

近50年来天山博格达峰地区冰川变化分析^{*}牛生明¹, 李忠勤², 怀保娟²

(1. 新疆阜康国有林管理局, 阜康 831500; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000)

提 要: 选取了博格达峰地区的112条冰川, 对近50年来该区的冰川变化情况进行详细分析。结合1:5万地形图、Landsat ETM+影像及数字高程模型数据, 通过雪盖指数提取的方法, 参照专家指导意见进行冰川边界的再次修订, 得到1962~2011年该区的冰川变化数据, 并分析了过去近50年来冰川变化特征及其对气候变化的响应过程。结果表明: 1962~2011年, 研究的112条冰川总面积从109.94 km²减少到85.88 km², 减少了24.06 km², 退缩率为21.88%; 冰川平均面积从0.98 km²减小为0.78 km²。结合蔡家湖、乌鲁木齐、达坂城、奇台气象站气象资料分析, 天山博格达峰地区冰川萎缩与该地区气温快速上升关系密切, 气温上升导致的冰川消融在一定程度上抵消了降水增加对冰川的补给。

关键词: 冰川变化; 退缩; 雪盖指数提取方法; Landsat ETM+; 博格达峰地区

中图分类号: P343.6

文献标识码: A

冰川变化对全球气候变化指示性作用在本世纪愈加明显, 且对水资源也有明显的影响, 因此冰川变化研究备受关注^[1]。近几十年来, 中国冰川普遍呈现出加速退缩的状态^[2-4]。冰川作为西北干旱区水资源重要组成部分, 处在加速消融状态, 冰川的变化已经对水资源量及年内分配产生影响^[5-6], 水资源已经在不断恶化之中。因此, 监测冰川变化, 分析其气候响应, 具有重要的科学意义和实用价值^[7]。随着航空遥感光学图像、数字高程模型等新技术的不断发展, 借助遥感手段研究冰川的特征、监测冰川的动态变化成为冰川学研究发展的重要趋势, 有效解决了现代冰川研究中高山区资料受限等问题^[8-9]。到目前为止, 详细评估天山博格达峰地区冰川变化特征的资料却没有, 因此适时正确评估博格达峰地区冰川变化, 填补该地区此项内容的空白, 对于该地区的经济发展和人民生活也有极其重要的意义。

1 研究区概况

博格达峰(87°50'E ~ 88°30'E, 43°33'N ~ 43°54'N)是中国天山东段博格达山的主峰, 海拔5445 m, 耸立于博格达山的西端(图1)。峰区周围集中了整个博格达山冰川面积的75%, 其中南坡又占整个峰区的60%, 南坡冰川的数量及规模都大于北坡^[10, 11]。博格达峰地区的现代冰川, 分别位于南坡的古班博格达河、黑

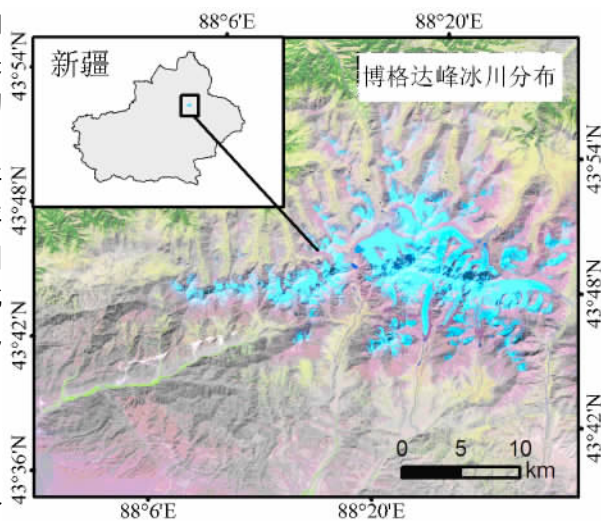


图1 天山博格达地区位置图

Fig. 1 Location of the Bogeda glacier region

^{*} 收稿日期: 2013-11-22; 修回日期: 2013-12-5。

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体项目(41121001); 国家重点实验室自主项目(SKLCSS-ZZ-2012-01-01); 国家自然科学基金项目(1141001040; 41101066) 资助。

作者简介: 牛生明(1960-), 男, 回族, 新疆吉木萨尔县人, 主要从事天山地区环境与生态保护等方面的研究。

通讯作者: 怀保娟(1988-), 女, 汉族, 山东省济南人, 博士研究生, 研究方向: 冰川变化与地理信息技术。

E-mail: huai baojuan@126.com

沟和阿克苏河,北坡的三工河、四工河、甘河子沟及白杨河等河流源头^[12]。文中选取博格达峰地区的112条冰川,对近50年来该区的冰川变化情况进行详细分析。

2 数据来源与处理

2.1 数据来源与预处理

文中研究所用1:5万地形图数据1幅,测绘于20世纪60年代初,1976年出版,用高精度扫描仪进行扫描,并对地形图进行几何纠正。遥感数据为Landsat ETM+数字影像,图像接收日期为2011年8月12日,来自于USGS(<http://www.usgs.gov>)数据共享平台。数字高程模型来源于SRTM(Shuttle Radar Topography Mission),由美国太空总署和国防部国家测绘局联合测量。使用修订版V4.1版本,空间分辨率90m,该数据标称绝对高程精度是 ± 16 m,绝对平面精度是 ± 20 m。此外,所用气象台站数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。

在ENVI软件支持下,对ETM+影像进行全色波段与多光谱波段融合处理。对地形图、遥感影像、数字高程模型以地形图作为参考坐标进行坐标归一化处理。均采用统一的UTM投影和WGS84椭球体建立坐标系统。

2.2 研究方法

雪盖指数(Normalized Difference Snow/Ice Index)的波段运算是植被指数的推广,主要基于冰川在TM2波段的强反射和TM5波段的强吸收特性。其运算公式为: $NDSI = (CH(2) - CH(5)) / (CH(2) + CH(5))$ 。文中依据该地区的经验阈值及结合遥感影像的目视判读,确定阈值为0.5~0.7,由于在近红外和中红外波段,冰雪具有很低的反射率,所以利用这两个波段值特征进行波段运算,可得到冰川的边界区域。

在ArcGIS9.3的支持下,对地形图进行矢量化,得到20世纪60年代初一期的冰川分布数据。获取冰川面积、平均长度等属性信息;利用SRTM-DEM得到冰舌末端高程属性信息。冰川变化分析通过ArcGIS9.3空间分析模块将地形图数据与2011年冰川分布数据两期冰川矢量数据进行叠加分析,得到冰川面积变化规律。

2.3 不确定性分析

对处理后的数据进行误差评价,地形图纠正误差在一个像元以内;ETM+影像几何精纠正的误差为0.5个像元。文中所用ETM+影像空间分辨率为15m,遥感影像的空间分辨率与均方根误差都影响到测量的准确性。根据Hall、Silvrio等计算冰川长度和面积变化不确定性的公式^[13-15],来确定影像分辨率对冰川信息提取的误差:

$$U_T = \sqrt{\Sigma \lambda^2} + \sqrt{\Sigma \varepsilon^2} \quad U_A = 2U_T \sqrt{\Sigma \lambda^2} + \sqrt{\Sigma \varepsilon^2}$$

式中: U_T 为长度不确定性; λ 为影像分辨率; ε 为配准误差; U_A 为面积不确定性,计算得单条冰川面积的不确定性为 $\pm 0.001\text{km}^2$ 。

3 天山博格达峰地区冰川变化分析

根据1962年一期地形图数据,文中选取博格达峰地区112条现代冰川,冰川总面积 109.94km^2 ,冰川平均面积为 0.98km^2 。2011年,通过影像解译得到天山博格达峰地区的112条冰川缩减为110条(图2),冰川总面积 85.88km^2 ,冰川平均面积为 0.78km^2 。

3.1 冰川面积与条数变化

总体上,天山博格达峰地区冰川退缩明显。1962~2011年间,研究的112条冰川总面积从 109.94km^2 减少到 85.88km^2 ;减少了 24.06km^2 ,冰川平均面积从 0.98km^2 减少到 0.78km^2 ,减小了 0.20km^2 。冰川近50年的退缩率21.88%,年均减少约 0.48km^2 。

对天山博格达峰地区1962~2011年间的冰川进行了面积分级统计(图3),面积 $<0.1\text{km}^2$ 的冰川条数由12条增加到29条,总面积也有所增加,从 0.65km^2 增加到 1.69km^2 ,说明面积 $>0.1\text{km}^2$ 的冰川退缩强烈,使得面积 $<0.1\text{km}^2$ 的区间上条数与总面积都有所增加。相应地,冰川面积在 $0.1\sim 0.5\text{km}^2$, $0.5\sim 1\text{km}^2$, $1\sim 2\text{km}^2$ 区间上的冰川条数与面积都有所减少。而 $2\sim 5\text{km}^2$, $>5\text{km}^2$ 区间上的冰川条数不变,分别

为8条与4条,但是面积都相应地减少。由此也发现小冰川相比较大冰川对气候变化更为敏感。

3.2 冰川末端海拔变化

根据冰川的末端海拔,以200m为海拔梯度进行统计分析表明(图4),该区冰川末端海拔主要分布在3300~3500m、3500~3700m、3700~3900m的海拔区间内;3300~3500m、3700~3900m区间内冰川末端退缩变化较大;末端海拔在3700~3900m、3900~4100m区域内冰川条数增加明显,表明末端海拔在3300~3500m、3500~3700m区间内的冰川很多上升到3700~3900m、3900~4100m区间内。海拔区间上的冰川变化事实表明,低海拔区域存在明显的冰川末端升高趋势。

3.3 典型冰川变化情况

四工河4号冰川位于博格达峰地区北坡,是一条典型的冰斗山谷型冰川^[16],1962年四工河4号冰川面积为3.33km²,长3.2km,1962-2011年,面积共缩小0.65km²,退缩率为19.52%,长度共缩小0.44km,长度退缩率为13.75%。博格达扇形分流冰川位于博格达峰地区北坡,1962年冰川面积11.24km²,长度4.23km,2011年冰川面积9.92km²,长度3.92km,面积退缩速率11.74%,长度退缩速率7.33%。黑沟8号冰川,1962年,冰川长5.29km,面积5.76km²,2011年面积缩减为5.11km²,退缩率为11.29%;长度缩减为4.88km,退缩率7.75%。

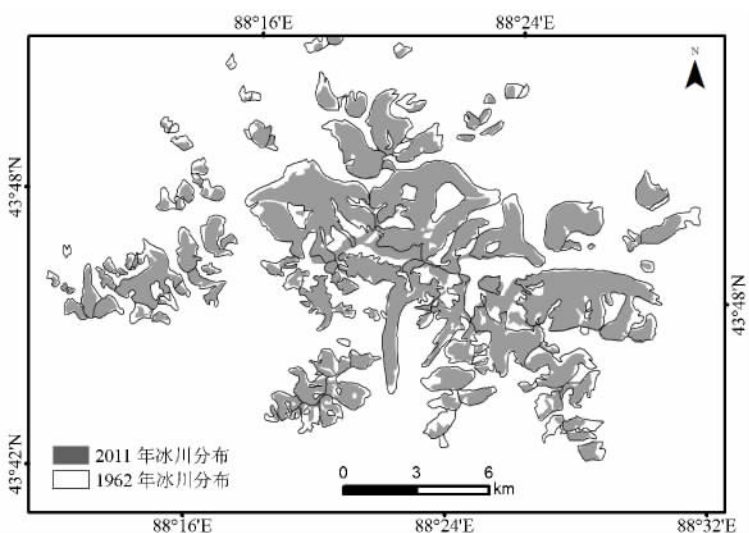


图2 博格达地区1962、2011年两期冰川提取结果
Fig. 2 Glacier distribution in 1962 and 2011 in Bogeda region

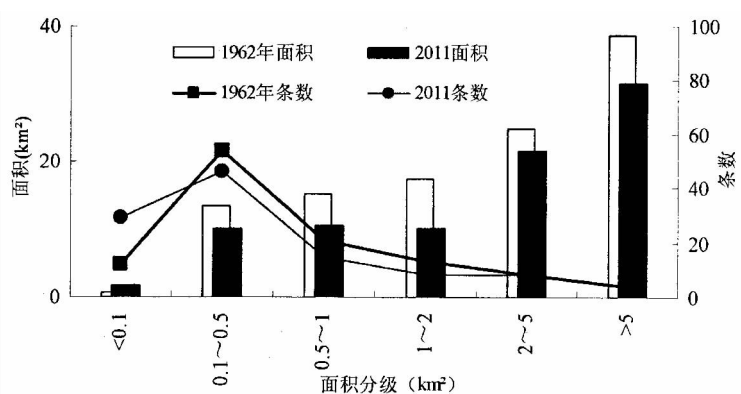


图3 1962~2011年天山博格达峰地区冰川面积与条数变化
Fig. 3 Changes of glacier area and number in Bogeda region from 1962 to 2011

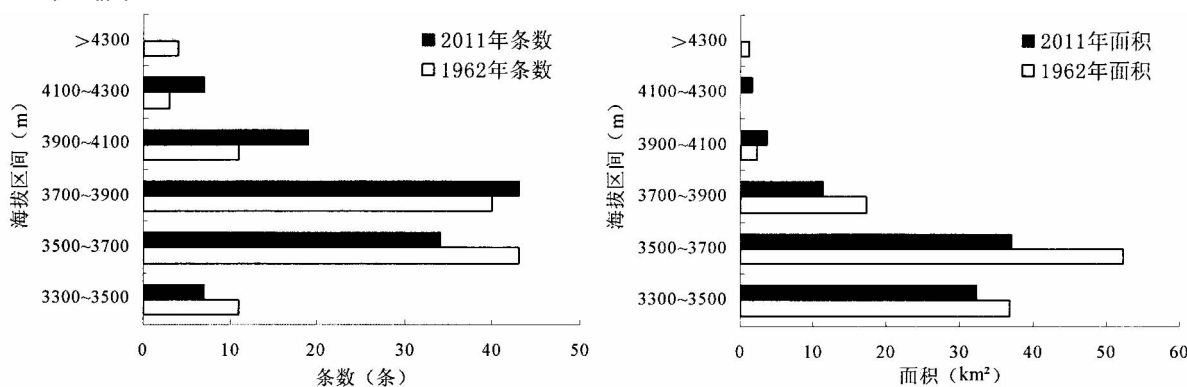


图4 1962~2011年博格达峰地区冰川海拔变化
Fig. 4 Changes of terminal elevation of glaciers in Bogeda region from 1962 to 2011

4 讨论

4.1 中国西部典型山地冰川退缩情况

气候变暖背景下全球山地冰川呈现总体退缩趋势^[17],为了进一步研究天山博格达峰地区冰川变化的特征,选取中国西部典型山区及流域的冰川变化情况与本研究做对比(表 1)。前人对该区域的研究发现^[18],博格达峰北坡研究区在 1962 年 99 条冰川,1962~2006 年期间,面积减小 16.9%,平均每条冰川缩小 0.107km²。本研究得到博格达南北坡的 112 条冰川 1962~2011 年间面积减小率为 21.88%,说明近几年博格达地区冰川退缩仍有加速趋势,且天山博格达地区变化趋势与其他区域冰川所表现的趋势相吻合。

表 1 典型西部山地冰川退缩情况

Tab. 1 Retreat of typical mountain glaciers in west region

研究区域	面积变化 (km ²)	退缩速率 (% / a)	数据源	解译方法	研究时段	来源
阿克苏河流域	- 58. 6	- 0. 09	航片、TM/ETM +	目视解译	1963 - 1999	刘时银 ^[19]
朋曲流域	- 131. 24	- 0. 30	地形图、ASTER	目视解译	1970s - 2000	晋锐 ^[20]
乌鲁木齐河流域	- 6. 65	- 0. 45	航片、地形图	航空摄影测量	1962 - 1992	陈建明 ^[21]
博格达峰北坡	-	- 0. 38	地形图、spot	目视解译	1962 - 2006	李忠勤 ^[18]
博格达峰(南北坡)	- 24. 06	- 0. 44	地形图、ETM +	雪盖指数法	1962 - 2011	本研究

4.2 冰川变化的气候背景

气温和降水是冰川发育发展的两个重要控制性因素,温度决定消融,降水影响积累^[22]。收集天山博格达峰地区蔡家湖、乌鲁木齐、达坂城、奇台四个气象站 1960~2012 年逐年平均气温和降水数据分析可看出(图 5):近 50 年来天山博格达峰地区年均气温的升高趋势明显,增温幅度为 0.22℃/10a,高于全球平均升温率(0.148℃/10a)^[23],年降水量变化幅度较大,亦呈上升趋势,平均增加量为 13.26mm/10a。在这种组合气候变化背景下,博格达峰地区冰川总体呈面积减小的退缩状态。虽然降水量增加,但冰川对气温的敏感性更大,固态降水增加对冰川的补给无法弥补冰川消融所带来的物质损失,导致博格达峰冰川区冰川普遍萎缩。

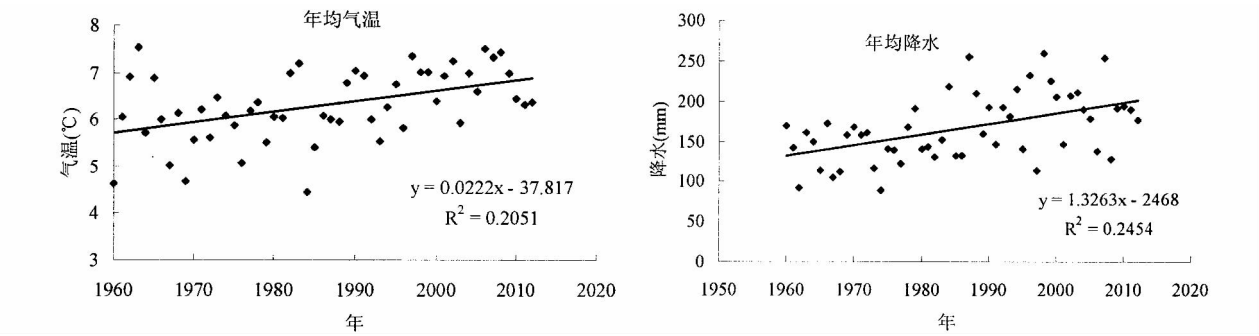


图 5 近 50 年气温与降水的变化

Fig. 5 Temperature and precipitation changes in the last 50 years

5 结论

(1) 运用 1962 年地形图和 2011 年 Landsat ETM + 影像结合数字高程模型,对天山博格达峰地区冰川变化情况进行了分析。结果表明,研究的 112 条冰川总面积从 109.94km² 减少到 85.88km²;减少 24.06km²,冰川平均面积从 0.98km² 减少到 0.78km²,减小了 0.20km²。冰川近 50 年的退缩率为 21.88%,年均减少约 0.48km²。

(2) 根据冰川的末端海拔,以 200m 为海拔梯度进行统计分析表明,该区冰川末端主要分布在 3300~3500m、3500~3700m、3700~3900m 的海拔区间内;3300~3500m、3700~3900m 区间内冰川末端退缩变化较大。

(3) 结合蔡家湖、乌鲁木齐、达坂城、奇台四个气象站 1960~2012 年逐年平均气温和降水数据分析表明,近 50 年来博格达峰地区平均气温升高趋势明显,年降水量亦呈增加趋势,分析认为,博格达峰地区冰川萎缩与该地区气温快速上升关系密切,气温上升导致的冰川消融在一定程度上抵消了降水增加对冰川的补给。

参考文献

- [1] IPCC. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis [A]. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report [C]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2001.
- [2] Yao T D, Wang Y Q, Liu S Y, et al. Recent glacial retreat in High Asia in China and its impact on water resource in Northwest China [J]. Science in China (Series D), 2004, 47(12): 1065–1075.
- [3] Ding Y J, Liu S Y, Li J, et al. The retreat of glaciers in response to recent climate warming in western China [J]. Annals of Glaciology, 2006, 43(1): 97–105.
- [4] Xiao Cunde, Liu Shiyin, Zhao Lin, et al. Observed changes of cryosphere in China over the second half of the 20th century: An overview [J]. Annals of Glaciology, 2007, 46(1): 382–390.
- [5] 王宗太. 中国冰川近期变化及其对干旱区冰水河径流的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 1990, 4(2): 1–10.
- [6] 蓝永超, 吴素芬, 韩萍, 等. 全球变暖情境下天山山区水循环要素变化的研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(6): 99–104.
- [7] 张明军, 王圣杰, 李忠勤, 等. 近50年气候变化背景下中国冰川面积状况分析 [J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1155–1165.
- [8] Paul F, Kaab A, Maisch M, et al. The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: Methods [J]. Annals of Glaciology, 2000, 34: 355–361.
- [9] Haeberli W, Cihlar J, Barry R G. Glacier monitoring within the Global Climate Observing System [M]. Annals of Glaciology, 2000: 241–246.
- [10] 王宗太. 博格达峰区南坡冰川基本特征及其利用 [A]. 柴窝堡—达坂城地区水资源与环境 [C]. 北京: 科学出版社, 1989: 40–57.
- [11] 王宗太. 博格达峰黑沟8号冰川发育若干问题浅析 [J]. 冰川冻土, 1991, 13(2): 141–158.
- [12] 中国科学院兰州冰川冻土研究所编. 中国冰川目录. III 天山山区(西南部塔里木内流区) [C]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [13] Hall D K, Bayr K, Schfer W, et al. Consideration of the errors inherent in mapping historical glacier positions in Austria from ground and space (1893–2001) [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 566–577.
- [14] Silverio W, Jaquet J M. Glacial cover mapping (1987–1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(3): 342–350.
- [15] Ye Q H, Kang S C, Chen F, et al. Monitoring glacier variation on Geladandong mountain, central Tibetan Plateau, from 1969 to 2002 using remote sensing and GIS technologies [J]. Journal of Glaciology, 2006, 52(179): 537–545.
- [16] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川目录 (III) 天山山区(东部散流内流区) [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 41–43.
- [17] 施雅风, 刘时银. 中国冰川对21世纪全球变暖响应的预估 [J]. 科学通报, 2000, 45(4): 434–438.
- [18] 李忠勤, 李开明, 王林. 新疆冰川近期变化及其对水资源的影响研究 [J]. 第四纪研究, 2010, 30(1): 96–106.
- [19] 刘时银, 丁永建, 张勇, 等. 塔里木河流域冰川变化及其对水资源影响 [J]. 地理学报, 2006, 61(5): 482–490.
- [20] 晋锐, 车涛, 李新, 等. 基于遥感和GIS的西藏朋曲流域冰川变化研究 [J]. 冰川冻土, 2004, 26(3): 261–2.
- [21] 陈建明, 潮海, 金明燮. 重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐河流域冰川变化监测中的应用 [J]. 冰川冻土, 1996, 18(4): 331–336.
- [22] 李忠勤, 韩添丁, 井哲帆, 等. 乌鲁木齐河源区气候变化和1号冰川40a观测事实 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 117–123.
- [23] IPCC. The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on the Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 1–996.

Glaciers changes in Bogeda region, Tianshan in the last 50 years

NIU Shengming¹, LI Zhongqin², HUAI Baojuan²

(1. State-owned Administration of Forest Authority in Fukang, Fukang, Xinjiang 831500, P. R. China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P. R. China)

Abstract: 1:50 000 topographic map data, Landsat ETM+ remote sensing images and digital elevation model data were used. Glacier change data from 1962~2011 were derived from this research, and the glacier variation characteristics and its response to climate change in past nearly 50a were analyzed. The results show that between 1962 and 2011, the total area of glaciers was decreasing from 109.94km² to 85.88km²; shrinking at a rate of 21.88%, with the annual decrease was approximately 0.48km². By analyzing four weather stations' annual average temperature and precipitation data from 1960 to 2012, the mean annual temperature increased significantly and the annual precipitation also showed an increasing trend. The study concluded that glacier shrinkage was closely related to the temperature rising, and the glacier melting caused by rising temperatures offsetted the supply by increased precipitation to some extent.

Key words: analysis of glacier change; shrink; NDSI method; Landsat ETM+; Bogeda glacier regionency