

# 晚更新世晚期北疆内陆型气候环境变迁<sup>\*</sup>

韩淑媛 吴乃铮

(新疆大学地理系)

李志中

(新疆师范大学地理系)

**提 要:** 选取具有干旱区特征的内陆湖泊纹泥沉积, 采用多种分析手段进行综合研究, 本文探索北疆地区3.5万年以来的环境演变中物理、化学、生物过程相互作用状况, 建立内陆型气候的环境演变模式, 提出本区属冷温暖干型气候, 且以冷湿环境为主的区域特征。

**主题词:** 环境变迁 内陆型 晚更新世晚期 新疆

当今人类面临的干旱区环境恶化的威胁是全球环境变化中的重要问题, 已经引起大众的关注。本文选取具有干旱区特征的内陆湖泊纹泥, 采用地貌学、年代学、沉积学、地球化学、孢粉学、微体古生物学等试验分析手段, 进行综合研究, 建立了环境演变的各种旋回序列, 进而阐明北疆干旱区3.5万年以来的环境演变特征。希望有助于对现今干旱区的生存环境在环境演变过程中所处地位和阶段的认识, 从而为预测干旱区发展趋势和全球环境变化提供依据。

## 1 环境演变序列

ZK00A钻孔位于巴里坤湖西北部无人烟之处, 可以认为该湖积层样品最具内陆湖区特色, 几乎不受人为影响。且可与已发表过的24孔、8孔等资料进行对比。A孔孔深13.6m, 对该孔采用各种分析手段, 建立了以下各类序列。

### 1.2 年代学序列

在A孔剖面中采集43个<sup>14</sup>C样品, 由中国科学院考古研究所完成7个, 广州地理研究所完成36个样品, 所得数据基本一致。经同位素年代验证, 测年资料可信(见表1)。表1揭示2.51m处为冰后期全新世下限。2.20—4.20m处为晚冰期的几次波动。5.6m处属晚韦克萨尔晚期盛冰期。7.9m, 10.30—11.10m, 12.10m分别为晚韦克萨尔早、中、晚期的亚冰期。12.70—13.30m是中晚韦克萨尔间冰阶。对冰后期划分为6个暖干期(含2个干暖期)、5个冷湿期(包括凉湿期)、1个暖湿期。整个A孔包含10<sup>4</sup>a旋回3个, 每个旋回又分若干次一级

本文1991年6月4日收到, 1993年1月28日收到修改稿。

\* 国家自然科学基金资助项目。

本文微量元素分析由自治区地矿局等离子发射光谱室完成, 孢粉分析资料由同济大学王开发教授提供, 氧碳同位素、介形虫分析由青岛海洋研究所承担, 年轮数据由自治区气象局袁玉江、王承义先生完成; 本文经张林源教授详细审阅, 在此一并致谢。

参加野外工作的有钟巍、王贵勇、涂真、苏群、丛友滋、董光荣等。

旋回。表 1 资料可以和国内外年代数据对比<sup>[1]</sup>。

在此基础上，利用树木年轮、<sup>210</sup>Pb、小冰期资料进行短年代序列研究，划分出500a以来的4个暖期和4个冷期<sup>[2]</sup>，并参考辅助孔60cm浅剖面建立年代表和气候期<sup>[2]</sup>。

1.2 沉积旋回序列

A孔剖面各层的岩性描述见表 1。沉积层以结构致密、微含盐类矿物的灰 绿色灰黑色灰白色的粘土、淤泥层和结构疏松、富含石膏的亚砂、细砂层交互更替为特征。根据粒度、结

表 1 A孔沉积地层及气候旋回  
Cycle of depositional strata in core A of Balikun Lake

深度 m	14C年代	岩 性 特 征	沉积地层旋回		气 候 旋 回
			冷湿	暖干	
0.02 0.36	1218±80	黑色芒硝淤泥 无水芒硝	S	L	小冰期波动、
0.78	4130±116	黑色软泥 褐色软泥	S	L	新暖干期 新冷湿期
1.04	5000±	灰白色粘土、亚粘土	S		
1.20 1.25	6618±89	灰白色青灰色含盐类斑点淤泥	M	W	新暖湿期
1.70	8446±160	含芒硝灰绿色亚粘土	S		新冷湿期
2.00	9370±160	粘土芒硝互层，下部芒硝增多		L	新暖干期
2.20	10084±	粘土芒硝层	S		新得里亚斯期（冷）
2.51	12070±280	芒硝、石膏亚粘土		L	阿尔露得期（暖）
2.62	12150±240	灰黑色含小卷螺亚粘亚砂土	S		中得里亚斯期（冷）
2.84	12530±	黑灰色的亚粘、亚砂土		L	博林期（暖）
4.20	14360±410	灰色粘土	S		老得里亚斯期（冷）
5.00	16176±360 16356±390	黄灰色粉砂质淤泥		L	暖干期
5.60	17800±470	灰白色纹理的粘土	S		晚韦克萨尔晚期盛冰期
6.42	20720±500	土黄色亚沙土		L	间冰阶
7.90	24100±（？）	灰色粘土	S		晚韦克萨尔晚期亚冰期（3）
8.90	26618±670	灰黄色含细砂粘土互层		L	间冰期
10.30	27350±600	灰色粘土			
11.10	29340±	灰绿色亚粘土	S		晚韦克萨尔中期亚冰期（2）
11.50	29470± 30490±	灰绿色亚粘土，亚沙夹微 砾层		L	间冰阶
12.10	31950±110	灰绿色亚粘土	S		晚韦克萨尔早期亚冰期（3）
12.70	32850±670	褐黄色钙质粘土		L	中、晚韦克萨尔
13.00	33710±170	黑褐黄色、白色钙质粘土			间冰阶
13.30	35100±740	浅黄色粉砂、亚砂			
13.60	36700±820	灰绿色亚粘土	S		转向冷湿期

构、颜色、有无盐类矿物及含盐类矿物的不同等,分别表征深水环境(冷湿层)与浅水环境(暖干层)的更迭。整个剖面揭示3.5万年以来有 $10^4$ a周期的3个旋回及 $10^2$ a周期的12个沉积旋回(表1中,S表示冷湿层,L表示暖干层)。

### 1.3 微量元素累积序列

微量元素对干旱区的古气候指向极为明显。但是由于多种因素(如沉积物粒级、有机质丰度、元素性质,以及物源区或沉积部位不同等)的影响,微量元素的积累规律与古气候指向存在明显差异。如A孔位于湖西北部,24孔在湖中心偏南,A孔的深水环境相当于24孔的浅水环境<sup>1)</sup>。研究表明,多数性质较稳定的元素如Ti、Ni、Cr等,在冷湿环境下含量较高,一般超过平均值。这是因为在冷湿的气候条件下,降水较多,蒸发量小,地表径流量大,这些元素以碎屑形式被径流携入湖区沉积下来,致使其含量在湖积地层中增高。而在暖干环境下,由于降水少,蒸发量大,径流小,难以将山区土壤中所含的稳定元素带入径流,所以湖积地层中此类元素的含量明显偏低(参见A孔微量元素及氧化物含量表<sup>1)</sup>,本文略)。相反地,性质活泼的元素如Sr、Ca、Mg等,在冷湿环境下含量较低。例如,Sr在冷湿期仅有200—450ppm,而进入暖干期则高达1000—3000ppm。 $\text{CaCO}_3$ 在冷湿期仅有4%—10,而在暖干期则高达17%—29%。<sup>1)</sup>。由于Ca主要以碳酸盐形式存在,其溶解度与温度、pH、 $\text{CO}_2$ 的分压均有关,所以冷湿期湖积层中 $\text{CaCO}_3$ 的含量较低,整个A孔剖面性质不同的微量元素和氧化物呈现有节奏的同步变化,致使元素波动曲线<sup>2)</sup>(本文略)的波谷波峰出现有规律的变化。地球化学旋回、 $\text{CaCO}_3$ 旋回、沉积旋回与气候旋回的大体一致,表明我国西部内陆区域元素迁移、积聚的演变规律与古气候演变的相关。

### 1.4 生物地层旋回序列

A孔剖面共分析孢粉样品90块。孢粉组合主要分两大类。草本木本数相近,乔灌木花粉较多的Artemisia-Chenopodiaceae-Picea孢粉带,含中生水生草本、禾本科、莎草科,有麻黄、桦、云杉出现,且孢粉浓度较大(1174粒/g, 4639粒/g, 19630粒/g),表征较冷湿的环境。草本占优势的Chenopodiaceae-Artemisia-Ephedra孢粉带,以藜、蒿为主,且孢粉浓度较低(85粒/g, 713粒/g, 770粒/g),反映暖干或热干环境。这两类组合交替出现,形成10个孢粉带及若干亚带。

微体古生物分析发现,低盐度微咸水或淡水的疑湖花介*Lecocytthere mirabilis*和高盐度的肥胖真金介*Eucypris imglata*在剖面中交替出现,组成相应的多个旋回,反映淡水或微咸水湖以及盐水湖等不同生境(图1)。

这种生物地层旋回揭示了冷湿和暖干气候的变化过程。

### 1.5 氧、碳同位素奇偶素旋回序列

干旱区内陆湖泊暖期温度高而干燥,蒸发量大大超过降水量,蒸发作用首先带走的是水中较轻的 $^{16}\text{O}$ ,而留下较重的 $^{18}\text{O}$ ,并随着蒸发的增强而趋明显,介形虫介壳中的 $\text{CaCO}_3$ 含量增高, $\delta^{18}\text{O}$ 出现较高值。在冷湿期则相反之,湖区降水、冰雪水增多蒸发减弱,致使湖泊沉积中富 $^{16}\text{O}$ 而贫 $^{18}\text{O}$ ,介形虫介壳中 $\text{CaCO}_3$ 含量变低, $\delta^{18}\text{O}$ 出现负值,从而组成A孔晚更新世晚期五个同位素期交替变化(图2),其中,奇数段为淡水影响湖水期,它们与气候

1) 韩淑媞、李志中,新疆晚更新世微量元素及氧化物的累积规律,待刊稿。

的冷湿期相对应；偶数段为咸化期，与气候的暖干期相联系。前者为高湖面期，后者为低湖面期。所以巴里坤湖  $\delta^{18}\text{O}$  值曲线具有冷暖相关的干湿变化的古气候、古环境意义。与我国青海湖和国内外氧同位素偶数表示寒冷，奇数表示温暖的气候指向正好相反[3-5]。这种别具一格的氧同位素期旋回也证实了内陆型冷湿暖干型气候的存在。

### 1.6 湖侵与冰川旋回序列

巴里坤湖区的冷湿与暖干交替的气候旋回与山区冰川进退旋回一致，也与湖侵湖退期相吻合[6]。当冷湿期来临，山区冰川扩张，当冰川发育至极盛期后冰融水增多 (C.D.Coastes, 1984)，此时蒸发量减少，湿度增大，河水流量增多，湖面升高，形成冷湿期、冰期、高湖面的同步变化，如巴里坤山全新世以来10684a, 8000a, 6000a, 5000a, 3000a B.p. 的4次冰进和中全新世一次暖湿期与湖区5级高湖面 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_5$ (?) 相对应，其中 $t_3$ 为非冰进形成而是由古西南季风入侵带来暖湿气流所致<sup>1)</sup>。而16—19世纪小冰期几次前进与湖滨浅滩或最低级阶地上砂堤形成期相一致<sup>1)</sup>。

### 1.7 树木年轮所揭示的气候旋回序列

由巴里坤湖区树木年轮所反映的500年温度变化及北疆近500年的降水资料进行低通滤波处理后相叠加，得知高温和少雨干燥

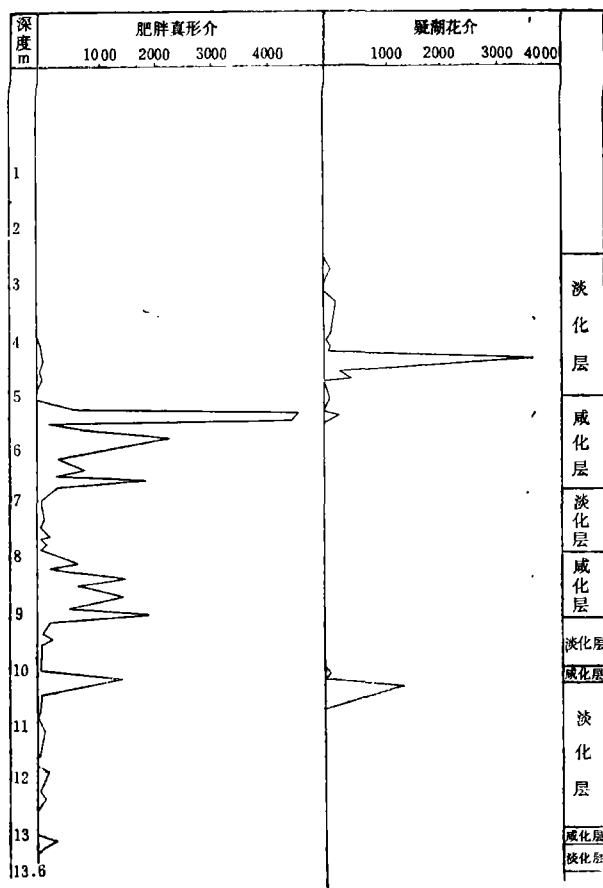


图1 介形虫个体分布图  
Distribution of ostracoda fossil in core A

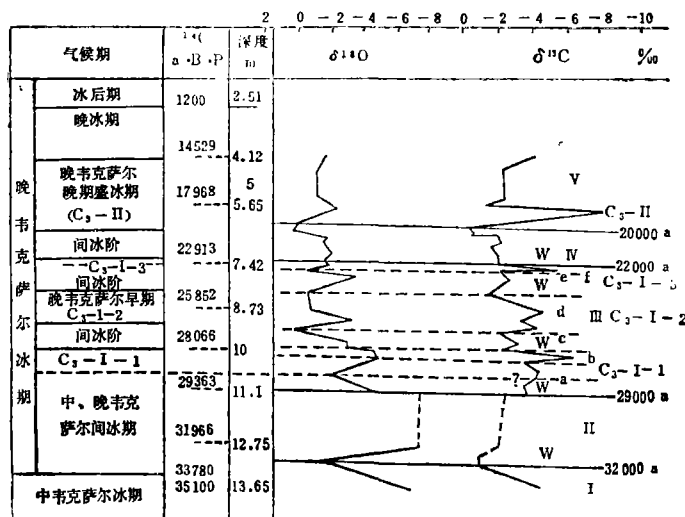


图2 A孔岩芯中介形虫壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 变化曲线和时代  
Oxygen and carbonate isostopic curve of the core A

1) 韩淑娟, 新疆巴里坤湖全新世以来环境演变序列。

期相一致,而低温和多雨湿润期相吻合<sup>[6]</sup>。

此外,北疆近30年的温度、降水实测资料亦反映了冷湿暖干的气候格局。这均说明地处内陆的北疆干旱区的气候特征。

A孔剖面湖积层的沉积地层变化序列与微量元素积累波动序列、孢粉微体动物交替变化序列、氧碳同位素序列,结合年代数据的研究,表明本区各环境因子的序列变化基本相同。反映了湖积层中的物理、化学、生物过程相互作用的环境效应。湖岩芯的气候记录与湖面升降、冰川进退、沙漠扩展与收缩、森林线的上下波动、树木年轮所反映的干湿变化相一致。这些不仅说明A孔剖面反映的环境变化具有鲜明的地域特色,也说明湖区各种事件是受全球岩石圈、水圈、生物圈的相互影响的同步结果。不同时间尺度 $10^4$ a,  $10^3$ a,  $10^2$ a周期性变化基本一致,表明高层次大尺度的环境演变对低层次的小尺度的变化有制约作用。

## 2 环境演变模式

根据上述各种旋回序列,对3.5万年以来北疆的环境演变模式简述于下。

### 2.1 冷湿暖干型气候

3.5万年以来北疆的气候属冷湿暖干型,而世界上多数的干旱半干旱区属冷干暖湿型<sup>[7]</sup>,如中国甘肃以东的干旱半干旱区即属冷干暖湿型<sup>[8]</sup>。全球仅少数干旱半干旱区属冷湿暖干型,如美国西部等地的干旱区与北疆相类似。在冰后期最暖期多数干旱区较现今湿润,而美国西部较现今干旱。本世纪30年代为美国最严重干旱期,公元前800—300年也为干旱期,而各该时段又均为暖期。美国西部洛杉矶以冬季降水为主。美国中西部土壤水分冬季明显较夏季为高<sup>[7]</sup>。气候系统内外部各种因素的影响,致使冷暖、干湿变化的配置格局和程度存在明显的地域差异。晚更新世以来的气候变化在内陆干旱区形成冷湿与暖干相对应的模式。北疆内陆西风带出现的冷湿暖干型,不同于东部季风区的冷干暖湿型气候<sup>[9]</sup>。

### 2.2 晚更新世晚期以冷湿环境为主

北疆地区的气候自3.5万年至1.2万年间的晚更新世后期,以各种不同时间尺度冷湿期(亚冰期)为主,且冷湿期持续时间长,频率高。而其间的暖干期(间冰阶)出现的时间短,变幅小,当进入中晚韦克萨尔间冰阶才出现明显变幅,因而整个这一时期的气候曲线都处于低谷状态<sup>[6]</sup>。相反地,冰后期以暖干期为主,呈现出持续时间长、变幅大、频率高的特征。这与12000年间,地球轨道参数变化导致冰后期太阳辐射量增加7%所产生的全球性气候效应有关<sup>[10]</sup>。

### 2.3 晚更新世晚期的环境演变与全球变化一致

北疆的古气候古环境不仅在演变阶段演变序列上与全球变化相一致,且演变幅度、频度也与全球其他地区相类似。如3.5万年来北疆的环境演变序列与同时期百年营地冰岩芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(兰姆,1985)基本一致,即各演变阶段的年代十分接近。3.5万年以来古环境变化中,变幅最大最剧烈最迅速的3个突变时期正是世界气候史上全新世6660年间的最温暖期、12000年的冰后期与32000—35000年的中晚韦克萨尔间冰阶的突变期。6660年和12000年是北半球太阳辐射(包括磁化率)开始增高和突变时期<sup>[11]</sup>,32000—35000年是晚更新世后

期最暖时期,世界上许多湖泊干枯或湖底出露。因而本区的环境演变也深受其影响,巴里坤湖处于西风带内陆干旱区的地理位置,使本区环境变化有别于受季风影响的干旱半干旱区。17 800年的盛冰期对本区的影响变幅并不明显,这可能与晚更新世晚期青藏高原的隆起对西南季风产生了明显的阻挡作用(北疆受水汽所限)有关。而12 000年的冰后期的影响则较东部明显,则是受内陆干旱区环境脆弱等因素的影响所致。且本区冰后期和盛冰期的出现与全球和东部地区相比在时间上有所提前<sup>1)</sup>。

#### 2.4 古季风在中全新世极强盛时曾入侵新疆

本文前述 $6\,668 \pm 89\text{a B. P.}$  A孔1.25m处所反映的暖湿气候特征,考古资料沙井子、仰韶文化所反映的湿润环境,以及 $t_3$ 高湖面阶地<sup>2)</sup>的广泛发育,均证实当时的气候较今暖湿。植被和土壤所反映的生物气候带与降水带的分布也有良好的对应关系,现代巴里坤湖区202mm降水等值线位置大体与欧亚草原区向蒙古荒漠区过渡带相一致,据此推测,中全新世时,本区生物气候带与暖温带半湿润半干旱草原、森林草原环境接近,降水量可达400—600mm。这一暖湿期的存在应当与强烈的古西南季风于中全新世时曾侵入北疆东部有关。西南季风抵达北疆致使本区这一时期由暖湿气候取代了暖干气候<sup>2)</sup>。

#### 2.5 存在较明显的晚冰期及5 000年短暂冷期

A孔剖面1.04—1.20m间( $^{14}\text{C}$ 测年5 000年左右)这一层出现的一系列古气候突变,演变为明显的冷湿环境。这与我国东部以及欧洲存在的5 000年短暂冷期相一致。2.20—4.20m处( $^{14}\text{C}$ 测年为 $10\,084 - 14\,366 \pm 410\text{a B. P.}$ )出现前述晚冰期3个冷期和2个暖期的几次波动,也与欧洲晚冰期十分相似,表现出不同程度的剧变、频繁、突变等特征<sup>[12]</sup>(在我国东部除长白山地区发现有晚冰期植被演替记录外,未见完整的报道)。从空间分布看,巴里坤湖晚冰期以及世界上其余地区的晚冰期均集中在北半球中高纬度地区。这一特征可能与北大西洋深水环流的建立与破坏有关<sup>[13]</sup>。

#### 2.6 晚更新世晚期环境变化受不同时间尺度的周期变化和突变的影响,并制约灾变环境的出现

气候与环境变化过程是由各种不同时间尺度的周期性变化叠加而成。利用功率谱、方差(从 $\text{CaCO}_3$ 、微量元素、年轮等方面)对巴里坤湖区气候变化序列作了周期分析\*,获得主要周期有2 500、1 300—1 000、100—120、50—60、30—33.6、20.2、12.1—13.7、7.4、5—6、2.2—3.1a。其中2 500、10 000a周期在全球第四纪环境变化中都有明显反映<sup>[14]</sup>。这是由于地球轨道参数变化引起的太阳辐射变化而造成全球性变化的较长周期。100年变化是太阳活动世纪性周期形成<sup>[14]</sup>,而20年、12年周期变化也与太阳黑子变率有关。本区频率最高的周期变化出现在50—60、30、20、12.1、7.4、2—3a,这与地球自转存在着60、30、3a的准周期变化有关<sup>[7]</sup>。

地球自转速度变化是全球性异常变化的根本原因,这在北疆地区尤为清楚。笔者认为受

1) 韩淑妮、李国胜.北疆全新世环境演变总结.北京师范大学地理系主编,第三届环境会议论文集,待刊。

2) 韩淑妮、李国胜.北疆中全新世温暖环境与西南古季风入侵.北京师范大学地理系主编,第三届环境会议论文集,待刊。

\* 由自治区气象局袁玉江先生完成。

地球自转速度制约的厄尔尼诺年与艾比湖、巴里坤湖地区的严重干旱年、较大洪水年、较大旱年存在着良好的同步性,还发现灾害年似乎均出现在干湿气候交替的年代<sup>1)</sup>。气候的灾变与气候突变密切相关。如1919—1916年、1750—1759年、1910—1920年。其中,有的突变与北半球氧同位素所显示的突变一致<sup>[9]</sup>,也与厄尔尼诺较强的年代相对应,这些年代常是湖区灾害的发生期。因突变后气候状态不稳定,并随之向相反的方向转变。如1816年突变,北半球气温平均下降约 $0.6^{\circ}\text{C}$ <sup>2)</sup>。气候的周期变化、突变、灾变是反映环境演变过程的重要特征之一。灾害环境与气候突变关系密切,已引起环境工作者的注目。

### 参 考 文 献

- [1] 施雅风、文启忠等.新疆柴窝堡盆地第四纪气候环境变迁和水文地质条件.北京:海洋出版社,1990.
- [2] 韩淑媛.新疆巴里坤湖500年来环境变迁.新疆大学学报,1991,8(2):
- [3] 杨怀仁.第四纪地质.北京:高等教育出版社,1987,122-123
- [4] 张彭喜、张保珍等.青海湖冰后期以来古气候波动模式研究.第四纪研究,1989,(1):71
- [5] 吴世迎、白黎明.新疆巴里坤湖氧、碳同位素测定的古气候意义.新疆大学学报,1990,(4):81-83
- [6] 韩淑媛、袁玉江.新疆巴里坤湖3.5万年以来气候变化序列.地理学报,1990,45(3):
- [7] 汪振球.全球变化.北京:科学出版社,1990.
- [8] 史培军.论全球现代干燥半干燥区第四纪的湿润期与干燥期.干旱区资源与环境,1990,4(4):
- [9] 韩淑媛、瞿章.新疆巴里坤湖内陆全新世气候特征.中国科学,1992(11):
- [10] Kuttybach J.E., Otto-Bliesner.O.L. The Sensitivity of the Africar-Asian monsoonal Climate to Orbital Parameter Changes for 9 000 Years B.P.in a Low-Resolution G.C.M.J. of the Atmo. Sci. 1982, 39(6):
- [11] 安芷生、吴锡浩等.最近2万年来中国古环境变迁的初步研究.黄土·第四纪地质·全球变化.北京:科学出版社,1990,2
- [12] H. Flohn. On Time Scale and Causes of Abrupt Palaeoclimatic Events. Quaternary Research, 1979, (12):
- [13] 李国胜.中国西部干旱半干旱地区四万年来的古气候与环境演变序列模式及机制研究.〔学位论文〕.南京大学大地海洋系,1992.
- [14] 施少华、杨怀仁等.中国地区晚全新世以来的环境变化.地理学报,1992,47(2):

1) 韩淑媛.新疆巴里坤湖、艾比湖2000年来环境演变与趋势预测.1992.

2) 张丕远、王铮.19世纪上半叶可能的气候突变.1992.

# ENVIRONMENTAL CHANGE OF INLAND-TYPE CLIMATE DURING THE LATE PERIOD OF LATE-PLEISTOCENE IN NORTHERN XINJIANG

Han Shuti     Wu Naiqi

(Geography Department, Xinjiang University)

Li Zhizhong

(Geography Department, Xinjiang Normal University)

**Subject terms:** environmental change, Inland-type model, Late period of late-Pleistocene, Xinjiang

## Abstract

In this paper, based on using sedimentary profile, i.e., representative Hole A and combining the age-determination date, we have synthetically studied the various environmental elements of Balikun lake in northern Xinjiang. Then we have gained the sedimentary environmental signs that fit in with the biological, physical and chemical processes in arid land, which confirmed that the environmental change of Balikun Lake has evolved in the climatic pattern of alternating between cold-wet and warm-dry. In other words, the environmental change in this region acted upon the inland-type climate since the late period of late-pleistocene. Owing to the influence of the special geographic position and inner-outer factors of climatic system, fluctuating intensity, range and period of the inland-type climate have displayed the regional difference in time-space distribution, which constitute the change model of inland-type climate. The result mentioned above provides the new evidence for regional study in globe change.