Связь приведенной температуры воздуха с географической широтой  $\varphi$  (а) и долготой  $\lambda$  (б) в пределах территории Заилийско-Кунгейской ледниковой системы.

Есть и региональные особенности природы: с юга Кунгей Алатау буквально подпирает огромное зеркало водной поверхности оз. Иссык-Куль, а с севера Заилийского Алатау идут сухие степи, переходящие в полупустыню. Создаются своеобразные особенности для формирования широтных градиентов температуры воздуха в летнее время. Они заметно больше, чем в Джунгарском Алатау, где этих особенностей нет [9].

Используя коэффициенты (табл. 1), средние месячные температуры воздуха  $T_{z_0}$  для каждого месяца года по 27 М, расположенным на изучаемой территории на расстоянии 370 км по долготе, были приведены к  $43^\circ$  с.ш., соответствующей средней широте Заилийско-Кунгейской ледниковой системы.

Полученные данные легли в основу построения зависимости  $T_{z_0}$  от географической долготы  $\lambda$ :



$$T_{z_0}(\lambda) = A_0 + (A_1 \cdot L_\lambda). \quad (2)$$

Коэффициенты полиномов и степень связи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты полиномов аппроксимации изменения  $T_{z_0}$  в зависимости от долготы места  $\lambda$ , степень их связи и градиенты  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$

Месяц	Коэффициенты полиномов		Степень связи $\Delta T_{z_0}$ с $\lambda$			$\Delta T_{z_0}(\lambda)$
	$A_0$	$A_1$	$r_y$	$\sigma_y, ^\circ\text{C}$	$\Delta y, \%$	$^\circ\text{C}/\text{км}$
1	-12,14	0,000	0,01	1,15	7	-0,0001
2	-8,81	-0,002	0,12	1,21	11	-0,0020
3	0,89	0,001	0,08	0,92	219	0,0010
4	9,78	0,003	0,24	0,97	7	0,0031
5	17,66	0,003	0,30	0,62	2	0,0026
6	22,70	0,001	0,05	0,78	2	0,0005
7	25,93	-0,001	0,07	0,84	2	-0,0008
8	24,17	0,000	0,02	0,86	3	-0,0002
9	18,42	0,001	0,09	0,99	4	0,0011
10	8,74	0,004	0,34	0,80	7	0,0039
11	-0,95	0,003	0,21	1,06	105	0,0030
12	-7,95	-0,001	0,03	1,16	12	-0,0005

*Примечание:* Здесь  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$  соответствует среднему долготному градиенту температуры воздуха на данной территории. Знак градиента соответствует направлению с запада на восток.

Аппроксимирующие прямые, полученные по указанным в табл. 2 коэффициентам полиномов, приведены на рис. 16.

Результаты расчётов показывают, что степень тесноты связи  $T_{z_0}$  с географической долготой  $\lambda$  на изучаемой территории оказывается ещё меньше, чем с широтой, особенно в те же зимние и летние месяцы. В весеннее и осеннее время она возрастает, но не настолько, чтобы считать её достаточно надёжной. Это связано с тем, что изменение температуры воздуха по долготе происходит медленнее, чем по широте: в среднем за год градиент температуры воздуха по долготе  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$  на изучаемой территории оказывается в 3,3 раза меньше, чем по широте  $\Delta T_{z_0}(\varphi)$ . Тем не менее,

полученные в течение года данные сохраняют совершенно определённую направленность процессов. Степень связи  $r_y$ ,  $\sigma_y$  и  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$  в зимнее и летнее время (так же как и по широте) уменьшается, а весной и осенью растёт, величина разброса  $\sigma_y$  летом меньше, чем зимой.

Используя средние многолетние средние месячные температуры воздуха 27-и М, приведённые к высоте  $z_0$   $\Delta T_{z_0}$ , а также широтные  $\Delta T_{z_0}(\varphi)$  и долготные  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$  градиенты этих температур (см. табл. 1 и 2), по формуле

$$T_{z_0}(\varphi, \lambda) = T_{z_0} + \Delta T_{z_0}(\varphi) + \Delta T_{z_0}(\lambda) \quad (3)$$

были вычислены температуры воздуха в "центральной" точке Заилийско-Кунгейской ледниковой системы.

Изменения температуры воздуха между М и этим пунктом определяются по формулам:

$$\Delta T_{z_0}(\varphi) = L_\varphi \cdot \Delta T_{z_0}(\varphi), \quad (4)$$

$$\Delta T_{z_0}(\lambda) = L_\lambda \cdot \Delta T_{z_0}(\lambda), \quad (5)$$

где  $L_\varphi$  и  $L_\lambda$  - расстояния по широте и долготе между М и точкой наблюдения, в км.

Расчёты ряда характеристик меры рассеивания результатов определения средних месячных температур воздуха в указанной точке приведены в табл. 3.

Полученные значения меры рассеивания означают среднюю точность, с которой можно определить температуру воздуха зимой и летом в любой точке изучаемой площади, относительно известных данных на М, по формулам (3 - 5) на высоте  $z_0$ , км.

***Определение средней суточной температуры воздуха на заданной высоте по средним месячным кривым её вертикального распределения в течение года***

Используя полученные широтные  $\Delta T_{z_0}(\varphi)$  и долготные  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$  градиенты температуры воздуха (принимаемые за постоянную величину как для каждого месяца года, так и любого-высотного уровня) и средние месячные температуры воздуха на М, соответствующие их абсолютным высотным уровням  $\Delta T_{z_0}$ , по формулам (3, 4, 5) были определены аналогичные темпера-

туры воздуха в центральной точке Заилийско-Кунгейской ледниковой системы с координатами  $\varphi = 43^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 77^\circ 15'$  в. д., которые выстроились по вертикали от  $z_0 = 0,3$  км до  $z = 3,7$  км над ур. м. и были уже достаточно свободны от влияния микроклимата конкретных М, рис. 2а.

Таблица 3

Мера рассеивания средней многолетней средней месячной температуры воздуха  $T$  для точки с координатами  $\varphi = 43^\circ$  с.ш.,  $\lambda = 77^\circ 15'$  в.д. с учётом широтных и долготных градиентов для высотного среза  $z_0$ , км

Месяц	Ср. арифм. ряда $\bar{T}_{x,y}$	Ср. абсол. отклонение $d_{x,y}$	Ср. квад- рат. откло- нение $\sigma_{x,y}$	Дисперсия $\sigma_{x,y}^2$	Относит. ошибка рассеиван. $x, y, \%$
1	-12,2	0,9	1,1	1,3	7,2
2	-9,2	1,0	1,2	1,5	11,1
3	1,1	0,8	0,9	0,9	69,1
4	10,4	0,8	1,0	0,9	7,6
5	18,2	0,5	0,7	0,5	2,9
6	22,8	0,6	0,7	0,5	2,5
7	25,7	0,7	0,8	0,7	2,8
8	24,2	0,7	0,8	0,7	3,0
9	18,6	0,8	1,0	1,0	4,3
10	9,3	0,7	0,8	0,7	7,4
11	-0,4	0,9	1,1	1,2	37,7
12	-8,1	1,1	1,3	1,7	13,6

Данные этих расчётов за каждый месяц года были аппроксимированы по методу наименьших квадратов. Наилучшее приближение во всех случаях дали полиномы четвёртой степени:

$$T_z = A_0 + A_1 \cdot z + A_2 \cdot z^2 + A_3 \cdot z^3 + A_4 \cdot z^4, \quad (6)$$

где  $z$  — абсолютная высота точки, км.

Коэффициенты полиномов связи средней месячной температуры воздуха с высотой места за каждый месяц года приведены в табл. 4.



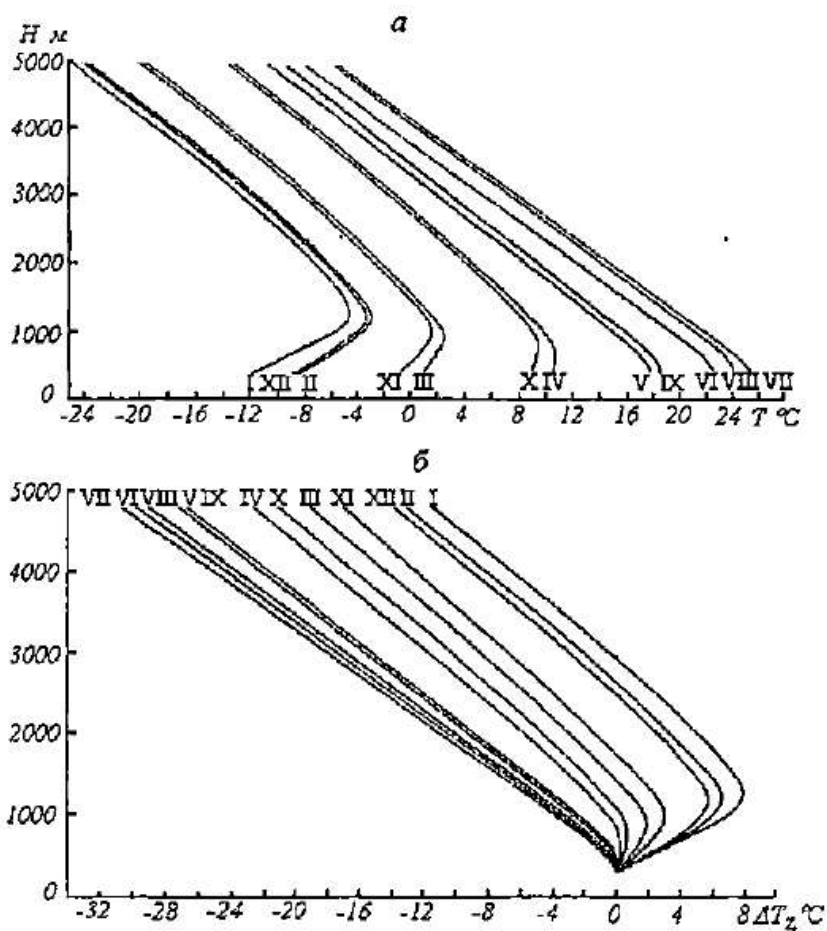


Рис. 2. Связь средних месячных температур воздуха  $T$  с высотой  $z$  в интервале  $0,3 - 0,5$  км «в центральной точке» Зашийско-Кунгейской ледниковой системы ( $\varphi = 43^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 77^\circ 15'$  в. д.) (а); и разность средних суточных температур воздуха  $\Delta T_z$  между  $\Delta T_{z_0} = 0,3$  км и  $T_{z_1}$  на любой другой высоте до  $z_1 = 5$  км в этой точке (б).

На рис. 2а видно, что с октября до января в нижних слоях атмосферы идёт процесс формирования и углубления температурных инверсий. В октябре их максимум располагается на высоте 800 м, а в январе - 1300 м. Затем начинается обратный процесс: понижение высотного уровня инверсии, который заканчивается в апреле. Выше зоны инверсии воздух начинает адиабатически охлаждаться, но этот процесс носит нелинейный характер, с высотой температурный градиент растёт.

В мае - августе до высоты 500 м воздух сильно прогревается. В результате активного турбулентного перемешивания градиент его температуры заметно уменьшается. Выше указанного уровня в атмосфере устанавливается процесс нормального адиабатического охлаждения: температура воздуха понижается линейно, то есть её градиент остаётся постоянным.

Таблица 4

Коэффициенты полиномов аппроксимации связи средних месячных температур воздуха с высотой в интервале высот 0,3...5 км в центральной части Заилийско-Кунгейской ледниковой системы и степень их связи

Месяц	Коэффициенты полиномов					Степень связи $T_{\varphi, \lambda} = f(z)$		
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$r_{x,y}$	$\sigma_y, ^\circ\text{C}$	$\Delta y, \%$
1	-19,52	25,78	-14,94	3,03	-0,22	0,999	0,29	2,74
2	-14,61	21,43	-13,21	2,75	-0,21	0,999	0,26	3,54
3	-1,35	9,51	-7,77	1,68	-0,13	0,999	0,19	9,11
4	10,20	3,06	-4,52	0,96	-0,07	0,999	0,13	2,80
5	19,03	-2,21	-2,48	0,58	-0,05	0,999	0,10	1,38
6	24,37	-3,62	-2,00	0,48	-0,04	0,999	0,12	1,37
7	27,29	-4,35	-1,63	0,40	-0,03	1,000	0,08	0,94
8	25,60	-2,60	-2,57	0,62	-0,05	0,999	0,11	1,34
9	19,59	-1,46	-2,98	0,71	-0,06	0,999	0,13	2,10
10	7,85	5,43	-5,63	1,19	-0,09	0,999	0,12	4,12
11	-4,19	12,90	-9,49	2,05	-0,16	0,999	0,20	13,77
12	-14,97	21,32	-13,09	2,71	-0,20	0,999	0,25	3,16

Были определены разности средних месячных температур воздуха  $\Delta T_z$  между  $T_{z_0}$  и  $T_z$  на любой другой высоте (с интервалом через 0,1 км), до высоты 5 км по формуле:

$$\Delta T_z = T_z - T_{z_0} \quad (7)$$

В этом случае разность температур воздуха на уровне  $z_0$  будет всегда равна 0 °С. Результаты расчётов показаны на рис. 2б, где чётко выделяются две группы линий разности средних месячных температур воздуха: летняя (май - сентябрь) и зимняя (октябрь текущего года - апрель следующего года). Линии разности температуры летних месяцев собрались в плотную группу и с абсолютной высоты ~ 600 м практически прямолинейны, т.е. в это время года градиент средних суточных температур воздуха остаётся постоянным. В зимние месяцы года наблюдается резкий распад линий разности температуры воздуха; их нелинейность в связи с присутствием температурных инверсий, приводит к возникновению различных градиентов температуры воздуха как по высоте, так и по знаку.

Для повышения точности вычисления средней суточной температуры воздуха на абсолютной высоте  $z_0$  по данным о температуре воздуха на  $M$  за каждый месяц года, полученные кривые (рис. 2б) аппроксимировались по методу наименьших квадратов от  $z_0$  до  $z = 3,1$  км, т. е. до верхнего уровня расположения  $M$  в районе Заилийско-Кунгейской ледниковой системы (табл. 5)

Таблица 5

Коэффициенты полиномов аппроксимации разности средних месячных температур воздуха  $\Delta T_z$  между  $T_{z_0}$  и  $T_{z_c}$  на любой другой высоте до  $z = 3,1$  км в центральной части Заилийско-Кунгейской ледниковой системы ( $\varphi = 43^\circ \text{с. ш.}$ ,  $\lambda = 77^\circ 15' \text{в. д.}$ ) и степень их связи

Месяц	Коэффициенты полиномов					Степень связи $\Delta T_z$ с $z_c$		
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$r_{xy}$	$\sigma_y, ^\circ\text{C}$	$\Delta y, \%$
1	-6,35	22,26	-10,18	0,67	0,16	0,99	0,30	11
2	-5,93	21,93	-12,85	2,21	-0,08	0,99	0,25	11
3	-3,78	15,56	-13,92	4,04	-0,43	0,99	0,12	7
4	-1,70	8,01	-9,68	2,99	-0,34	0,99	0,05	8
5	0,13	1,78	-6,75	2,31	-0,28	0,99	0,06	2
6	0,15	1,94	-8,03	2,96	-0,38	0,99	0,06	2
7	0,81	-1,08	-5,22	1,90	-0,24	1,00	0,05	1
8	0,11	2,16	-7,75	2,76	-0,35	0,99	0,08	2
9	-0,26	3,87	-8,76	3,09	-0,39	0,99	0,08	4
10	-2,32	9,97	-10,39	3,07	-0,34	0,99	0,08	15
11	-4,55	18,23	-14,72	3,97	-0,39	0,99	0,13	5
12	-5,75	21,00	-11,90	1,85	-0,03	0,99	0,26	12

Для вычисления средних суточных температур воздуха во всём высотном диапазоне гор (в том числе и высотном диапазоне расположения ледников), те же кривые за каждый месяц года (рис. 2б) аппроксимировались целиком (в нашем случае от  $z_0 = 0,3$  км до  $z = 5,0$  км, табл. 6). В обоих случаях наилучшее приближение для всех месяцев года дали полиномы четвёртой степени.

$$\Delta T_z = A_0 + A_1 \cdot z + A_2 \cdot z^2 + A_3 \cdot z^3 + A_4 \cdot z^4, \quad (8)$$

где  $z$  - абсолютная высота, в км.

Таблица 6

Коэффициенты полиномов аппроксимации разности средних месячных температур воздуха  $\Delta T_z$  между  $T_{z_0}$  и  $T_z$  до высоты 5 км в центральной части Заилийско-Кунгейской ледниковой системы и степень их связи

Месяц	Коэффициенты полиномов					Степень связи $\Delta T_{z_i}$ с $z_i$		
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$r_{xy}$	$\sigma_y, ^\circ\text{C}$	$\Delta y, \%$
1	-7,12	25,78	-14,93	3,03	-0,22	0,999	0,28	6
2	-5,61	21,43	-13,21	2,75	-0,21	0,999	0,26	9
3	-2,04	9,50	-7,76	1,68	-0,13	0,999	0,19	9
4	-0,30	3,06	-4,52	0,96	-0,07	0,999	0,13	14
5	1,23	-2,22	-2,48	0,58	-0,05	0,999	0,10	4
6	1,66	-3,61	-2,00	0,48	-0,04	0,999	0,12	3
7	1,69	-4,36	-1,62	0,40	-0,03	1,000	0,08	2
8	1,40	-2,61	-2,57	0,61	-0,05	0,999	0,11	4
9	1,20	-1,47	-2,97	0,71	-0,06	0,999	0,13	5
10	-1,05	5,43	-5,63	1,19	-0,09	0,999	0,12	17
11	-2,99	12,90	-9,49	2,05	-0,16	0,999	0,20	7
12	-5,67	21,32	-13,08	2,71	-0,20	0,999	0,25	8

Алгебраическая разность между средней суточной температурой воздуха  $T_z(\varphi, \lambda)_c$  на высоте  $M z_c$  и «разностью» средней месячной температуры воздуха  $\Delta T_{z_c}$  между  $z_0 = 0,3$  км и  $z_c$  за конкретный месяц года приводит к определению средней суточной температуры воздуха  $T_z(\varphi, \lambda)_c$  на высоте  $z_0$  в пределах плановых координат МС

$$T_{z_0}(\varphi, \lambda)_c = T_z(\varphi, \lambda)_c - \Delta T_{z_c} \quad (9)$$

Средняя квадратическая ошибка  $\sigma = 0,03$  °С.

Алгебраическая сумма средней суточной температуры воздуха  $T_z(\varphi, \lambda)$  в заданной точке расположения ледника с координатами  $\varphi, \lambda$  (или относительными координатами  $x, y$ , в км) на высоте  $z_0$ , км и «разности» средней месячной температуры воздуха на заданной высоте  $z(\Delta T_z)$ , полученной за конкретный месяц года, позволяют определить среднюю

суточную температуру воздуха на заданной высоте  $T_z(\varphi, \lambda)$ , в том числе и в пределах ледника:

$$T_z(\varphi, \lambda) = T_{z_0}(\varphi, \lambda)_c + \Delta T_z. \quad (10)$$

Средняя квадратическая ошибка  $\sigma = 0,16$  °С.

Суммарные величины средних квадратических отклонений  $\sigma$  по  $\varphi$ ,  $\lambda$  и  $z$  при определении средних суточных температур воздуха в любой точке изучаемой территории, определялись по формуле:

$$\sigma_{\varphi, \lambda, z} = \pm \sqrt{\sigma_{\varphi}^2 + \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_z^2}. \quad (11)$$

	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\sigma_{\varphi, \lambda, z},$ °С	1,64	1,74	1,33	1,26	0,90	1,07	1,20	1,23	1,34	1,17	1,54	1,66

По данным О.И. Субботиной [4] распределение температуры воздуха в горах Средней Азии подчиняется тем же закономерностям: в первую очередь она зависит от высоты, затем от широты места, а долготы существенной роли не играет.

#### Алгоритм расчета

Описанная задача решалась при помощи алгоритма и программы SSTVG. Последовательно, относительно данных каждой привлечённой М производится следующий цикл вычислений.

Текущие данные какого-либо месяца года о средней суточной температуре воздуха, полученные на абсолютной высоте М, приводятся к абсолютной высоте (желательно кратной десятым долям км), проходящей ниже самой низко расположенной М из участвующих в расчётах  $z_0$ . В нашем случае высота  $z_0$  равна 0,3 км. По формуле (8) для данного месяца года (коэффициенты полиномов см. в табл. 5) вычисляется средняя многолетняя разность средней суточной температуры воздуха  $\Delta T_{z_c}$  между  $z_0$ , где  $\Delta T = 0$ , и  $z_c$ . В данном случае в формуле (8)  $z = z_c$ .

Затем определяется текущая средняя суточная температура воздуха на уровне  $z_0$ :

$$T_{z_0} = T_{z_c} - \Delta T_{z_c}. \quad (12)$$

По плановым условным геодезическим координатам М  $x_c$  и  $y_c$  и ледника (группы ледников или любой другой точки в пределах изучаемой



территории)  $x_n, y_n$  определяется расстояние между ними по широте  $\Delta x_\varphi$  и долготе  $\Delta y_\lambda$  в км.

$$\begin{aligned}\Delta x_\varphi &= x_n - x_c, \\ \Delta y_\lambda &= y_n - y_c.\end{aligned}\quad (13)$$

По расстояниям  $\Delta x_\varphi$  и  $\Delta y_\lambda$  и пространственным градиентам средних суточных температур воздуха за каждый месяц года  $\Delta T_{z_0}(\varphi)$  и  $\Delta T_{z_0}(\lambda)$ , приведённым в табл. 1 и 2, определяется величина приращения температуры воздуха  $\Delta T(\varphi)$  и  $\Delta T(\lambda)$  между названными точками:

$$\begin{aligned}\Delta T(\varphi) &= \Delta x_\varphi \cdot \Delta t_{z_0}(\varphi), \\ \Delta T(\lambda) &= \Delta y_\lambda \cdot \Delta t_{z_0}(\lambda).\end{aligned}\quad (14)$$

Средняя суточная температура воздуха данного месяца года в точке пространственных координат расположения ледника (или группы ледников)  $T_{z_{0n}}$  определяется по формуле:

$$T_{z_{0n}} = T_{z_{0c}} + \Delta T(\varphi) + \Delta T(\lambda).\quad (15)$$

Аналогичным образом производятся вычисления текущей средней суточной температуры воздуха в точке плановых координат расположения ледника на уровне  $z_0$  по данным остальных М, расположенных в пределах изучаемой территории.

Результаты определения  $T_{z_{0n}}$  по всем М региона осредняются по формуле (16), что приводит к исключению влияния микроклимата каждой М на конечный результат расчёта

$$\bar{T}_{z_{0i}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{z_{0i}}}{n},\quad (16)$$

где  $i$  - порядковый номер М,  $n$  - общее число М.

По формуле (8) для каждого месяца года (коэффициенты полиномов см. в табл. б) определяется средняя многолетняя разность средней суточной температуры воздуха  $\Delta T_{z_0}$  между  $z_0$ , где  $\Delta T = 0$  °С, и любым высотным уровнем в пределах ледника  $z_n$ . В данном случае в формуле (8)  $z = z_n$ .

Средняя суточная температура воздуха на заданном высотном уровне в пределах ледника  $T_{z_n}$  определяется по формуле

$$T_{z_n} = \bar{T}_{z_{0n}} + \Delta T_{z_n}. \quad (17)$$

Предусмотрено два режима счёта: 1 – когда подсчёт средних суточных температур воздуха на всех ледниках горной страны ведётся для одних и тех же уровней с кратным шагом по высоте; 2 – когда средняя суточная температура воздуха определяется для любого высотного уровня.

Результаты счёта выдаются в виде таблицы, в которой для заданных высот точек на леднике  $z$  с плановыми координатами  $x$  и  $y$  за каждый день избранного периода печатаются средние суточные температуры воздуха. Предусмотрен вариант выдачи на печать средних значений температуры воздуха за период.

Кроме того, при необходимости, средние суточные температуры воздуха для любого интервала времени можно рассчитать при помощи вышеприведённых графиков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на ФОРТРАНе. - М., Изд-во "Мир", 1977, 584 с.
2. Справочник по климату СССР, вып. 18 "Казахская ССР", часть 2. "Температура воздуха и почвы", Гидрометеиздат, 1966.
3. Справочник по климату СССР, вып. 32 "Киргизская ССР", часть 2. "Температура воздуха и почвы", Гидрометеиздат, 1966.
4. Субботина О.И. Влияние орографии на температурный режим в горах Средней Азии. Тр. САРНИГМИ, вып. 59, 1971, 123 с.
5. Черкасов П.А. Радиационный баланс физической поверхности горного ледника в период абляции. Из-во "Наука" КазССР, Алма-Ата, 1980, 143 с.
6. Черкасов П.А. К вопросу об основной гляциологической формуле – температурном коэффициенте таяния снега и льда на физической поверхности ледников. – Географические основы устойчивого развития республики Казахстан. Алматы. "Гылым", 1998, С. 17 – 43.
7. Черкасов П.А. Расчёт составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы на примере Джунгарского Алатау. Автореф. дис. д-ра геогр. наук, М., 1991.

8. Черкасов П.А. Температура воздуха и общая облачность в пределах горной ледниковой системы (на примере Джунгарского Алатау). МГИ, вып. 89, М., 2000, С. 65 – 77.
9. Черкасов П.А., Диярова К.Ш., Вилесов Е.Н., Конева Л.П. Тепловой баланс и абляция на поверхности ледников хр. Джунгарский Алатау. Успехи Советской гляциологии. Материалы третьего всесоюзного гляциологического симпозиума. Изд-во "Илим", Фрунзе, 1968.
10. Шкута Ю.К., Инчин А.С. Алгоритмы и программа общего случая квадратического приближения функций одной переменной. – Алма-Ата, 1974, 11 с. Деп. в ВИНТИ. № 2144-74, УДК 618.5, зак. 2034.

Институт географии МОН РК

### **ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ КҮНГЕЙІНДЕГІ ТАУ МҮЗДАҚТАРЫ ЖҮЙЕСІ ШЕГІНДЕГІ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ЖАЛПЫ БҮЛГІТІЛІК**

Геогр. ғылымд. канд. П.А. Черкасов

*Іле Алатауының күнгейіндегі тау мұздақтары жүйесіндегі үш өлшемдік кеңістіктің кез келген нүктесіне арналған ауаның орта тәуліктік температурасын есептеудің бірінші нұсқасын жасау әдісі суреттелген.*