

天山乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来 冰川变化和发育环境的研究

秦大河

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

冯兆东 李吉均

(兰州大学地质地理系)

乌鲁木齐河源地区位于我国天山中段喀拉乌成山北坡,西起天格尔第一峰,东到望峰道班附近,包括罗卜道沟、琼萨尔萨依沟等四条支谷在内,面积约52平方公里,海拔均在3000米以上。本区内除发育现代冰川外,还保存更新世末期和全新世的古冰川遗迹(见本刊本期冯兆东文图1,以下简称冯图1),为研究本区冰川变化、古冰川发育环境提供了宝贵的资料。

一、冰川发育序列

自主玉木冰期以来,本区经历了四次不同规模的冰川作用,现分述如下。

1. 现代小冰期冰川作用

现代冰川是冰期冰川演化的结果,其特征和分布见表1,冯图1。六十年代初,现代冰川的实测零平衡线高度为4050—4100米^[1],1980年笔者测得4100—4150米的值。

现代冰川外围普遍排列三道冰碛垅,一般认为是17世纪以来现代小冰期冰川作用和变化的产物^[2]。冰碛形态完整,从外向内依次变新,表层未发育土壤。据第一列冰碛物的分布范围和高程,可恢复小冰期最盛时冰川发育的规模(图1)。当时冰川总面积达12.86平方公里,雪线平均高程3889米,比现代低49米,按一般温度梯度,相当于降温约0.3—0.4℃。

据冰碛垅的分布恢复1号冰川小冰期各阶段冰川面积,分别为2.48、2.41和2.15平方公里,比现代分别多27%、24%和10%。又对冰碛垅高程进行分析并采用经验公式*计算,得知1号冰川小冰期和现代的冰量分别为10104万立方米和8970万立方米,现代比当时减少11%左右。

小冰期的存在已从各方面的研究得到证实,此间北半球冰川普遍前进,一般认为其时代是公元1500年到1920年^[3]。竺可桢认为中国17世纪是最寒冷期^[4]。笔者认为,和中国南方、欧洲相比,祁连山圆柏年轮(917年树龄)的研究结果^[5]对天山有较大的参

* 采用冰川编目使用的经验公式。

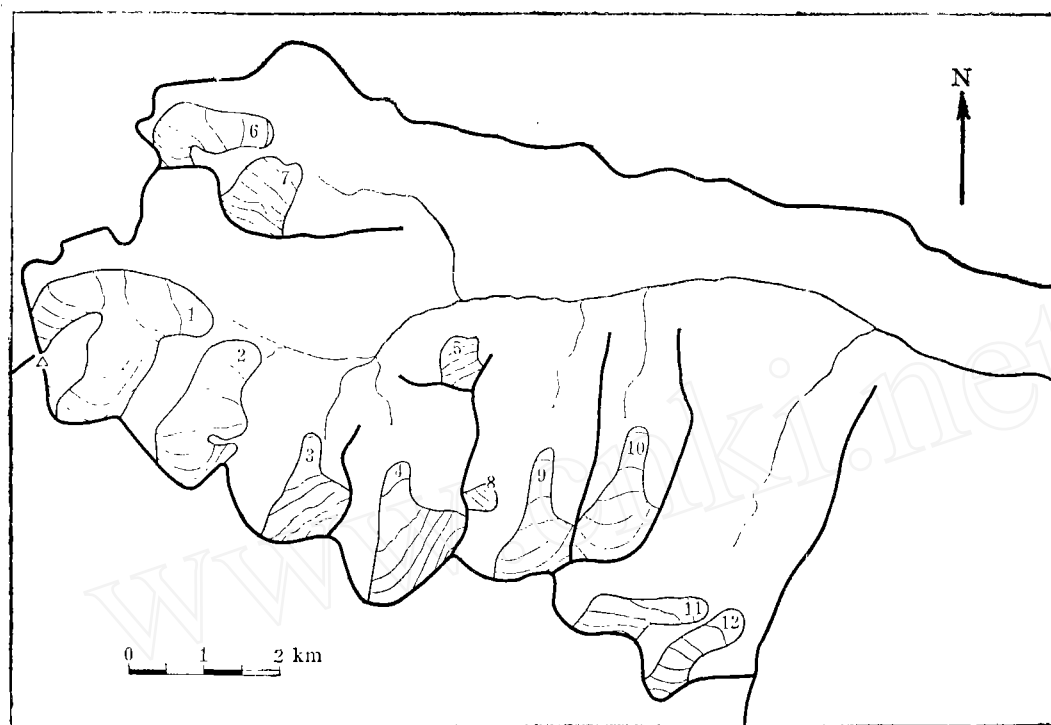


图1 乌鲁木齐河源地区现代小冰期冰川分布图

Fig. 1. Glacier distribution in the headwater of Urumqi River during little ice age

考价值。按照这一资料,我国西部山区小冰期始于1620年,以后出现三个时间尺度更小的冷阶段,恰与1号冰川末端三列冰碛垅相对应。若三个最冷阶段时冰川为正平衡,相对较暖期为负平衡,可得到冰川变化的数据(表2)。看来,在相对较暖期,平均每年损失5—6万立方米的冰量,比六十年代初低一个数量级(—25.2万立方米/年)。说明小冰期时即使是较暖期,气候仍然比现在寒冷。

2. 新冰期冰川作用

天山站以上海拔3600米处有一套冰碛,表层土壤厚度不超过10厘米,覆盖草皮,局地已沼泽化。冰碛规模不大,切割较弱。据其位置、形态和风化凌夷程度分析,该冰碛比小冰期终碛老,但比天山站北侧冰碛垅新。据D.E.Sugden等研究,全新世7800年B.P.、5300年B.P.和2800年B.P.时,北半球普遍出现低温严寒和冰川推进,其中2800年B.P.降温最甚,冰川规模最大^[3、4、6]。在本区缺少绝对年代资料的情况下,据地貌特征推测这套冰碛为2800年B.P.新冰期产物,看来是比较可靠的。

新冰期时本区有10条冰川,总面积达16.03平方公里,雪线平均高程3845米,比现代低95米,相当于降温0.65℃(表3,图2)。

表 1 乌鲁木齐河源地区现代小冰期(冰盛)和现代冰川有关参数一览表

Table 1. Some data about glaciers in the headwater of Urumqi River in little ice age and present

编号	冰川所在地	现代小冰期(冰盛)冰川				现代冰川			
		冰川类型	朝向	面积 (km ²)	长度 (km)	雪线高程 (m)	冰川类型	朝向	面积 (km ²)
1	乌鲁木齐河源	山谷冰川	NE	2.43	2.80	3525	(双支)冰斗冰川	NE	1.95
2	乌鲁木齐河源	冰斗-山谷冰川	N	1.93	2.90	3510	冰斗冰川	N	1.15
3	乌鲁木齐河源	冰斗冰川	N	1.67	1.50	3500	冰斗-悬冰川	N	0.74
4	乌鲁木齐河源	冰斗-山谷冰川	N	1.35	1.50	3510	冰斗-悬冰川	N	1.04
5	河源草帽U谷 上壁上部	冰斗-悬冰川	NW	0.65	0.80	3700	悬冰川	NW	0.20
6	萝卜道沟	冰斗-山谷冰川	E	1.46	1.60	3550	冰斗-山谷冰川	E	0.75
7	萝卜道沟	冰斗冰川	NE	0.55	1.05	3700	冰斗-悬冰川	NE	0.16
8	南侧悬谷谷底	悬冰川	E	0.12	0.60	/	悬冰川	E	0.10
9	南侧悬谷谷底	冰斗-山谷冰川	N	0.85	1.60	3570	冰斗-山谷冰川	N	0.78
10	南侧悬谷谷底	冰斗-山谷冰川	N	0.97	1.90	3580	冰斗冰川	N	0.71
11	玛萨尔萨依沟	冰斗-悬冰川	NE	0.71	1.03	3600	冰斗-悬冰川	NE	0.51
12	玛萨尔萨依沟	冰斗冰川	NE	0.69	1.70	3600	冰斗-悬冰川	NE	0.31

现代小冰期冰川总面积12.86平方公里, 雪线平均高程3889米, 现代冰川总面积8.75平方公里, 雪线平均高程3940米。

表2 乌鲁木齐河源1号冰川现代小冰期冰量变化估算值

Table 2. Glacier evolution data in the headwater of Urumqi River during little ice age

冷暖期	时代 (年)	持续时间 (年)	面积比最盛期减少值 (km^2)	平均厚度 (m)	减少冰量 ($\times 10^4 \text{m}^3$)	平均每年减少冰量 ($\times 10^4 \text{m}^3$)
较暖期	1870—1930**	92	0.20		491	5.3
阶段Ⅱ	1830—1870	40		24.5		
较暖期	1745—1830	85	0.26		478	5.7
阶段Ⅱ	1700—1745	45		18.3		
较暖期	1670—1700	30	0.07		165	5.5
小冰期(最盛)	1620—1670	50		23.6		

* 系指冰舌段丢失部分冰体的厚度。

** 相对暖期为1870—1930年,因使用1962年绘的地形图,故延长为92年。

表3 乌鲁木齐河源地区新冰期冰川有关参数

Table 3. Glacier data in the headwater of Urumqi River in Neoglaciation

编号	冰川所在地	冰川类型	朝向	面积 (km^2)	长度 (km)	末端高程 (m)	雪线高程 (m)
1	乌鲁木齐河源	冰斗-山谷型	SE	0.82	1.60	3660	4000
2	乌鲁木齐河源	山谷型	E	4.88	3.70	3560	3855
3	乌鲁木齐河源	冰斗-山谷型	N	1.10	1.95	3540	3785
4	乌鲁木齐河源	山谷型	N	1.54	2.90	3560	3855
5	河源南侧	悬冰川	N	0.70	0.85		
6	罗卜道沟	山谷型	E	2.74	2.70	3610	3905
7	河源南侧	悬冰川	NE	0.18	0.65		
8	河源南侧	山谷型	N	1.34	2.70	3470	3780
9	河源南侧	山谷型	N	1.35	2.50	3500	3760
10	琼萨尔萨依沟	冰斗-山谷型	NE	1.95	2.10	3570	3820

冰川总面积16.03平方公里,雪线平均高程3845米。本表均据地形图和航片量测,部分辅以野外资料。

3.晚更新世冰川作用

位于乌(乌鲁木齐)库(库尔勒)公路107.5—111公里段的望峰冰碛,全长3.5公里,宽400—800米,厚约200米,自下游向上依次划分为3列。第一、三两列各占总长的四分之一左右,第二列约占二分之一(图3)。在第二列冰碛末端处, C^{14} 测得冰碛物的

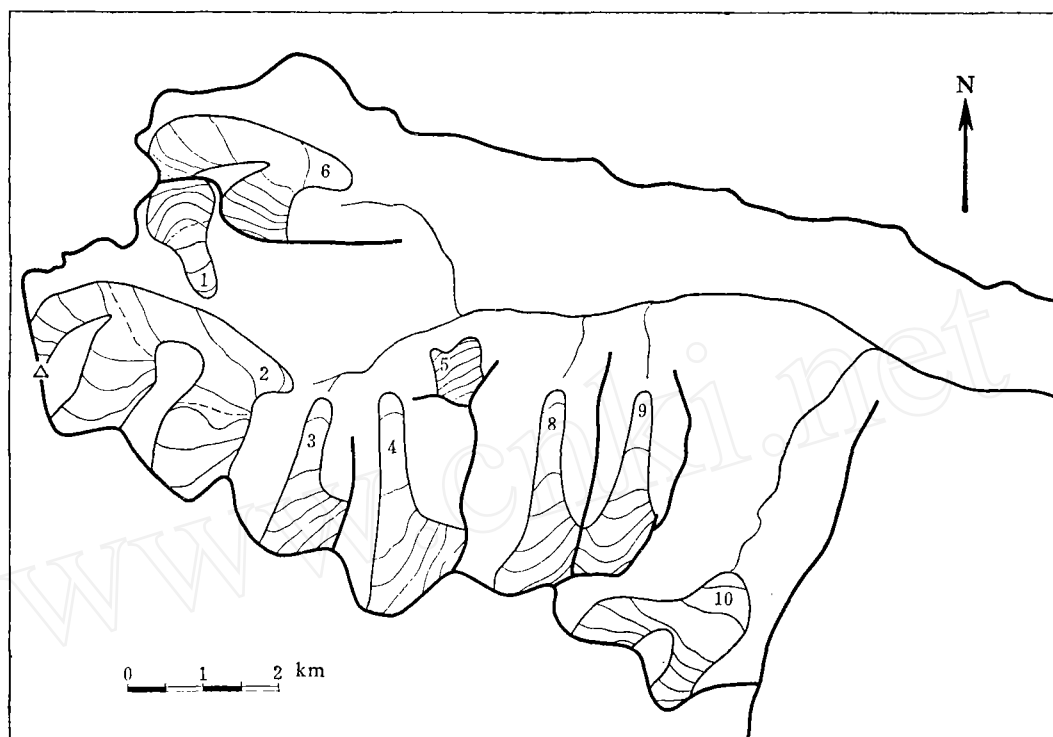


图2 乌鲁木齐河源地区新冰期冰川分布

Fig.2. Glacier distribution in the headwater of Urumqi River during Neoglaciation

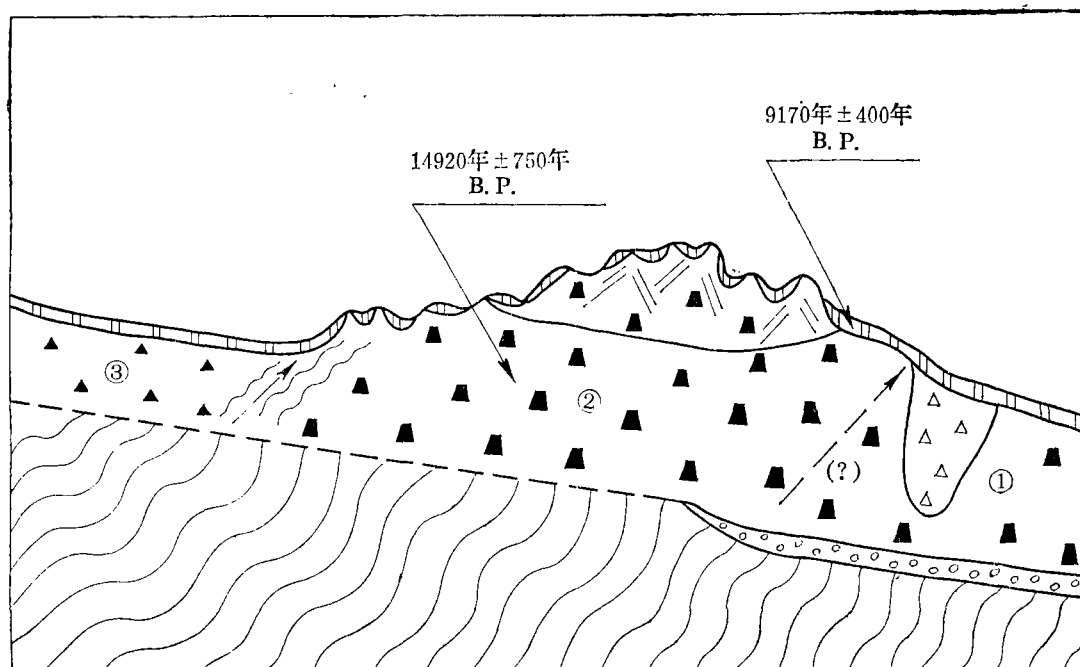


图3 望峰冰碛纵剖面略图

Fig.3. Profile of Wangfeng moraine

绝对年龄为 14920 ± 750 年,上覆土壤为 9170 ± 400 年,冰碛石上的钙质结壳为 5530 ± 220 年^[7]。

三列冰碛物表面均覆盖土层,厚40—80厘米,无明显差异。第一、二列是冰碛主体。第一列表面较平坦,无明显地形起伏,可分为上、中、下三层。上层很薄,是表面融出碛;中层最厚,约为80米,为冰下融出碛,主要成分是黑云母花岗岩、石英岩、眼球状片麻岩等;下层厚4—8米,为冰水沉积,显示冰川末端底部曾发育冰下河道。第三列厚度可达200米,表面起伏不平,因岩性呈灰绿色,追溯物质来源,系来自南侧支谷琼萨尔萨依沟,主要是凝灰质砂岩和绢云母片岩。第二列的中、下层和第一列的岩性相同,并保持地层上的连续关系。第三列冰碛较薄,约70—80米,岩性同第二列中层,和第二列之间有轻微的挤压形迹。对望峰冰碛的粒度、组构和冰碛成因的研究表明,第一、二两列冰碛系死冰消融型冰碛^[8]。笔者认为,这反映冰川发育到最盛并持续一段时间,冰川处于消极状态,之后又迅速退缩这样一种动力过程。第三列冰碛与前两列不同,有超覆挤压现象,应是后期冰川再次推进的产物。

罗卜道沟口以下主谷北侧山坡上还残存3—5列古侧碛,最上一列高出谷底220米左右,最下一列是120米左右,高差达100米。天山站北侧山麓3500—3560米处也有一列冰碛,表面覆盖厚约30—40厘米的黄土,和望峰冰碛表面的黄土性状一致,属同期沉积。

笔者实地观察,距主U谷谷底150—200米的上U谷底,堆积有大片冰碛,厚达十余米,表层黄土厚20—25厘米。主要成分和望峰冰碛主体部分一致,唯磨圆度较高,次圆高达60%以上。我们推测望峰冰碛一、二列和这套冰碛以及最上列古侧碛是同次冰川作用的产物。望峰冰期时冰川局部覆盖岩屑,冰川西侧形成排水河道,因而冰碛物的磨圆度较高。这在现代冰川两侧也是常见的。

据上述分析和现有的 C^{14} 年代资料,笔者认为,本区末次冰期可分为两次冰川作用(或冰进阶段),沿用前人名称分别称为望峰冰期和晚冰期。

据北半球末次冰期研究资料,望峰冰期起始年代应为25000年B.P.,最盛时为18000年B.P.。据冰碛物代表的冰川最盛到结束,为18000年B.P.到15000年B.P.。当时冰川长12.3公里,面积达33.9平方公里,末端高程3020米,属大型复式山谷冰川(图4)。用荷菲尔法算出雪线高程为3620米,比现代低320米,当时冰川末端厚度可达200米,中段可达220米,考虑到冰川厚度,则雪线落到现代地面3400米左右,恰与发育不甚完好的古冰盆部位对应。

望峰冰期之后,本区又经历了一次规模略小的冰川作用。推算冰川中段厚度超过120米,末端厚约80—100米,冰川长度11.2公里,面积25.02平方公里,雪线高程3700米,恰好落在3600米处古冰盆后壁顶部附近(图5)。S.C.Porter 在新西兰南阿尔卑斯(South Alps)地区工作之后,认为该区Otiran阶段冰川作用的年代是9520—11950年B.P.^[9]。C.Embleton和C.A.M.King也指出,西欧和北欧约在8200—13000年B.P.普遍发生过一次不同于主玉木冰期的冰川作用^[10]。其中Böling阶段持续时间最长,时代为10200—12800年B.P.。考虑到北半球玉木冰期后普遍存在这次冰川作用,并称之为晚冰期(Late Glacial Age),我们把本区这次冰进亦称为晚冰期,其时代暂定为9500—13000年B.P.。天山站北侧的冰碛亦属晚冰期冰川产物,有可能属于晚冰期冰退的某

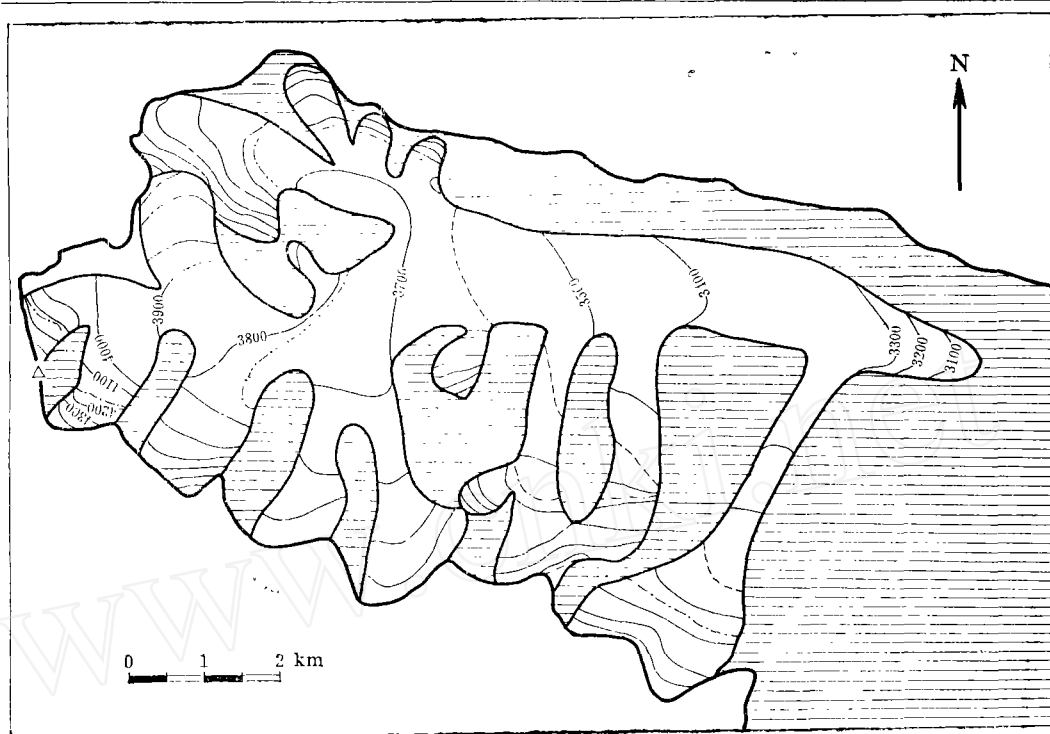


图4 乌鲁木齐河源地区望峰冰期冰川分布

Fig.4. Glacier distribution in the headwater of Urumqi River during Wangfeng ice age

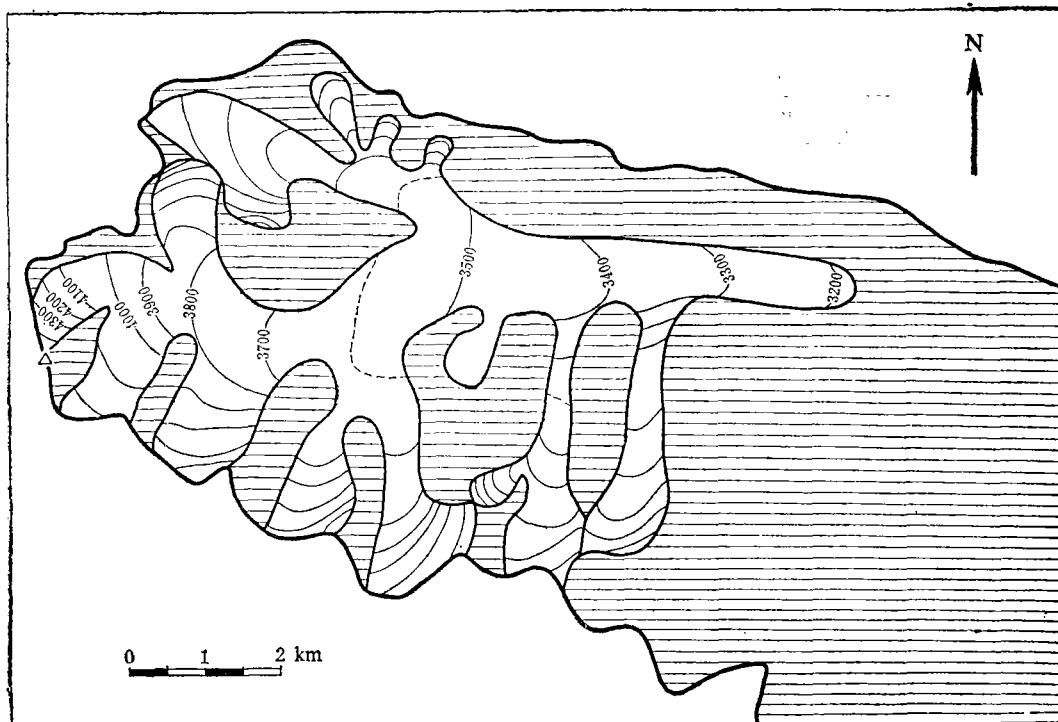


图5 乌鲁木齐河源地区晚冰期冰川分布

Fig.5. Glacier distribution in the headwater of Urumqi River during late glaciation

一阶段,而望峰冰碛第三列则标志着晚冰期最盛所达到的规模,故其前方与第二列间形成一剪切带。

二、冰 川 变 化

1.面积、厚度和冰量变化

研究区自玉木冰期以来经历了规模不同的四次冰川作用,冰川类型从较大的复式山谷冰川演变为现代的小型冰川。从望峰冰期到现代,冰川面积从33.90平方公里减到8.75平方公里,缩小了72%;冰川厚度从200多米减少到数十米;冰量从711900万方减少到21000万方,减少了97%(表4)。这些变化在各次冰川作用之间并不是等量的。以冰量变化为例,望峰冰期到晚冰期、新冰期、小冰期最盛和现代,分别减少57.8%、91.2%、93.7%和97%。可见望峰冰期和晚冰期、新冰期和小冰期,前两期比较接近,后两期比较接近。两组间存在一界限,即全新世和更新世的分界线,年代约相当于9500—10000年B.P.。显而易见,全新世和晚更新世冰川作用规模不同,前者比后者低一个数量级。

表4 乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来冰川变化参数

Table 4. Glacier evolution data in the headwater of Urumqi River since main Würm ice age

冰川序列	冰 川 沉 积	时 代 (年)	冰川面积 (km ²)	冰川厚度 (m)	冰 量 (10 ⁴ m ³)	雪线现 代高程 (m)	雪线校 正高程 (m)	雪线降 低 值 (m)	温度降低值 (℃)
现代冰川			8.75		21000	3940	3940		
现代小冰期	1号冰川前终碛 第三列 第二列 第一列	1830—1870 1700—1745 1620—1670	12.86		45010	3889	3889	49	约0.4
新冰期	1、2号冰川终碛	约2800年B.P.	16.03		62517	3845	3845	95	约0.7
晚冰期	天山站北侧的冰碛; 罗卜道沟口古侧碛最 下列;望峰冰碛第三 列	约 9500—13000年 B.P.	25.02	约120	300240	3700	3390	550	约3.6
望峰冰期 (主玉木)	望峰冰碛一、二列; 罗卜道沟口古侧碛上 列;上U谷内的冰碛	1800—15000年 B.P.	33.90	约210	711900	3620	3290	650	约4.3

2.雪线降低值

新冰期以来雪线降低值均不超过100米,即使按现代冰川上的降温梯度^[1],降温值不超过1℃。新冰期距今时间短,构造运动对雪线影响很小,可不予考虑。较老的两次

冰川作用距今已有一、二万年，冰后期山体上升对雪线降低值有一定的影响。以望峰冰期为例，和世界同纬度及相邻地区对比，320米的雪线降低值显然偏低。因缺乏本区山体上升量的资料，笔者建议采用同纬度冰川气候相近区的雪线降低值来估算本区雪线实际降低值。据表5所列，估计本区望峰冰期雪线降低值约650米，相应晚冰期应为550米，分别相当于降温4.3℃和3.6℃。玉木冰期世界各地降温不同，一般均在3—12℃之间，本区4.3℃值是偏低的。

表5 北半球部分地区玉木最盛期雪线降低值^{〔1〕}
Table 5. Snowline values lowering than present in some regions of North hemisphere in last glaciation

地 区	纬 度 (度)	雪 线 降 低 值 (m)
侏罗阿尔卑斯	46.5	1200
底那列克阿尔卑斯	43	1100
阿尔泰山(苏联部分)	50	800—900
帕米尔西北部	38	750—950
帕米尔东北部	38	350—450
比利牛斯山	42—43	900—1100
中央高加索	42.5—43	900—1100
天山(苏联部分)	42	600—700
祁连山中段	39	590—630*
乌鲁木齐河源地区	43	约650

* 见本文第一作者，1981，冰川冻土，第2期。

三、晚更新世末期的气候模式

晚更新世末全球普遍经历了一次冰川作用，一般以阿尔卑斯山的玉木冰期来表示。各地资料表明，玉木冰期分早、晚两个阶段。晚(主)玉木冰期发生在25000—15000年B.P.，18000年B.P.冰川达到全盛，望峰冰期即相当于此时段。

玉木冰期时气候和地球表面状况与现代殊不相同^{〔12—15〕}。冰期全球气候严寒，北半球因斯堪的纳维亚等处冰盖扩张和山地冰川推进，呈现一片冰雪世界；南半球浮冰向北扩展，南极冰盖增厚，冰面最高处高程达4040米(82°S, 75°E)。全球大陆冰川覆盖率增加到18.2%，几乎等于现代9.3%的两倍。冰期降温、海水蒸发需要热量，冰盖释放的冰山注入海洋等均影响海面温度。据CLIMAP研究，18000年B.P.七月份海面平均降温2.3℃，异常区可降温17.2℃(北大西洋42°N, 60°N)，水文循环也有变化。冰期大量水体迁移到冰盖，海面比现代平均降低至少85米。气候变化引起植物带迁移。西西伯利亚苔原森林向南推移900—1000公里，伊朗、西班牙、以色列等地中海沿岸地

区当时为干冷草原,一些地区的森林带被草原、冰水冲积平原和沙漠取代。植物群落的改变增加了地表反射率,虽然这一改变对全球气候波动的影响不大,但连同全球广泛分布的冰盖、冰川和浮冰一道,加剧了冰期的寒冷。关于冰期是干冷还是湿冷这一问题,近年认为,18000年B.P.全球气候在比较干冷的基础上大致可分为两类:热带地区一般比现代干冷;北半球中纬地区因地而异。例如21000—14000年B.P.,热带非洲、澳大利亚、撒哈拉沙漠西北部,以及印度、东南亚等亚热带地区干旱加强,澳大利亚低地湖泊迅速干涸。但美国东南部却是高水位湖泊,西天山冰碛阻塞湖达到最盛。

中国东部地区晚更新世末期气候资料比较多。主玉木冰期时我国东部地区温度较低,降水较少,为干冷气候^[16—18]。

乌鲁木齐河源地区位于大陆腹地,北有阿尔泰山,西邻帕米尔高原,西南是包括昆仑山在内的青藏高原,望峰冰期时地貌轮廓即已如此。周围高山环绕影响本区上空水汽来源。我国西部夏季风的界线,目前在酒泉、尼泊尔加德满都一线,冰期时还要南移,不可能将水汽输送到天山地区。阿尔泰山海拔较低,冰期时向南扩张的西伯利亚冷气团和北冰洋气流可以抵达本区。然而冷空气绝对湿度本来就小,加之南下过程中被阿尔泰山截留部分水汽,抵达本区时温度升高,反而更加干燥。故北方气流输送水汽的机率很低。由于冰期时60°N附近的强盛西风南移到40°N附近,并有所加强^[19],乌鲁木齐河源地区上空处于盛行西风控制之下,因此冰川发育所需水汽主要依赖西风环流。但西风环流和季风不同,其输送层垂直跨度较大,在携带大西洋水分沿纬向输送时,沿途主要丢失的是下部的水体,上层携带的水体可顺利抵达本区上空,为冰川发育提供条件。在冰期气温很低的情况下高山带的降雪量必然增加。

至于本区干湿状况,估计望峰冰期时,这里的气候冷而略潮,但湿度不可能很大。因为冰期时大量水体转移到冰盖内,遥远的大西洋水汽也不可能被大量输送过来,其次望峰冰期冰川塑造的地质地貌形态具有大陆性冰川的特征。E·德比希尔博士计算了此地末次冰期冰斗的形态参数,认为当时冰川活动性不高。这些从侧面证明当时降水量有限,估计湿润程度和现代差别不显著,但由于冰期降温,相对湿度增加。鉴于上述原因,当时冰川仍然是亚大陆性冰川。

参 考 文 献

- [1] 谢自楚等,1965,天山乌鲁木齐河源1号冰川的积累、消融及物质平衡,天山乌鲁木齐河冰川与水文研究,14—24页,科学出版社。
- [2] 施雅风等,1965,天山乌鲁木齐河源冰川的形态特征与历史演变,天山乌鲁木齐河冰川与水文研究,83—87页,科学出版社。
- [3] Sugden, D. E. and John, B.S., 1976, *Glaciers and Landscape, A Geomorphological Approach* PP. 144—122.
- [4] 竺可桢,中国近五千年来气候变迁的初步研究,竺可桢文集,科学出版社,1979年出版。
- [5] 卓正大,1981,从祁连山圆柏(*Sabins Przewalskii Kom*)年轮的测定推论该地区气候和冰川变化的趋势,植物生态学与地植物学丛刊,1卷1期,12—27页。
- [6] Denton, G. H. and Karlen, W., 1973, *Holocene climatic variations-their pattern and possible-cause*, Q.R., 3, PP.155—205.

- [7] 王靖泰, 1981, 天山乌鲁木齐河源的古冰川, 冰川冻土, 3卷增刊, 58页。
- [8] 冯兆东等, 1984, 天山乌鲁木齐河源末次冰期以来终碛的沉积类型和沉积过程, 冰川冻土, 本期, 39页。
- [9] Porter, S.C., 1975, Equilibrium-Line altitudes of Late Quaternary glaciers in the South Alps, New Zealand, Q.R., Vol.5, No.1, PP.27—48.
- [10] Clifford Embleton and Cuchlaime A.M.King, 1971, Glacial and periglacial geomorphology, PP. 14—15.
- [11] Тронов, М.В., 1966, Ледник и климат. Л., Гидрометеорологическое издательство, стр. 328.
- [12] CLIMAP Project Members, 1976, The surface of the Ice-Age Earth, Quantitative geologic evidence is used to reconstruct boundary conditions for the climate 18000 years ago, *Science*, Vol.191, No. 4232, PP.1131—1137.
- [13] Peterson, G.M., et al., 1979, The Continented record of environmental condition at 18000 years B.P. An Initial Evaluation. Q.R., Vol.12, No.1, PP.47—82.
- [14] Lawrence Gates, 1976, Modeling the Ice-Age Climate, The July climate of 18000 years ago has been simulated with a global atmospheric model. *Science*, Vol.191, No.4232, PP. 1138—1144.
- [15] Street, F. A. and Grove, A.T., 1979, Global maps of lake-level Fluctuations since 30000 years B.P. Q.R., Vol.12, No.1, PP.83—118.
- [16] 孔昭辰等, 1980, 北京地区距今30000—10000年植物群发育和气候变迁, 植物学报, 22卷4期, 330—338页。
- [17] 沈承德等, 1981, 中国东海大陆架C¹⁴年代学及晚更新世以来海面变化, 科学通报, 26卷3期, 162—165页。
- [18] 任美锬等, 1980, 论现实主义原则在海洋地质学中的应用, 以中国海岸及近海大陆架为例, 海洋学报, 2卷2期, 94—111页。
- [19] W.Lawrence Gates, 1976, Modeling the ice-age climate *Science*, Vol.191, No. 4232, PP.1138—1144.

(本文于1983年4月29日收到)

Discussion on the Fluctuation and the Environment Since Main Würm Glaciation in the Headwater of Urumqi River Tianshan

Qin Dahe

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica)

Feng Zhaodong and Li Jijun

(Department of Geology and Geography, Lanzhou University)

Abstract

In this paper, the glaciations and the their variation since main Würm in the upper reaches of Urumqi River were studied on the basis of the glacial erosion and sedimentation and the existing glaciers were also considered. Evidences showed that there were four glaciations of different scales, namely the Wangfeng glaciation (about 18000—15000 year B.P.), the Late glaciation (about 13000—9500 year B.P.), the Neoglaciation (about 2800 year B.P.) and the Little Ice Age (about 300 year B.P.). The snowlines were correspondingly 650, 550, 95 and 49 meters lower than that of the existing glacier, annual mean temperature near the snowlines being lowered about 4.3°C, 3.6°C, 0.7°C, 0.4°C respectively. Glacial ice became thinner from over 200 metres to a few dozens of metres. The total glaciated area and the ice volume reduced from 33.90 km² and 7119×10⁶ m³ to 8.75 km² and 210×10⁶ m³ respectively.

Time after time ancient glaciers shrunked, From the evidences of glacial erosion and sedimentary relics, there must have been temperate ice at the base of the glacier subglacial channels, and base sliding. Nevertheless, the glacial threshold developed rather poorly in the ancient cirque, indicating that the rotational sliding in the firn basin was not strong. For these reasons the ancient glaciers in Wangfeng glaciation might be still subcontinental.

The authors think further study on whether the climate of the westerly belt in the Ice Age in this region was wet-cold or not. If a wet-cold climate prevailed in Ice Age, the ancient glaciers would have grown into an even greater extent and changed their nature (probably from continental to temperate).