

南极洲伊丽莎白公主地区 250 年来 气候环境变化研究

张明军¹, 李忠勤², 秦大河², 效存德², 任贾文², 康建成³, 李 军⁴

(1 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国极地研究所

上海 200129; 4. Antarctic CRC and Australian Antarctic Division, Hobart 7001, Australia)

摘 要: 利用 1996/1997 年中国首次南极内陆冰盖考察获得的 50 m 雪芯资料, 恢复了南极洲伊丽莎白公主地区 250 年来的气候变化情况: 250 年来, 伊丽莎白公主地区的积累率和气温大致可以 1860 年为界分为两段, 1860 年以前气温和积累率都呈现上升趋势, 而 1860 年以后气温明显降低, 积累率变化不明显。同时, 从 250 年的时间尺度考察近半个世纪以来气温和降水的结果表明, 虽然目前两者都呈现上升的趋势, 但都不是历史上的最高值。250 年来的大气环境变化研究表明: $\delta^{18}\text{O}$ 与 NO_3^- 、 msSO_4^{2-} 浓度变化表现出一定程度的负相关性, 即冷期时这两种离子的浓度都较高, 暖期时浓度低, 这可能是冷期经向环流加强从而有利于其从中、低纬度传输的缘故; 而海盐离子 Cl^- 、 Na^+ 和 Mg^{2+} 与 $\delta^{18}\text{O}$ 无任何相关关系, 可能反映了本地区雪冰中的海盐离子主要来源于周边海洋地区的降水。

关键词: 南极洲; 雪芯; 气候; 环境

中图分类号: P467; P402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2002)01-0193-05

自工业革命以后, 人类活动已经影响到全球大气的化学组成, 进而影响到全球的气候。例如, 研究表明大气中温室气体浓度自工业革命以来明显上升, 目前已经达到过去几十万年以来的最高水平^[1-5]。因此, 探讨古气候、古环境进而预测未来的气候和环境变化对于人类的生存有着重大的意义。

冰芯在恢复古气候、古环境时的诸多特点(分辨率高、信息量大、保真度高等)使其成为探讨古气候环境变化的重要介质。南极冰盖以其独特的地理位置, 使其成为反映和反馈全球变化的特殊地理区域。南极洲伊丽莎白公主地区尚未开展过系统的冰川学和气候学调查, 更是南极冰芯研究的空白地区, 利用冰芯恢复这一地区的气候特征显得尤为重要。1996/1997 年中国首次南极内陆冰盖考察期间获得了一支 50 m 雪芯, 为此, 本文利用该雪芯资料恢复

本地区 250 年来的气候变化情况, 并结合各主要离子浓度的变化特征, 对本地区 250 年来大气环境特征做初步探讨。

1 样品的采集、分析和定年

1996/1997 年中国首次南极内陆冰盖考察期间, 在考察的终点 LGB65 处钻取了一支 50 m 长的雪芯(位置见文献[6]中图 1)。样品的采集、分析测试过程在文献[6, 7]中已有详细阐述, 此处不再赘述。

冰芯定年是冰芯研究的基石, 为此, 笔者专门研究了本地区各种离子的年层效应, 结果表明, 伊丽莎白公主地区海盐离子(Cl^- , Na^+)和 NO_3^- 在 50 m 雪芯范围内都具有非常明显的年层效应^[6, 7]。因此, 本雪芯定年采用 $\delta^{18}\text{O}$ (只对雪芯上部 3 m 有定年作用, 以下被平滑)、 NO_3^- 和海盐离子相结合的办法。火山资料对比结果表明^[8], 在本地区用 $\delta^{18}\text{O}$ 、 NO_3^- 和海盐离子相结合的办法对 50 m 雪芯定年具有较高的精度(由于个别地方出现离子浓度平滑现象, 因此估计绝对误差小于等于 3 年)。按照上述方法,

收稿日期: 2001-07-08; 修订日期: 2001-11-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-303); 国家自然科学基金资助项目(49971021; 49771022)

作者简介: 张明军(1975—), 男, 博士研究生, 主要从事南极冰芯和环境演变方面的研究。

50 m 雪芯定年结果为 251 年, 即从 1745—1996 年。

2 250 年来气候变化情况

对本地区气候特征的分析将从代表降水的积累率和代表气温的 $\delta^{18}\text{O}$ 两方面进行论述。

积累率是根据下述公式计算所得:

$$b(t) = h(t) \cdot d(t)$$

式中: $b(t)$ 是以水当量表示的物质积累率 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$]; $h(t)$ 是雪芯的年层厚度 [$\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$]; $d(t)$ 是该年层的平均密度 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], 是实测样品结果。因为雪芯较浅, 恢复积累率时不考虑长时间蠕变的影响。由于采样地点代表年均温变化的雪层 10 m 深处的温度很低 (约 -33.1°C), 因此, 本地区的积累率可以代表降水量, 同时据我们的研究和前人的工作, 本地区 $\delta^{18}\text{O}$ 的值可以代表气温的变化^[9~11]。

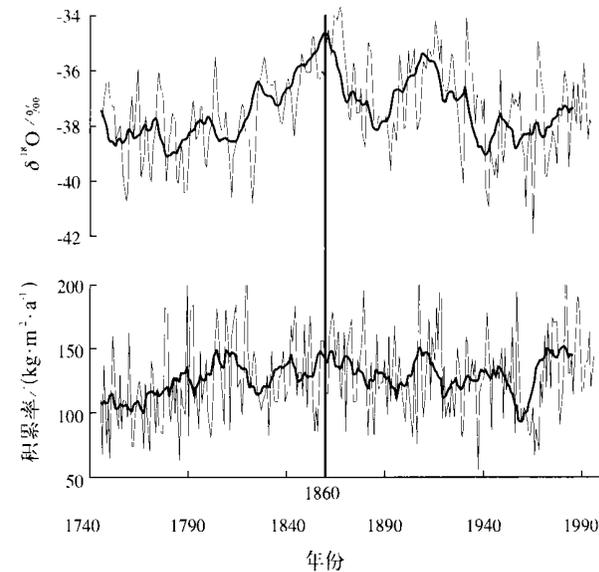


图 1 南极洲伊丽莎白公主地区 1745—1996 年 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率变化曲线图

Fig. 1 Annual averages (thin lines) and 11-year running mean

(thick lines) of $\delta^{18}\text{O}$ and accumulation rate in Princess

Elizabeth Land, Antarctica from 1745 to 1996

图中的细曲线为年平均值, 粗曲线为 11 年滑动平均值

从图 1 中可以看出, 250 年来, 伊丽莎白公主地区的 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率大致可以 1860 年为界分为两段: 1745—1860 年期间 $\delta^{18}\text{O}$ 和积累率都呈现明显上升趋势, 而 1860—1996 年期间 $\delta^{18}\text{O}$ 却以下降趋势为主, 积累率变化趋势不明显。1860 年以来积累率变化不明显的规律在 Dronning Maud Land 地区也被发现^[12]。但 Dronning Maud Land 地区同时期的 $\delta^{18}\text{O}$ 值却表现出上升的趋势, 与我们的研究结果截然相反。

近几十年来, 全球性升温已成为共识, 无论是南极和北极的冰芯, 还是青藏高原的冰芯, 都揭示出近半个世纪以来的升温趋势^[13~15]。同时, 南极冰盖很多地区的冰芯研究结果都反映出同时期积累率增加的趋势^[16]。伊丽莎白公主地区半个世纪以来的气候变化研究结果表明, 半个世纪以来本地区的气温和积累率都呈现明显上升趋势^[17]。然而, 如果从 1860—1996 年这样一个时间尺度上来考察伊丽莎白公主地区气温和积累率的变化, 发现气温明显降低, 积累率降低趋势不明显。事实上, 从图 1 中可以看出, 尽管近半个世纪以来的气温呈现增加趋势, 但目前的气温远没有达到 250 年来气温的最高值 (最高值出现在 1860 年左右)。更有意思的是研究地区近几十年来气温和积累率的变化趋势与距其仅数百 km 的 Lambert 冰川流域西侧的研究结果截然相反, 相邻站的气象资料也验证了这一点^[18]。在全球及整个南半球 100 多年来气温呈现明显上升趋势的背景下^[19~21], 南极洲伊丽莎白公主地区 1860 年以来气温却明显下降, 气候变化趋势表现出复杂的区域差异性, 这可能与局地大气环流和风场等因素有关, 伊丽莎白公主地区位于 Lambert 冰川流域东侧, 而 Lambert 冰川流域作为东南极冰盖最大的凹谷, 使其周围的大气环流和风场更为复杂。因此, 对本地区百年尺度上的气候变化状况应通过多支浅冰芯的深入研究, 才能真正揭示出其变化特征。

3 250 年来大气环境变化

从图 2 中可以看出, NO_3^- 和 nsSO_4^{2-} 浓度变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 变化呈反相关关系, 而海盐离子 Cl^- , Na^+ 和 Mg^{2+} 浓度变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 看不出有任何相关关系。研究表明, 在冰期和间冰期时间尺度上, 南极冰芯中海盐离子和陆盐离子冰期浓度明显高于间冰期^[20]。而我们的研究表明, 在 250 年这样一个时间尺度上, 伊丽莎白公主地区只有 NO_3^- 和 nsSO_4^{2-} 冷期浓度明显高于暖期, 这主要与这两种离子的来源和传输路径等因素有关, nsSO_4^{2-} 主要来源于中低纬度海洋生物的释放和火山喷发^[21], 虽然 NO_3^- 的来源比较复杂, 但近年来的研究表明: 南极冰盖中的 NO_3^- 主要来源于中低纬度地区的闪电和极地高空中的各种大气过程^[22]。总结 nsSO_4^{2-} 和 NO_3^- 来源的特点, 一个是距离远, 另一个是来源于高空。有研究表明南极冰盖中的 nsSO_4^{2-} 和 NO_3^- 很可能是通过远距

离高空传输到极地冰雪中, 具体过程为: nssSO_4^{2-} 和

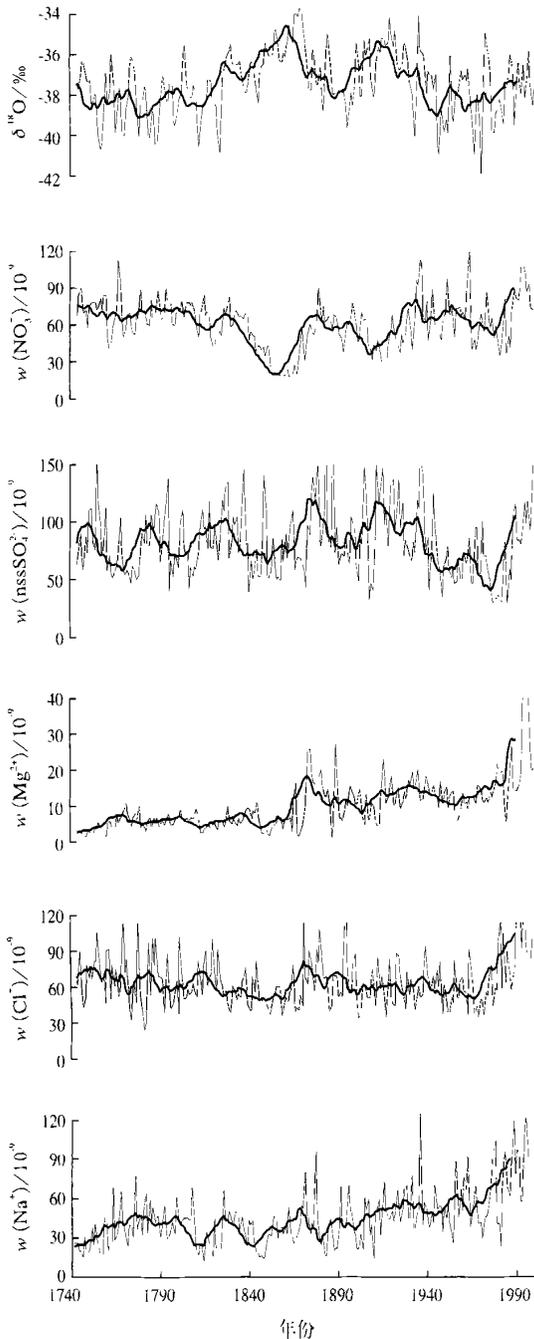


图2 南极洲伊丽莎白公主地区 1745—1996 年 $\delta^{18}\text{O}$ 和 NO_3^- , nssSO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} 浓度变化曲线图
Fig. 2 Variations of $\delta^{18}\text{O}$, NO_3^- , nssSO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ and Mg^{2+} in Princess Elizabeth Land, Antarctica from 1745 to 1996

NO_3^- 在对流层顶部平流层底部呈带状输送到极地上空, 然后辐射下沉, 再辐射到其它地区^[23]。因此, 冷期时经向环流加强, 必然加强这两种离子的输送量, 从而使其浓度增大。当然, 由于火山来源的 nssSO_4^{2-}

具有偶然性特点, 又因伊丽莎白公主地区火山来源的 nssSO_4^{2-} 占相当比重^[8], 因此, nssSO_4^{2-} 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的反相关关系不如 NO_3^- 与 $\delta^{18}\text{O}$ 的明显。很多研究表明, 南极冰盖中的海盐离子主要来源于周边亚南极地区的海洋^[21], 也有研究证实, 海盐离子主要通过亚南极地区海洋上空的气旋南侵进入到南极冰盖中^[24]。伊丽莎白公主地区海盐离子(主要是 Cl^- 和 Na^+) 的季节变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 呈反相关关系, 这主要是伊丽莎白公主地区位于南极洲东海岸, 冬季, 亚南极地区海洋上空的气旋南侵, 频频进入南极冰盖内陆, 同时, 也将各种海盐离子一道送入雪冰内, 因此, 冰盖雪冰内海盐离子的浓度在冬季雪内可出现峰值, 夏季出现较低值,^[6]即本地区的海盐离子主要来源于周边亚南极地区的海洋。另外, 近 300 km 断面上微粒分析研究表明, 尽管地处极地东风带和南极大陆常年下降风区, 但微粒物质在冰盖表面的输送和沉积主要受沿海地区水汽输送的影响^[25]进一步证明, 伊丽莎白公主地区海盐离子主要来源于周边海洋地区。相对于 nssSO_4^{2-} 和 NO_3^- 而言, 海盐离子主要通过近距离低空传输到南极冰盖, 因此, 经向环流的加强与减弱对海盐离子浓度影响不大, 从而使得 Cl^- , Na^+ 和 Mg^{2+} 等海盐离子浓度变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 之间不存在相关关系。

4 结语

通过对南极洲伊丽莎白公主地区 50 m 雪芯的精细定年, 恢复了本地区 250 年来的积累率, 并根据 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化特征分析了本地区 250 年来的气温变化情况, 同时, 根据 50 m 雪芯各主要离子浓度资料, 初步研究了本地区 250 年来的大气环境变化特征, 结果表明, 伊丽莎白公主地区所在的 Lambert 冰川流域气候区域差异性非常明显。因此, 要彻底研究清楚本地区百年尺度上的气候环境变化特征, 只有通过多支冰芯的深入研究。幸运的是随着由中国参加的国际横穿南极科学考察计划 (ITASE) 的实现, 我国已经成功地组织了第二次和第三次南极内陆冰盖科学考察, 并获得了 3 支浅冰芯, 相信随着研究工作的深入, 一定能搞清楚这一地区的气候环境变化特征。

References [参考文献]:

- [1] BARNOLA J M, RAYNAUD D, KOROTKEVOCH Y S, et al. Vostok ice core provides 160 000-year record of atmospheric CO₂ [J]. *Nature*, 1987, 329: 408-414.
- [2] CHAPPELLAZ J, BARNOLA J M, RAYNAUD D, et al. Atmospheric CH₄ record over the last climatic cycle revealed by the Vostok ice core [J]. *Nature*, 1990, 345: 127-131.
- [3] ETHERIDGE D M, PEARMAN G I, FRASER P J. Change in tropospheric methane between 1841 and 1978 from a high accumulation rate Antarctic ice core [J]. *Tellus*, 1992, 44(B): 282-294.
- [4] ETHERIDGE D M, STEELE L P, LANGENFELDS R L, et al. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1 000 years from air in Antarctic ice and firn [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101: 4115-4128.
- [5] MACHIDA T, NAKAZAWA T, FUJII Y, et al. Increase in atmospheric nitrous oxide concentrations during the last 250 years [J]. *Geophys Res Lett*, 1995, 22: 2921-2924.
- [6] LI Z Q, ZHANG M J, QIN D H, et al. Primary research on the seasonal variations of δ¹⁸O, Cl⁻, NO₃⁻, Na⁺ and Ca²⁺ in the snow and firn recovered from Princess Elizabeth Land Antarctica [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44 (24): 2270-2274.
- [7] ZHANG M J, LI Z Q, QIN D H, et al. The primary research on the environmental climatic records of the two snow pits recovered from Princess Elizabeth Land, Antarctica [J]. *Chinese Journal of Polar Science*, 1999, 10 (1): 61-66.
- [8] ZHANG M J, LI Z Q, QIN D H, et al. A continuous 250-year record of volcanic activity from Princess Elizabeth Land, Antarctica [J]. *Progress in Natural Sciences*, 2000, 10 (10): 920-924 (in Chinese).
[张明军, 李忠勤, 秦大河, 等. 南极洲伊丽莎白公主地区 250 年来火山活动记录研究 [J]. *自然科学进展*, 2000, 10 (10): 920-924.]
- [9] ZHANG M J, LI Z Q, QIN D H, et al. Analyzing the climate features in Princess Elizabeth Land, Antarctica [J]. *Geographical Research*, 2000, 19 (1): 60-64 (in Chinese). [张明军, 李忠勤, 秦大河, 等. 南极洲伊丽莎白公主地区气候特征分析 [J]. *地理研究*, 2000, 19 (1): 60-64.]
- [10] DANSGAARD W. Stable isotopes in precipitation [J]. *Tellus*, 1964, 16: 436-468.
- [11] DANSGAARD W, JOHNSEN S J, CLAUSEN H B, et al. Stable isotope glaciology [J]. *Meddelelserom Groenland*, 1973, 197(2): 1-53.
- [12] ISAKSSON E, KARLEN W, GUNDESTRUP N, et al. A century of accumulation and temperature changes in Dronning Maud Land, Antarctica [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(D3): 7085-7094.
- [13] RAPER S C B, WIGLEY T M L, JONES P D, et al. Recent temperature change in the Arctic and Antarctic [J]. *Nature*, 1983, 306: 458-459.
- [14] YAO T, THOMPSON L G, JIAO K, et al. Recent warming as recorded in the Qinghai-Tibetan cryosphere [J]. *Annals of Glaciology*, 1995, 21: 196-200.
- [15] QIN D H, WANG W T. The historical climatic records in ice cores from the surface layer of Wilkes Land, Antarctica [J]. *Science in China (Series B)*, 1990, 33 (4): 460-466.
- [16] MORGAN V I, GOODWIN I D, ETHERIDGE D M, et al. Evidence from Antarctic ice cores for recent increases in snow accumulation [J]. *Nature*, 1991, 354: 58-60.
- [17] QIN D H, REN J W, KANG J C, et al. Primary results of glaciological study along a 1 100 km transect from Zhongshan Station to Dome A, East Antarctic ice sheet [J]. *Annals of Glaciology*, 2000, 31: 198-204.
- [18] ZHANG M J, LI Z Q, QIN D H, et al. The features of the climate change in the past 50 years in the Lambert Glacier Basin, East Antarctica [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2001, 37 (1): 97-101 (in Chinese). [张明军, 李忠勤, 秦大河, 等. 东南极洲 Lambert 冰川流域半个多世纪以来气候变化特征 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2001, 37 (1): 97-101.]
- [19] JONE P D, NEW M, PARKER D E, et al. Surface air temperature and its changes over the past 150 years [J]. *Reviews of Geophysics*, 1999, 37: 173-184.
- [20] LEGRAND M, LORIEUS G, BARKOV N I. Vostok (Antarctica) ice core: atmospheric chemistry change over the last climatic cycle (160 000 years) [J]. *Atmos Environ*, 1988, 22 (2): 317-331.
- [21] QIN D H. *The physical procedure, contemporary climate and environmental records in the surface firn of Antarctic ice sheet* [M]. Beijing: Science Press, 1995 (in Chinese). [秦大河. 南极冰盖表层内的物理过程和现代气候及环境记录 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.]
- [22] LEGRAND M R, DELMAS R J. Relative contributions of tropospheric and stratospheric sources to nitrate in Antarctic snow [J]. *Tellus*, 1986, 38B: 236-249.
- [23] ZHANG M J, LI Z Q, QIN D H, et al. Primary research on the transmission path of nssSO₄²⁻ and NO₃⁻ in Antarctic ice sheet [J]. *Chinese Journal of Polar Science*, 2000, 12 (4): 285-289 (in Chinese).
[张明军, 李忠勤, 秦大河, 等. 南极冰盖中 nssSO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 传输路径初探 [J]. *极地研究*, 2000, 12 (4): 285-289.]
- [24] van LOON H. The half yearly oscillations in middle and high southern latitudes and the coreless winter [J]. *J Atmos Sci*, 1966, 24: 472-486.
- [25] WANG D L, KANG J C, SUN B, et al. Characteristics and implication of microparticle in surface snow samples along a 330 km profile from Zhongshan Station to inland of Antarctica [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, 22 (2): 128-133 (in Chinese).
[汪大立, 康建成, 孙波, 等. 南极中山站至内陆冰盖 330 km 剖面表面雪样微粒分布特征及其意义 [J]. *冰川冻土*, 2000, 22 (2): 128-133.]

A STUDY OF CLIMATE AND ENVIRONMENT IN PRINCESS ELIZABETH LAND, ANTARCTICA IN THE PAST 250 YEARS

ZHANG Ming-jun¹, LI Zhong-qin², QIN Da-he², XIAO Cun-de²,
REN Jia-wen², KANG Jian-cheng³, LI Jun⁴

- (1. *State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*
2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;* 3. *Chinese Institute of Polar Research, Shanghai 200129, China;* 4. *Antarctic CRC and Australian Antarctic Division, Hobart 7001, Australia*)

Abstract: The 50-meter firm core drilled at the destination of the route of the 1996/1997 Chinese First Antarctic Inland Expedition in Princess Elizabeth Land, East Antarctica, has been measured for $\delta^{18}\text{O}$ and major ions. Based on the data, the features of the climate change in the study region in the past 250 years have first been studied. In the past 250 years, the climate trend in the region can be divided into two stages by the year 1860, both the temperature and accumulation rate increased before 1860, but after 1860, the temperature decreased obviously while the variation of accumulation rate was not discernible. Although both the temperature and accumulation rate have been increasing in the past 50 years, they are not the highest values in the past 250 years. The results of the atmospheric environmental change in the past 250 years show that the variations of $\delta^{18}\text{O}$ and NO_3^- , nssSO_4^{2-} have some negative correlation. That is, the concentrations of NO_3^- and nssSO_4^{2-} were higher during cold conditions than those during warm conditions, which may reflect strengthened transport during cold conditions linked to higher wind speed. On the contrary, there is no correlation between $\delta^{18}\text{O}$ and sea-salt ions, reflecting that the sea-salt ions in Princess Elizabeth Land come from the sea around them.

Key words: Antarctica; firm core; climate; environment