

# 北半球对流层下部温度变化的研究\*

王绍武 赵宗慈

(北京大学地球物理系)

## 1. 引言

温度变化是气候变化的重要内容,为弄清北半球气候变化的趋势,首先须正确估计温度变化。过去大多数作者应用地面气温记录进行了分析<sup>[1-8]</sup>,但由于所用站点密度不够,大洋上记录又非常少,以致对地面气温变化的分析,作者之间往往存在分歧。在这种情况下,研究对流层气温变化趋势就具有重要意义,一方面可以探讨地面与对流层气温变化趋势的关系;另一方面用等压面之间的厚度来间接推算对流层气温,由于气压或等压面高度的空间连续性大,就有可能对低纬与海洋上的温度变化取得新的证据,以补地面站点之不足。本文作了这方面的尝试。

## 2. 北半球温度变化的趋势

我们根据 1951—80 年北半球月平均海平面气压图及 500 毫巴高度图计算出 30 年逐月 500—1000 毫巴厚度。网格点的取法为:90°N 一个点,80°N 4 个点,70°N 到 10°N 每 10°纬度 10°经度一个点,这样,10°N 以北共取 257 个点。然后用 1 位势什米相当 2.03°C 换算为平均虚温,代表对流层下部平均气温,再对 10°N 以北到 90°N 按纬圈面积加权平均,求出北半球平均对流层下部气温。

由图 1 a 可见,1951—80 年北半球平均对流层下部气温距平的年平均值,以 1953 年最高(+0.46°C),1972 年最低(-0.42°C),即 50 年代初到 70 年代初的 20 年间下降了 0.88°C,70 年代总的趋势是气温回升,1980 年比 1972 年增暖 0.55°C。最近的研究<sup>[4]</sup>表明,1981 年是近百年来未有的暖年,正距平达 0.48°C。

有的作者也曾根据 500—1000 毫巴厚度分析对流层下部气温的变化,但可能由于分析的区域不如本文广泛,所得平均温度变化数值稍大(表 1);加之我们分析的地区范围南达 10°N,而低纬一般变率较小,所以平均距平也要小一些。另外,各个作者所取的年代略有差异,因而数值也有所不同。但是,总的变化趋势是比较一致的,即从 50 年代初到 70 年代中气温下降,以后又回升。

图 1 b 给出北半球地面气温距平,这是 Wigley<sup>[4]</sup>等最近(1982)计算的结果。它与 Винников 等(1980)<sup>[12]</sup>得到的数值(图中未给出)大体相同。由图 1 可以看出,地面

\* 本文于 1982 年 9 月 3 日收到,1982 年 12 月 14 日收到修改稿。

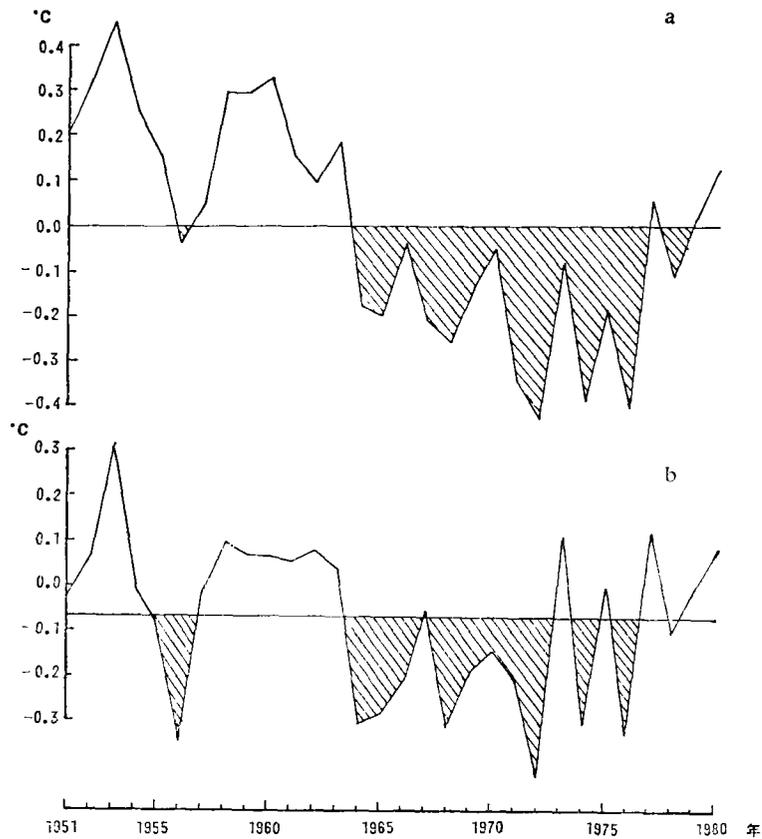


图 1 北半球对流层下部(a)和地面(b)年平均温度距平  
(画斜线部分表示低于平均值)

表 1 对流层下部气温变化计算值比较

作 者	年 代	温度变化 (°C)	年 代	温度变化 (°C)	年 代	温度变化 (°C)
Dronia <sup>[9]</sup>	1959—64	-0.6	1964—73	+0.11		
Harley <sup>[10]</sup>	1959—65	-0.73	1964—75	+0.19		
Flohn <sup>[11]</sup>	1959—64	-0.8	1964—72	-0.4	1972—78	+0.3
本文作者	1959—65	-0.49	1965—72	-0.3	1972—80	+0.55

(气温变化指首尾两年的气温差值)

与对流层下部气温的变化趋势是十分相似的，主要峰值年与谷值年也几乎完全相同，但地面气温变化数值略小。1953年为 $+0.31^{\circ}\text{C}$ ，1972年为 $-0.42^{\circ}\text{C}$ ，20年内下降了 $0.73^{\circ}\text{C}$ ，到1980年又上升了 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

然而，这并不说明两者的气温变化完全相同。图1也表明，地面气温年际变率较大，而长期趋势则不如对流层明显。功率谱分析可以很好地说明这一点。图2是根据1951—80年360个月的资料计算的功率谱， $N=360$ ， $m=120$ 。为了消除变率季节变化的影响，对各月气温先进行标准化，然后做谱分析。显然，两者的长期趋势都是很明显的。

的。但也有不同,地面气温持续性小(图中地面气温纵座标比对流层下部的放大了一倍),长期趋势达不到 95% 信度界限,而两年周期有相对次大峰值(虽然也达不到 95% 信度要求)。从计算的落后自相关看也是一样,对流层下部气温落后 1 个月自相关达到 0.684,而地面气温才 0.554。

因此可以得到结论,对流层下部气温与地面气温的长期变化趋势基本一致,但比地面变率略小,持续性则更大,且没有明显的 2 年周期的迹象。

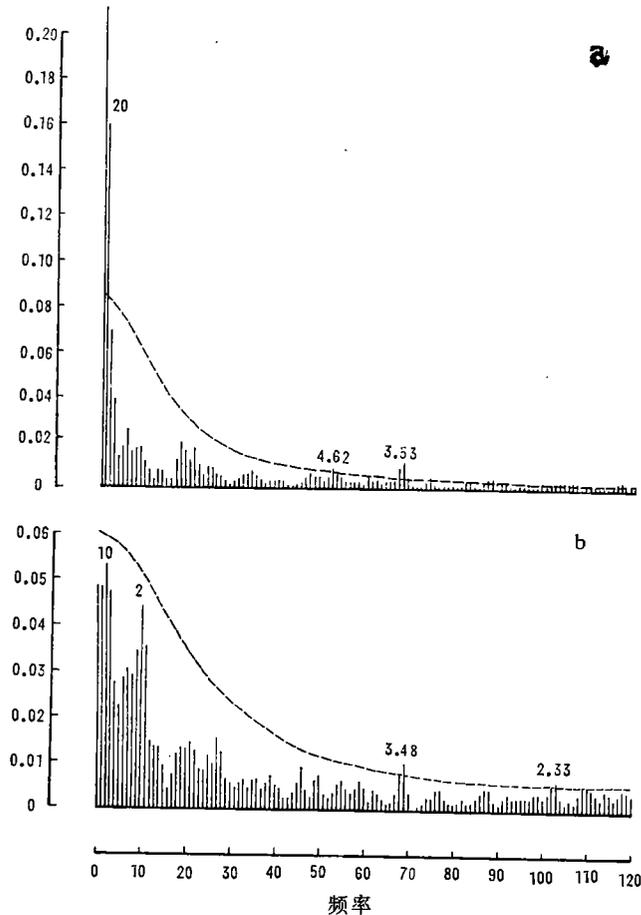


图 2 对流层下部气温(a)与地面气温(b)的功率谱分析  
(虚线为 95% 信度界限)

### 3. 不同季节与不同纬度的温度变化

图 3 给出 1—12 月各月北半球对流层下部平均气温年距平的分布,可看到,各月温度变化没有根本的区别,正、负距平区基本是横向分布。1964 年之前气温偏高,70 年代末气温又回升,与图 1 的总趋势完全一致。

不同纬度之间的温度变化是否有超前或落后的情形呢? 回答基本是否定的。从图 4

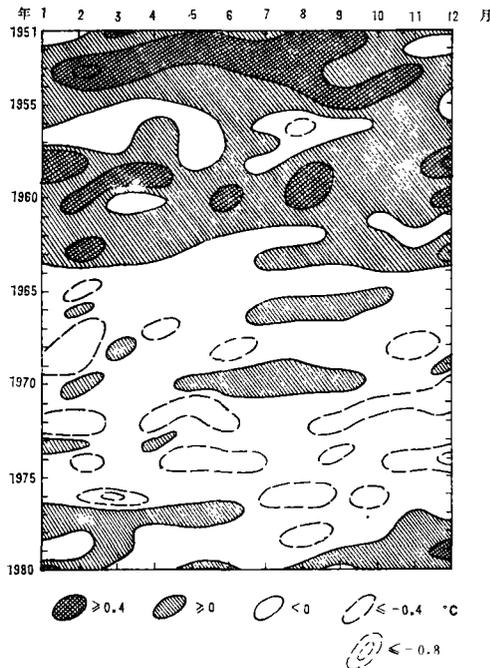


图 3 对流层下部气温距平

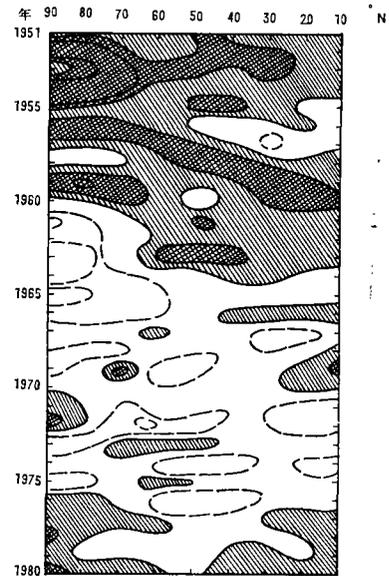


图 4 不同纬度对流层下部气温距平 (图例同图 3)

各纬度气温变化来看, 距平区没有明显的倾斜, 只有 1956—60 年  $\geq 0.4^{\circ}\text{C}$  的正距平区似乎随着年份的推移从高纬向低纬延伸, 但其它年份并没有类似现象。Hansoon(1978)<sup>[13]</sup> 曾认为 700 毫巴高度有从副热带向极地传播的趋势 (主要也出现在 50 年代末到 60 年代初), 但 Quinn 等(1980)<sup>[14]</sup> 补充了新的资料后发现, 这并不是一个普遍的规律。但是, 各纬圈的温度变化也不完全相同, 这主要表现在变化频率的不同上。为了说明这点, 表 2 给出了各纬圈温度的功率谱计算结果, 计算方法与北半球平均气温相同。为了简单明了, 把整个谱分为 7 个频率带, 表中列出每个频率带之功率。每个纬圈总功率应为 100%, 因为做了谱窗处理, 所以表中横行的数字总和并不严格等于 100%, 一般有 1% 左右误差。由于要考虑波动的物理原因, 频率带划定的宽度并不相同。因此, 表中的数值直接做横向比较不能完全说明问题。我们主要进行纵向、各纬圈之间的对比。为便于比较, 我们给出两种谱的信度检验标准, 一种为白噪声, 一种为红噪声, 均为 95% 信度界限。对比二者也按上述 7 个频率带分别相加, 其中红噪声是按北半球平均温度的落后相关计算出来的。由表 2 显然可以看出, 北半球大致分为三个带,  $10^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$ 、 $40^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$  及  $70^{\circ}-90^{\circ}\text{N}$ , 正好是日常所谓低、中、高三个纬度带。低纬以长期趋势为主, 中纬半年到两年的变化比较突出, 高纬则 4 个月以下的短期变化占绝对优势。表中倒数第 3 行是北半球平均气温的谱 (不是各纬圈谱的平均), 由于消除了纬圈之间的随机高频变化, 所以长期趋势比任何一个纬圈都突出。顺便指出, 中纬度半年及半年到一年半的振动比较强, 这是否与中纬天气的半年韵律<sup>[15]</sup>有关值得注意。

此外, 这个分析与 Борзенкова 等 (1976)<sup>[16]</sup> 对北半球地面温度的分析有某些一致。

该作者指出, 北半球高纬 2—8 个月的变化占 50%, 同时北半球长期趋势 63—190 年振动占 30.7%, 都与我们的分析结果相合。这说明尽管我们只有 30 年的对流层下部气温资料, 而分析的结果与根据近百年地面气温得到的结论有共同之处, 即低纬与高纬气候变化的特征有很大差异, 这就是低纬长期趋势突出, 高纬短期变化更明显。

表 2 不同频率带各纬圈温度变化的功率 (%)

名 称	长期趋势	3.5 年周期	准 2 年周期	0.5—1.5 年 周期	0.5 年周期	3—4 个月周期	2—3 个月周期
频 率	0—4	5—7	8—11	12—30	31—53	54—80	81—120
周期长度 (月)	>60	34—48	21.82—30.00	8.00—20.00	4.53—7.74	3.00—4.44	≤2.96
90°N	10.3	1.2	3.8	19.7	16.2	20.0*	30.2*
80	19.4	1.7	6.5	15.9	17.1	16.0*	25.3*
70	22.0	6.0	3.3	18.7	17.6	14.1	19.6
60	16.8	8.3	8.2*	24.9*	11.8	12.4	17.8
50	17.3	8.0	10.6*	21.1*	18.5*	10.8	12.9
40	22.4	4.1	5.0	19.4	17.9*	11.7	19.7
30	39.0*	6.1	4.9	14.3	11.1	10.1	14.5
20	40.4*	11.6*	7.6	11.9	10.2	10.2	9.7
10	35.1	10.8*	6.5	18.7	8.0	10.1	12.1
北 半 球	48.8	5.7	5.1	14.2	9.1	7.5	9.4
白 噪 声	3.7	2.5	3.3	15.8	19.1	22.4	32.8
红 噪 声	21.2	11.2	12.3	29.4	12.4	6.8	6.7

(带 \* 号者表示 9 个纬圈中功率最大及次大值)

#### 4. 温度变化与冰雪覆盖的关系

在研究地-气系统的气候变化时, 人们经常指出极冰与大陆积雪是一个能加强温度变化的正反馈因子, 所以在研究温度变化时, 冰雪是很重要的。可惜冰雪资料十分难得, 大陆雪盖只是在 1966 年末有了极轨卫星观测以来才有较完整的序列。Matson 等<sup>[17,18]</sup>统计了北半球冬季 (12—2 月) 积雪面积, 我们计算了冬季北半球 (包括北美及欧亚两个大陆) 积雪与各纬圈平均气温的交插落后相关 (图 5), 发现冬季积雪覆盖与同期温度关系不大, 但与其后的夏半年温度 (5—10 月) 负相关较明显。6—9 月 60°N 最为突出, 其中 6 月、8 月、9 月均超过了 95% 的信度标准。图 6b 给出冬季 (12—2 月) (1966—67 年冬记为 1967 年) 积雪面积与 60°N 6—9 月平均气温变化曲线, 为了与积雪比较, 对气温重新计算 1967—80 年平均, 平均值即图中横线, 可见两者相关确实较好。由此可以认为, 冬季积雪与北半球中纬夏季温度相关最密切, 积雪多, 气温低; 积雪少, 气温高。

再看极冰, 也就是海冰。海冰的面积, 不同作者估计有差异, 这关系到以冰占多大比例的线作为海冰的外缘线。海冰资料也是以卫星观测最为准确及完整, 但可惜序列太

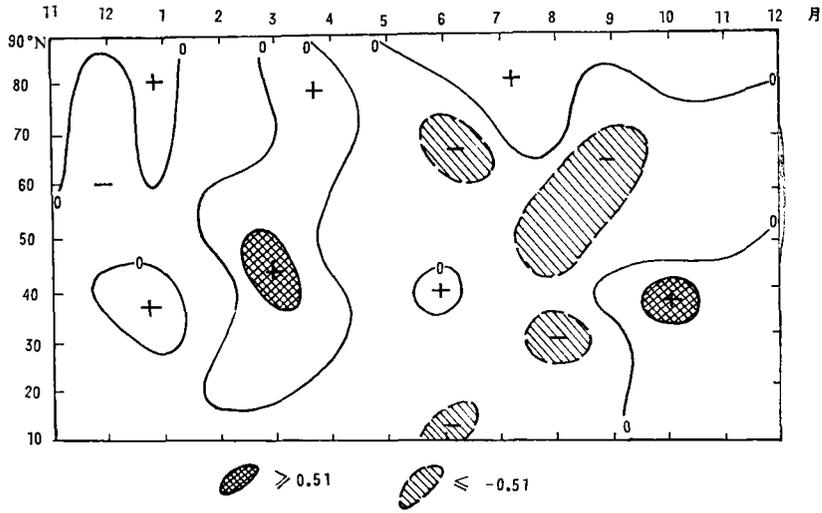


图 5 北半球冬季积雪与各纬圈平均气温之间的交插落后相关  
(图中正、负相关达到 95% 信度区用方格及斜线画出)

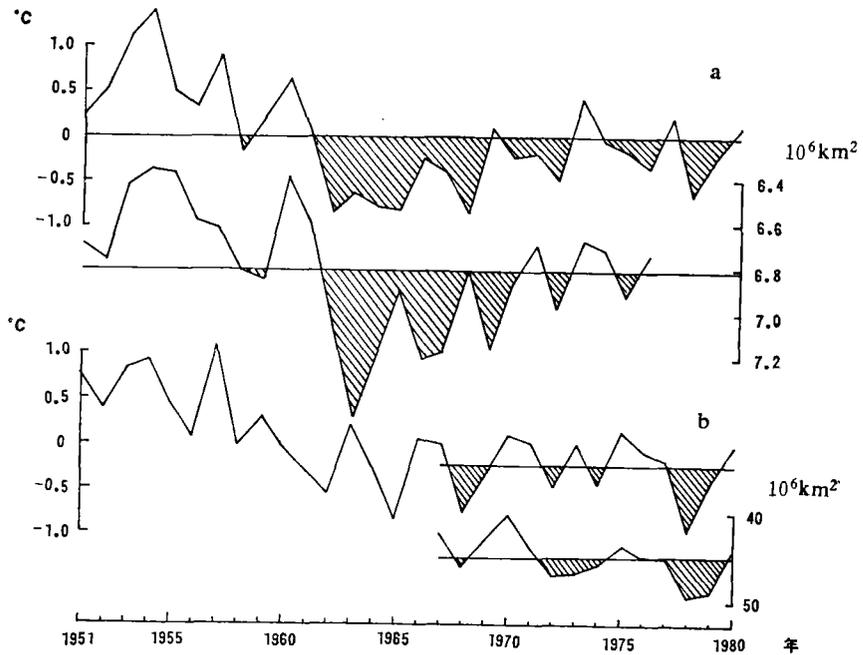


图 6 北半球积雪 (b)、极冰复盖 (a) 与夏季气温的变化曲线  
(图中横线为平均值, 斜线区域为极冰、积雪面积高于平均值的部分, 以及气温低于平均值的部分)

短<sup>[9]</sup>。而 Захаров<sup>[19]</sup>分析了格陵兰海、挪威海、巴仑支海、克拉海、拉普捷夫海、东西伯利亚海、楚科奇海的极冰,序列自 1976 年向前延伸到 1946 年,个别月份甚至到 1924 年。由于这个资料并未包括整个北半球极冰区,所以总面积比 Kukla<sup>[20]</sup>等统计的偏低,但是做为一个较长而完整的序列还是很可贵的。同时因为夏季极冰年际变化最明显,所以我们用其中 1951—76 年 7 月及 8 月极冰面积与各纬圈平均气温求交插落后相关。图 7 同样给出达到 95% 信度的相关区,不过由于极冰的序列比积雪长,所以 95% 信度的界限比积雪也低。可以看出,极冰主要与同期及前期高纬气温有负相关。同样为了比较,图 6 a 给出 7—8 月极冰面积及 5—8 月 70°N 平均气温的变化曲线,它们的演变趋势是非常一致的。极冰多,气温低,极冰少,气温高。

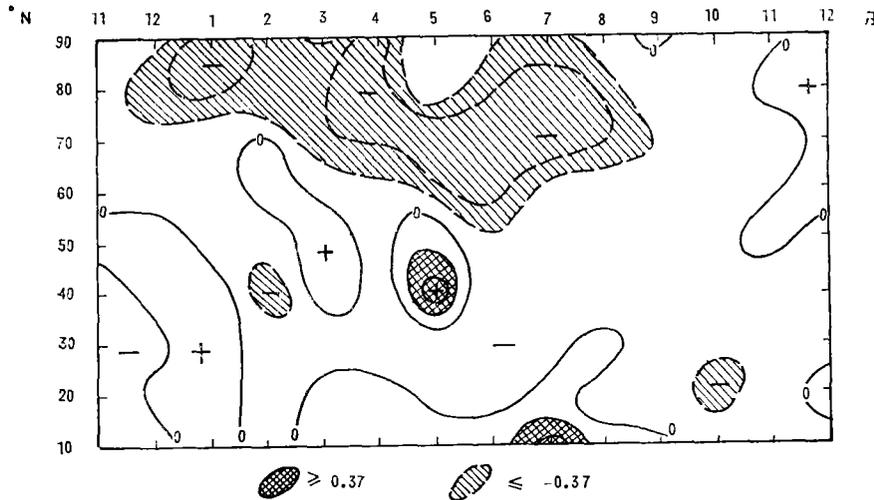


图 7 7—8月极冰与上一年 11 月到当年 12 月各纬圈平均气温的交插落后相关

以上分析表明,冬季积雪与其后夏半年中纬气温负相关最明显,而夏季极冰与高纬气温的负相关则自前冬持续到夏季,这两个因子作用过程的不同,值得我们在建立气候模式及设计长期数值预报方案中加以重视。

## 5. 结 论

- 1) 对流层下部平均气温 30 年来的变化趋势与地面气温类似,但自 50 年代初到 70 年代中的下降趋势更明显,70 年代末期气温回升。
- 2) 各月、各纬圈温度变化长期趋势基本一致,但变化频率有不同;低纬气温变化长期趋势最明显,高纬半年以内的短期变化占优势。
- 3) 冬季积雪与之后的夏季温度有明显负相关;而夏季极冰与高纬气温有明显的负相关,且自前冬持续到夏季。

## 参 考 文 献

- [1] Mitchell, J. M., Recent secular changes of global temperature, *Annals N. Y. Acad. Sci.*, **95**, 235—250, 1961.
- [2] Hansen, J., D Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind and G. Russell, Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide, *Science*, **213**, No. 4511, 957—966, 1981.
- [3] Yamamoto, R., Change of global climate during recent 100 years Proc. WMO Tech. Conf. on Climate—Asia and West Pacific, Guangzhou, China 15—20 Dec. 1980.
- [4] Jones, P. D., T. M. L. Wigley and P. M. Kelly, Variations in surface air temperatures: Part 1. Northern Hemisphere, 1881—1980, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 59—70, 1982.
- [5] Paltridge, G. and S. Woodruff, Changes in global surface temperature from 1880 to 1977 derived from historical records of sea surface temperature, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 2427—2434, 1981.
- [6] Будыко, М. И. и К. Я. Винников, Глобальное потепление, *Метео. и Гидро.*, No. 7, 1976.
- [7] Kukla, G. J., J. K. Angell, J. Korshover, H. Dronia, M. Hoshiai, J. Namias, M. Rodewald, R. Yamamoto and T. Iwashima, New data on climatic trends, *Nature*, **270**, No. 5638, 573—580, 1977.
- [8] Asakura, T. and S. Ikeda, Recent climatic change and unusual weather in the Northern Hemisphere, *GeoJournal* 5.2, 113—116, 1981
- [9] Dronia, H., Über Temperaturänderungen der freien Atmosphäre auf der Norahab kugel in den letzten 25 Jahren, *Meteorol. Rdsch.*, **27**, 166—174, 1974.
- [10] Harley, W. S., Trends and variations of mean temperature in the lower troposphere *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 413—416, 1978.
- [11] Lamb, H. H., Climatic changes and food production: Observations and outlook in modern world, *GeoJournal* 5.2, 101—112, 1981.
- [12] Винников, К. Я., Г. В. Груза, В. Ф. Захаров, А. А. Кнриллоу, Н. П. Ковынева и Э. Я. Ранькова, Современные изменения климата северного полушария, *Метео. и Гидро.*, No. 6, 1980.
- [13] Hansoon, K. J., Summary of Northern Hemisphere 700 mb height departures from normal 1966—1969, Proceedings of third Annual Climate Diagnostics Workshop, Florida, October 31
- [14] Quinn, W. H., S. K. Esbensen and D. B. Enfield, Interannual climatic anomalies: Do they propagate? Proceedings of Fifth Annual climate Diagnostics Workshop, Washington, October 22—24, 1980.
- [15] 赵宗慈、王绍武、陈振华, 韵律与长期天气预报, *气象学报*, **40**, No. 4, 464—474, 1982.
- [16] Борзенкова К. И., К. Я. Винников, Л. П. Спирина и Д. И. Стехновский, Изменение температуры воздуха северного полушария за период 1881—1975 гг., *Метео. и Гидро.*, No. 7, 1976.
- [17] Wiesnet, D. R., and M. Matson, The satellite-derived northern hemisphere snowcover record for the winter 1977—78, *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 928—933, 1979.
- [18] Matson, M. and M. S. Varnadore, The winter snow cover drought of 1980—81, Proceedings of the Sixth Annual Climate Diagnostics Workshop, New-York, October 14—16, 1981.
- [19] Захаров, В. Ф., Л. А. Строкина, современные изменения ледяного покрова северного левовитого океана, *Метео. и Гидро.*, No. 7, 1978.
- [20] Kukla, G. J., Recent changes in snow and ice, *Climatic Change*. edited by J. Gribbin, Cambridge University Press, 1978.