

# 天山博格达峰四工河5号冰川 前缘的槽碛垄

郑 本 兴

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

槽碛垄是位于冰川前面低平处、与冰川流向一致的沟垅相间的平行冰碛垅。在国外对槽碛垄的报道和成因探讨的文献很多〔1—3〕。在国内有关槽碛垄的报道极少。1980年我们在天山乌鲁木齐河源1号冰川前注意到槽碛垄，其形态仅数十厘米高。1981年我们在博格达峰北坡四工河5号冰川前观测到的槽碛垄，数量多，高度大，可以说是我国到目前为止所发现的槽碛垄最发育的地区。本文就它们的形成特征、粒度组成、组构与其成因问题进行讨论。

## 一、槽碛垄的形态特征

我们在博格达峰北坡四工河5号冰川前缘宽370米的距离内测得与冰流方向一致的槽碛垄共56条，槽碛垄的走向为北西30—45°之间，其间还夹有一条小型蛇形丘（图1，

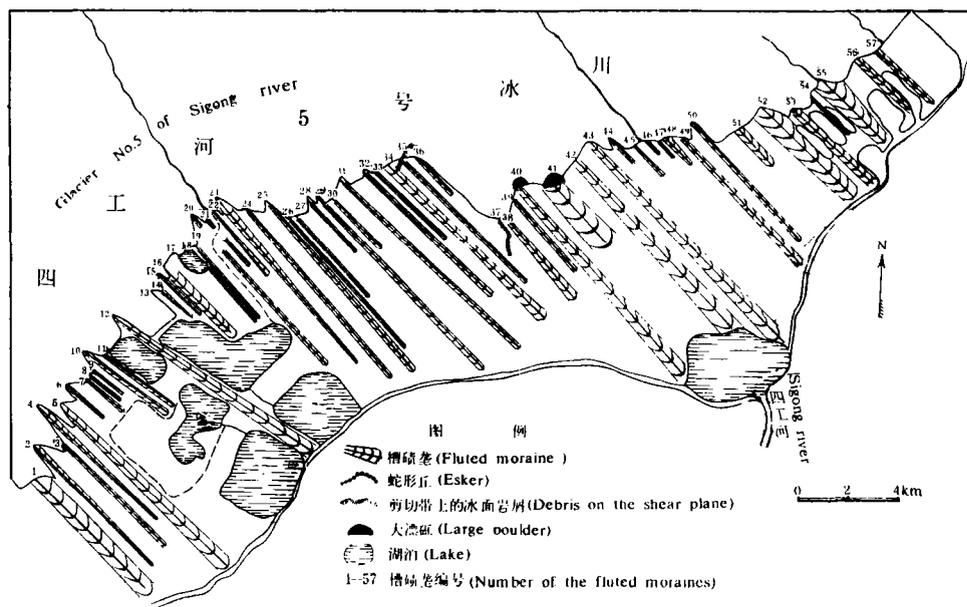


图1 博格达峰四工河5号冰川前槽碛垄分布图

Fig.1. Distribution map of fluted moraines in the front of glacier No.5 at Sigong river in Mt. Bogda area

照片 1 )。

槽砾垅长度一般在10—40米之间的共32条,在80—100米的有10条,最长的达110米,其平均高度在1米以下,最高的达4米;平均宽度以1—3米为最多,共35条,最宽的达12米。其中最大宽度在2—8米者,有14条;其长度可超过80米;而最大宽度超过8米以上者,其长度不超过50米;最大高度超过1米的槽砾垅,其最大宽度均在4米以上。

本区有些槽砾垅比冰岛、斯匹次卑尔根、阿拉斯加和北美蒙塔拉等冰川前的槽砾垅还要高大,与冰岛的相近,而低于加拿大阿尔伯塔地区的槽砾垅(表1)。

表 1 不同作者所观测到的槽砾垅最大高度

Table 1. Maximum height of fluted observed by various authors

地 点 Region	槽砾垅最大高度 Maximum height(m)	著 者 Authors
斯匹次卑尔根, 布朗斯冰得布伦 Blomstrandbreen, Spitsbergen	0.2	Paul and Evans [4]
冰岛, 布勒达麦尔角普尔 Breidamerkurjokull Iceland	1.0 0.67	Bonlton and Dent 1974 [3] Morris and Morland [5]
冰岛, 布鲁尔角普尔 Bruarjokull, Iceland	2.0 1.0	Todtmann [5] Hoppe and Schytt [2]
阿拉斯加, 皮特诺夫冰川 Petrof Glacier, Alaska	0.45	Grant and Higgins [5]
北美蒙塔拉, 格林奈尔斯伯里冰川 Grinnel Glacier, Sperry Glacier Montana	0.9	Dyson [1]
加拿大, 阿尔伯塔, 阿瑟巴斯卡 Athabasca Alberta	20	Shaw and Freschauf [6]
天山博格达峰 Mt. Bogda, Tianshan	4	This paper

## 二、槽砾垅的粒度组成

槽砾垅经分层采样分析,其粒度组成和磨蚀指数如表2。

表 2 博格达峰四工河 5 号冰川槽碛垅不同部位粒度组成

Table 2. Composition of grain-size in different position of fluted moraine of the glacier D-5, in the Mt. Bogda area

样品 Sample	砾 Gravel (%)	砂 Sand (%)	粉砂 Silt (%)	粘土 Clay (%)	磨蚀指数 Abrasion Index
上层 Upper layer	53.25	24.22	13.01	9.52	0.54
下层 Lower layer	35.90	29.73	17.76	16.61	0.60
冰背斜 Ice anticline	44.63	26.23	16.04	13.10	0.61
冰背斜 Ice anticline	45.71	26.26	19.77	8.26	0.75

从表 2 可以看出, 槽碛垅下部是冰和岩屑土的混合物, 其粉砂和粘土的含量比较高; 槽碛垅上层粉砂和粘土的含量次之。其原因是下层碎屑受到的磨蚀作用强, 而表层受到的磨蚀作用弱, 加之冰融化时部分细粒被融水带走。槽碛是底碛的一部分, 但与附近冰崖下基岩面上的底碛相比, 粘土含量较高, 而粉砂含量小于底碛下部, 大于底碛上部(表 3)。

表 3 博格达峰地区槽碛和底碛粒度组成比较

Table 3. Comparison of grain-size composition between the fluted till and basal till in the Mt. Bogda area

样品 Sample	砾 Gravel (%)	砂 Sand (%)	粉砂 Silt (%)	粘土 Clay (%)	磨蚀指数 Abrasion Index
槽碛 Flute till	44.87	26.63	16.65	11.85	0.63
底碛下部 Basal till (lower)	46.60	27.52	18.04	7.84	0.66
底碛上部 Basal till (upper)	69.80	18.85	7.72	3.63	0.41

槽碛垅的粒度频率曲线呈多峰型, 在  $-4\phi$ 、 $1\phi$ 、 $4-5\phi$  和  $6-8\phi$  出现峰值, 与底碛的粒度频率曲线非常接近(图 2)。

### 三、槽碛垅的组构

我们对槽碛垅的两侧作了砾石组构测量<sup>[1]</sup>。发现长轴  $a$  倾角与槽碛垅的走向基本接

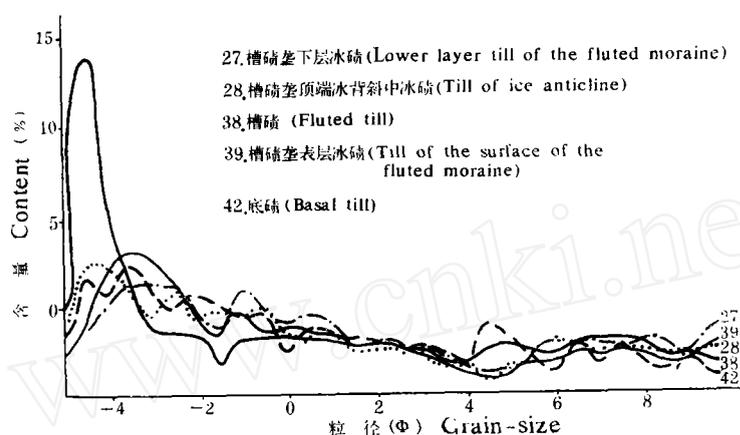


图2 四工河源槽碛与底碛粒度频率曲线

Fig.2. Frquency curves of grain size in the basal and fluted moraines at the Sigong river source

近,但有一定的夹角。如槽碛垅右侧,一般长轴倾向右偏 $25^{\circ}$ 左右,最高达 $58^{\circ}$ ,这与被测砾石的所处位置有关,愈接近垅脊宽平处,偏角愈小,愈往中下部偏角愈大。在槽碛垅的顶部倾角较小,一般在 $10^{\circ}$ 以内,基本上接近槽碛垅本身的倾斜度,到坡中下部倾角变大,最大者可达 $40-50^{\circ}$ ,多数倾向下游,但也有少数倾向上游。在槽碛垅左侧,砾石a轴倾向偏左,64%的偏向下方,少数偏向上方,但也有部分偏向右侧。a b面的倾向与槽碛垅走向斜交,倾角较陡,在左侧22%和右侧20%的倾角大于 $50^{\circ}$ ,有的近乎垂直(图3,照片2)。

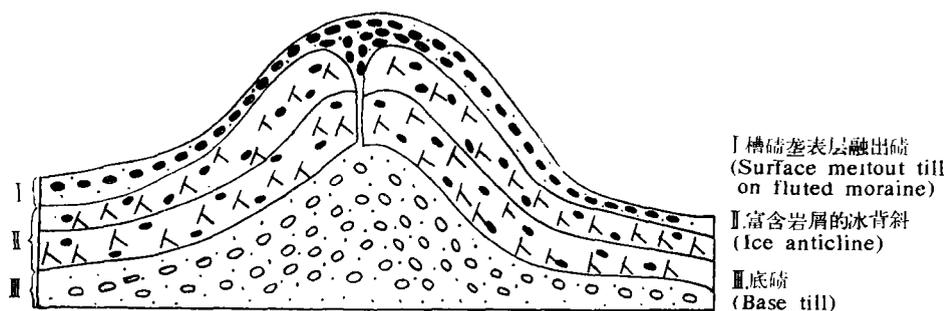


图3 槽碛垅横剖面示意图

Fig.3. Cross section sketch of the fluted moraine

#### 四、槽碛垅的成因

关于槽碛垅的成因国外已有许多论述。1952年J·L·代桑注意到槽碛垅的起点有大漂砾,提出冰碛流入冰漂砾下面的冰下隧洞中,形成与冰流方向一致的平行槽碛垅;施奇特(Schytt,1953)<sup>[2]</sup>考虑到许多槽碛垅长度大,认为只有当底碛流入隧洞并开始冻结时,才能产生槽碛垅;巴拉诺夫斯基(Baranowski,1970)<sup>[3]</sup>提出槽碛垅间的间

距比较规则，把它作为有某些节奏构造机制的证据，并认为槽碛垅是冰川的冷带与暖带接合处寒冻突起而形成的，J.肖和R.C.弗雷肖夫(Shaw and Freschauf,1973)〔6〕也把它作为有节奏构造过程的证据，认为与河水中次生流相似，底部冰层的横向流动，使搬运中的底碛产生流线状的槽碛垅。

一些作者注意到大多数槽碛垅的顶端虽然有大漂砾，但也有例外的情况。包尔东根据对冰岛、斯匹次卑尔根、挪威和阿尔卑斯现代冰川槽碛垅形态、构造等的观察，发展了有关槽碛的形成理论。他设想冰层下部的大漂砾向前移动时，受到阻碍，并嵌进底碛中，推挤底碛，在漂砾前面形成堤垅；同时还提出，冰层下部冰流受到侧面障碍物影响而形成冰褶皱，这种走向与冰川流动方向一致的褶皱也是导致槽碛垅产生的重要原因。

根据我们这次观测，有几处大的槽碛垅顶端有大漂砾或障碍物的存在，如第40号槽碛垅顶端有一个高2米、宽5米的大漂砾，紧接着其外面形成一个长99米、宽度2—7米、高1—1.6米的槽碛垅。在相邻的第41号槽碛垅顶端为一较大的花岗闪长岩和其下的冰碛岩块一起组成的高5米、底宽约7米的冰碛丘，其前方形成一个长30米、宽9—12米、高2—4米的槽碛垅。从上看出，槽碛垅的高度一般小于顶端漂砾(或冰碛丘)的高度，其比例约为1:(2—5)，而其宽度一般比漂砾(冰碛丘)的基底宽度大些，比例约1:(1—0.5)。包尔东在冰岛布勒达麦尔角苦尔冰川前统计了槽碛垅与其顶端漂砾大小的关系后发现，凡超过0.5米高的槽碛垅，其顶端漂砾的高度多数超过2米(照片3、4)。

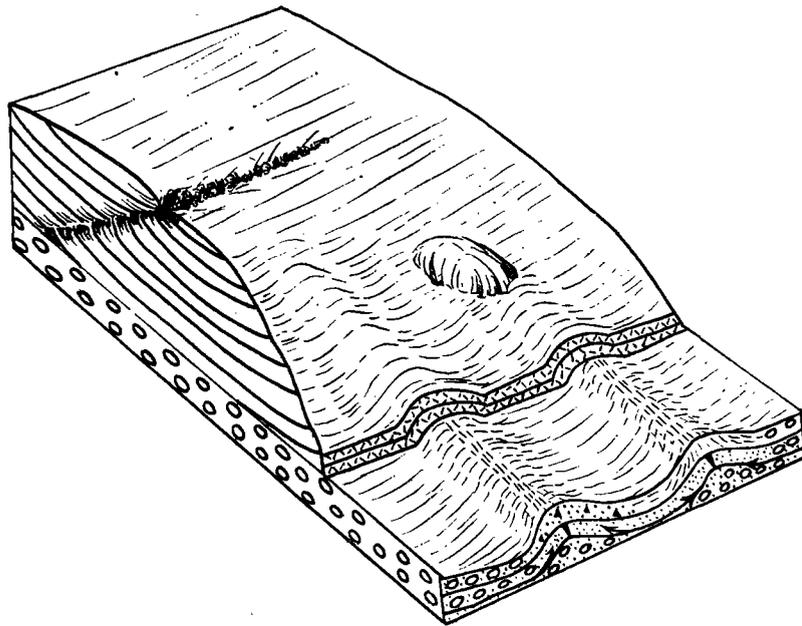


图4 槽碛垅形成过程示意图(据E·德比希尔)

Fig.4. Sketch of formation process of fluted moraine adapted from E. Derbyshire

表 4 博格达峰北坡 5 号冰川前槽碛垅顶部的冰背斜构造

Table 4. The ice anticline structure on the top of fluted moraine in front of glacier D-5 in the north slope of Mt. Bogda

测 量 点 Surveyed point	冰 背 斜 东 北 翼 The NE limb of ice anticline				冰 背 斜 西 南 翼 The SW limb of ice anticline			
	走 向 Strike	倾 角 Dip angle	倾 向 Dip	倾 角 Dip angle	走 向 Strike	倾 角 Dip angle	倾 向 Dip	倾 角 Dip angle
	No. 12 走向 Strike: NW 50° 倾角 Dip angle: 10°	NW 20°	7°	E0°	28°	NW 90°	10°	SW 10°
No. 44 走向 Strike: NW 43° 倾角 Dip angle: 10°	NW 10°	9°	NE 70°	20°	NW 60°	8°	SW 30°	18°
No. 52 走向 Strike: NW 45° 倾角 Dip angle: 10°	NW 15°		NE 10° NE 25°	13° 12°	NW 80°		SW 70° SW 40°	7° 13°

但应当指出,本区的槽碛垅并不一定在其顶端都是大漂砾,许多槽碛垅的下层是冰和碎屑矿物组成的冰背斜,冰背斜轴部还有张性裂隙,从冰层中采的含砾冰样两个,其岩屑土分别占总体积的30%和29.3%。所测的冰背斜有三处,如表4所示。

从表4所列冰层产状看,槽碛垅的前方是向上倾伏的冰背斜。在距冰川边缘20—30米的冰面上出现与冰流方向垂直的剪切带,所测的两条剪切带走向分别为NE50°SW和NE25°SW,带上岩屑满布。因此,槽碛垅的形成与剪切带无关。

无论是大漂砾形成的漂砾前方的冰洞,或下部冰层受侧向压力而形成的密集褶皱,其孔洞的顶部分和冰背斜的轴部所受压力小于两侧,从而使两侧的底碛向压力小的部位集中而形成槽碛垅。从而莫里斯<sup>[5]</sup>用数理方法对槽碛垅形成的机制进行了分析,表明冰洞两侧冰的压强大于冰洞中底碛表层的压强,于是两侧的底碛便向空洞内推挤凸起,形成槽碛垅。

总之,槽碛垅的形成条件是冰前存在着一片平坦地面和大小不等的漂砾。当冰川前进遇上这些障碍时,冰川底层产生平行于冰流向的冰背斜,受到挤压的底碛集中于冰背斜轴部,从而形成与冰流方向一致的沟垅相间的平行垅脊(图4)。

协助野外测量的有王存年、张振拴、邓晓峰,粒度样品由王楷、刘彦卿分析,张振拴帮助整理粒度资料,尹世琪清绘图件,谨表谢意。

## 参 考 文 献

- [1] Dyson J.L., 1952, Ice-ridged moraines and their relation to glaciers. *American Journal of Science*, Vol.250, No. 3, p.204-211.
- [2] Hoppe G. and Schytt V., 1953, Some observations on fluted moraine surfaces, *Geografiska Annaler Arg.*35, Ht. 2 p. 105-115, 转引自[3]。
- [3] Boulton G. S., 1976, The origin of glacially fluted surfaces observations and theory, *Journal of Glaciology*, Vol. 17, No. 76, p. 287-309.
- [4] Paul M.A. and Evans H. 1974, Observations on the internal structure and origin of some flutes in glacio-fluvial sediments, Blomstrandbreen, northwest Spitsbergen, *Journal of Glaciology*, Vol.13, No.69, p.393-400.
- [5] Morris E.M. and Morland L.W., 1976, A theoretical analysis of the formation of glacial flutes, *Journal of Glaciology*, Vol.17, No.76, p.311-323.
- [6] Shaw J. and Freschauf R.C., 1973. A Kinematic discussion of the formation of glacial flutings, *Canadian Geographer*, Vol. 17, No.1, p.19-35.
- [7] 邓晓峰、王存年, 1983, 博格达峰地区冰碛和冰缘沉积砾石的组构特征, 见本专辑。

## Fluted Moraines Near the Terminus of Glacier No.5 of Sigong River in Mt. Bogda, Tian Shan

Zheng Benxing

(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica)

### Abstract

Fifty six rows of fluted moraine in the same direction of ice flows and in alternative ridges and gullies on a flat front 370 m wide at the terminus of Glacier No.5 on the northern slope of Mt. Bogda were surveyed in 1981. They are generally 10-40 m long, 1-3 m wide and 0.5-1 m high, the greatest being 110 m long, 12 m wide and 4 m high. Such a group of fluted moraine was recorded in China for the first time, and is moderate in scale as compared with those in North Europe and North America.

The composition of grain size in the fluted moraine is similar to that in the end till and basal till, but its content of silt is relatively high, reaching 16.65%, nearing 18.04% in the lower lodgement till, and higher than 7.7% and 3.6% in the upper lodgement in the eskers. The abrasion exponent in the fluted moraine is 0.63, close to 0.66 in the lower lodgement till, but larger than 0.44 in modern terminal moraine and 0.29 in esker, showing

that both the fluted moraine and the lodgement till were rather strongly abraded by glaciers.

The fabric of the fluted moraine shows the following characteristics. The dip of long axis A is in the same direction of glacial movement, but on the both sides the farther the down slope, the larger the angle between the dip and the direction of glacial movement, and the dip angle varies from about  $10^{\circ}$  near the top to  $40-56^{\circ}$  near the bottom. The dip of maximum AB plane is mostly perpendicular to the direction of ice flow, and the dip angle is rather big, about 2/5 of the gravels is more than  $50^{\circ}$ .

There are big boulders at the head of some fluted moraines, and at the head of many moderate and small rows of the fluted moraines are ice anticlines rich in debris dipping upwards. From above mentioned, the formation of the fluted moraine could be inferred as follows: when the glaciers moved forward, the boulder in the lodgement till distributed unevenly, and hindered the movement of the ice, as a result, a low pressure area in the ice flow occurred in front of the obstacles and forced the lodgement till protrude upward in the form of ridges, and the ice layer folded.

#### 图 版 说 明

- 照片 1 博格达峰北坡四工河 5 号冰川前缘的槽砾垅  
 照片 2 槽砾垅表面冰砾石的产状, 侧面的顺坡倾斜  
 照片 3 位于槽砾垅下面的冰脊垅-冰背斜  
 照片 4 槽砾垅顶端的大漂砾

#### Plate Captions

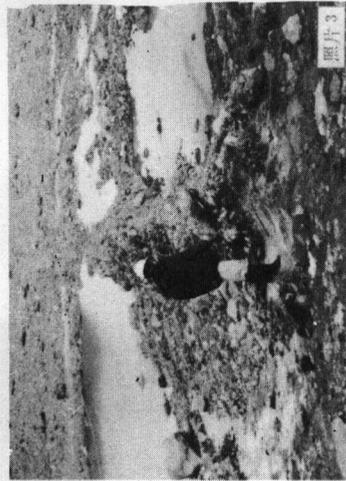
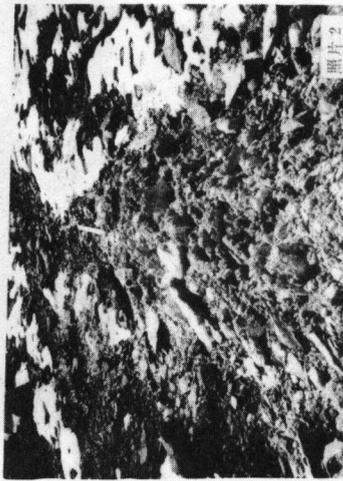
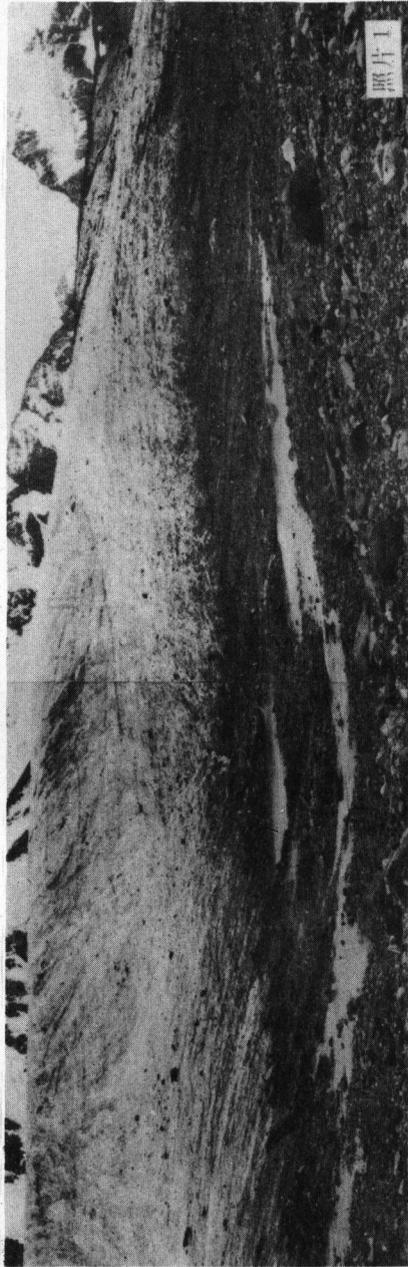
- Photo 1. Fluted moraines in the front of glacier No.5 at Sigong river on the northern slope of Mt. Bogda  
 Photo 2. Distributive feature of debris on the fluted moraine showing its dipping along the slope  
 Photo 3. Ice ridge-ice anticline below the fluted moraine  
 Photo 4. Big boulders on the head of fluted moraine

郑本兴: 天山博格达峰四工河 5 号冰川前缘的槽碛垅

Zheng Benxing: Fluted Moraines near the Terminus of Glacier No. 5 of Sigong River in Mt. Bogda, Tian Shan

图版 I

Plate 1



照片 1 博格达峰北坡四工河 5 号冰川前缘的槽碛垅。照片 2 槽碛垅表面冰碛石的产状, 侧面的顺坡风斜。照片 3 位于槽碛垅下面的冰脊垅—冰背斜。照片 4 槽碛垅顶端的大漂砾。

Photo. 1 Fluted moraines in the front of glacier No. 5 at Sigong River on the northern slope of Mt. Bogda. Photo. 2 Distributive feature of debris on the fluted moraine showing its is to dip along the slope. Photo. 3 Ice ridge-ice anticline blow the fluted moraine.

Photo. 4 Big boulders on the head of fluted moraine.