



中等專業學校教學用書

天 气 学

上 册

O. T. 克里恰克 著

高等教育出版社



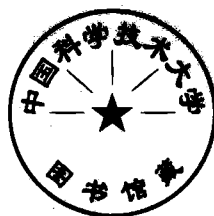
中等專業學校教學用書



天 气 学

上 册

0. Г. 克里恰克 著
李 琰 芝 張 杏 珍 合 譯



高等教育出版社

本書是根据苏联水文气象出版社 (Гидрометеоиздат) 出版的克里恰克 (О. Г. Кричак) 著的“天气学” (Синоптическия Метеорология) 1956 年版譯出的, 原書曾經苏联部長會議水文气象总局审定为中等水文气象專業学校的教学参考書。

原書內容敘述造成各地理区域天气变化的大气过程的物理基础, 地面和高空观测纪录的圖示和圖解方法, 以及制作天气預报的方法。中文譯本分为上、下兩册出版, 上册包括 1—8 章, 下册包括 9—16 章及附录。

本書除作为中等專業学校的教学参考書外, 亦可供其他學校有关專業及从事天气实际工作人員参考。

天 气 学

上 册

О. Г. 克里恰克著

李琮芝 張杏珍譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号 13010·531 開本 850×1168 $1/32$ 印張 76 $1/16$

字數 173,000 印數 9001—3,000 定價 (8) ¥ 0.85

1958 年 11 月第 1 版 1958 年 11 月北京第 1 次印刷

作者的話

中等水文气象專業学校開設天气学課程，不仅是为了使學生們熟悉天气学原理，而且还要訓練他們，使他們無論在有經驗的專業工作者领导下、或独自工作时，都能掌握分析观测資料及制作天气預报的技术。上述目的就决定了这門課程的教学大綱。在大綱中，一方面应几乎包括天气学中的全部問題，另一方面在叙述这些問題时又应有別于高等学校的課程內容。因为既要根据較新的知識来講述这門課程，又要在內容上适合中等学校学生的水平，在叙述时又不能失之过簡。所以要完成这个任务，对作者來說，是頗为困难的。

作者在編写本書的过程中，曾得到各方面的大力协助，許多同志对原稿提出批評，或以其他方式提出自己的意見。在此，作者謹向曾對本書提供意見的下列同志致以衷心的感謝：В. А. 布加耶夫(Бугаев)教授、В. А. 德若尔德柔(Джорджино)教授、И. А. 基培尔(Кибель)教授、Х. П. 帕哥乡(Погосян)教授、С. П. 赫罗莫夫(Хромов)教授及莫斯科、塔什干水文气象中等技术学校教員 В. III. 季溫斯卡婭(Дивинская)、А. В. 庫尼茲(Куниц)、М. В. 馬特維耶夫(Матвеев)、Н. Н. 羅馬諾夫(Романов)及 Т. Н. 費多托娃(Федотова)。本書在編写的最后阶段，还承以 И. Г. 普乞尔柯(Пчелко)为主席的审定委员会給予审定意見。作者感謝上校工程师 И. В. 克拉甫琴柯(Кравченко)、В. Ф. 包柯娃(Бокова)及 В. М. 布伯列耶娃(Бублеева)同志等协助选择插圖的資料。

作者十分感謝 А. Л. 卡茨(Кац)同志撰写本書第十六章“長期天气預报”一章。

本書在編写过程中，曾得到許多專家的热情帮助，今后仍希望在教学及实际工作中提出對本書的批評意見。

上册目录

作者的話	v1
緒言	1
§1 天气的概念	2
§2 天气学的概念及方法	3
§3 天气学的发展	6
§4 苏联的天气服务組織	12
第一章 天气圖	15
§5 气象台站網和高空气象台站網	15
§6 观测定时和天气圖的种类	18
§7 底圖	20
§8 傳遞观测纪录的电碼和地面天气圖的填圖法	21
§9 观测纪录的审查	33
§10 地面輔助天气圖	34
第二章 大气压力場	36
§11 气压随高度的变化	36
§12 气压場在圖上的表示	40
§13 空間气压場	44
§14 气压梯度	46
§15 等压面的傾斜与水平气压梯度之間的关系	49
§16 变压場	52
第三章 空气的运动	53
§17 气压梯度力	51
§18 地轉偏向作用	56
§19 直綫等压綫时的梯度風	60
§20 曲綫等压綫时的梯度風	62
§21 梯度風尺	67
§22 在近地面層中摩擦对風的影响	70
§23 等压綫与風的适应性	76
§24 流綫与軌迹 • 气流的輻合与輻散	77
§25 在摩擦層中風随高度的变化	82
§26 摩擦層以上風随高度的变化 • “热成風”	84

§ 27 風隨高度变化的主要类型	89
§ 28 在气旋和反气旋中風隨高度的变化	91
§ 29 关于空气鉛直运动的概念	94
§ 30 环流定理及其用于实际大气中的附加条件	96
第四章 大气中的对流作用	99
§ 31 溫度的絕热变化	100
§ 32 干空气的鉛直运动	101
§ 33 热力性对流	106
§ 34 位溫	108
§ 35 溫度的湿絕热变化和湿空气的鉛直运动	111
§ 36 高空圖解及其在分析大气状态上的应用	116
§ 37 相当位溫和假位溫	125
§ 38 动力性对流	129
§ 39 鉛直交換	131
第五章 气压形势圖	135
§ 40 关于高空气压分布圖的概念	135
§ 41 位势的理論	138
§ 42 根据探空纪录計算位势	142
§ 43 气压形势圖上的風	147
§ 44 气压形势圖的填写、繪制及檢查	150
§ 45 不同高度上热量和水平的水平輸送	158
第六章 大气中水汽凝結的一般条件和水汽凝結物	163
§ 46 大气中水汽凝結的条件	163
§ 47 形成云滴(粒)和降水的机械作用	165
§ 48 云和降水的分类及云的主要成因	168
§ 49 霧形成的一般条件	173
第七章 大气环流原理	175
§ 50 在均匀地球面上不考虑地轉偏向作用时的大气环流的最簡圖式	176
§ 51 考虑地轉偏向作用时的大气环流圖式	178
§ 52 符合实际情状的大气环流圖式	181
§ 53 对流層高空溫压場	183
§ 54 季風	186
第八章 气团	191
§ 55 气团的概念	191
§ 56 气团的主要屬性	192
§ 57 决定气团主要屬性值的各种原因	194

§ 58 气团的热力分类.....	198
§ 59 暖气团的特征.....	201
§ 60 冷气团的特征.....	204
§ 61 气团的地理分类.....	207
§ 62 按地理分类的各种气团的特点.....	209
§ 63 气团的变性.....	215
§ 64 移动着的空气内层结的变化.....	220
§ 65 气团的变性对大型大气过程变化的作用.....	228

緒 言

人类的活動与天气密切有关，因此从古代开始，人們就曾企圖探索各种天气的征兆，以便預知天气的变化。人們对天气的兴趣，随着农业、航海及技术上的發展而日益增長。

有計劃的社会主义經濟建設中所進行的各項措施都是大規模的，有着全国性的重大意义，在此場合，天气变化的預測就特別需要。

农业收成的好坏，在很大程度上依靠天气条件。因为天气能决定土壤和作物获得的热量和水分。例如，如果能正确地預报出夏季將出現干旱，那么就可以在即將干旱的地区栽种耐旱作物并采取农业上的技术措施，以便大大減輕干旱的影响。又如，如果能及时地对即將来临的霜冻作出警报，就可以保証菜园及花園等免受灾害。

从前所盛行的帆船，其直接动力便是風；近代的海运，如果不考虑天气条件，也不可能正常地航行，因为在海上，天气时有变化，常能出現强大的海浪，使能见度变坏的霧，一般船只所不能抗拒的冰山。漁船上的水手也很重視气象，因为如能預知捕魚时期的天气，在魚群到来时，就不致失去时机（这个时机常很短暫）。

很容易理解，不良的天气条件是能妨碍交通運輸的。例如突然侵襲的暴風雪能破坏火車的正常运行或中断公路的交通。从而就会造成下列后果：工业中心供应不上煤、大建筑工地得不到急需的建筑材料、即將春耕的地区得不到耕种物资，而旅客們也將被阻于旅途等等。因此应将暴風雪警报看作战斗警报的信号。一听到这种警报应及早派遣扫雪机到路途上去，并动员大量人力准备扫

路。

劇烈的天气变化(如强霜冻、陣雨、雹等)每能影响許多建筑工程的进度,有时还会破坏已完成的工程。

飞行对天气的依賴很大,云雨、能见度、風向風速变化、雪暴及暴風等等天气現象,都能影响飞行,以致不能飞行甚至發生危險事故。因此,任何一次飞行,均应考虑天气条件。

及时而正确地預測未来的天气变化,对人类的任何活动來說都是需要的。天气科学的發展,及气象学家积累的經驗,將給我們祖国的各个国民經济部門帶來越来越多的利益。

§ 1. 天气的概念

大气現象(云、降水及風等等)以及大气狀況的物理特性(溫度、气压、湿度等等)称为气象要素,各种不同天气情况便是这些气象要素綜合而成。因为,所謂天气应理解为:在某一段时期內或某一个時間間隔內所觀測到的大气中各种气象要素的綜合狀況。某一或長或短的时期內的天气,也可以看作是在这一时期內主要的具有代表性的气象要素的綜合及其在時間上的变化。

例如,說明过去一周的天气时,可以簡短地說:是高溫干燥、是暖和而有降水等等(虽然在个别时刻可能不是这样的天气情况)。我們也能用下面的說法,說明任何一个月的天气情况:上半月寒冷而多雨,下半月則比較暖和而無雨。

“天气”可广义地理解为气象要素的綜合及气象要素綜合变化的大气过程。气象学家研究天气情况,目的在于預測天气的变化。因为各种气象要素相互之間都有密切的关系,因此气象学家需要詳細地了解觀測到的各种气象要素的特性,以便根据某一气象要素的变化情况,推断出其他要素可能变化的情况。国民經济各个部門所需要了解的天气特性各有不同,例如:对集体农庄的庄員来

說，如果某一天氣溫很高、沒有降水，這已足可表征出天氣條件有利于田間工作。但這兩項氣象要素的綜合對飛行員來說却不能說明問題，因為他們所關心的是雲高、雲量、能見度及風等氣象要素。

§ 2. 天氣學的概念及方法

一切氣象工作中最主要的乃是預測天氣的變化。因此預測天氣的問題就成為氣象學中一門專門的學科——天氣學。天氣學是研究地理條件不同的區域內所發生的大氣過程的規律，以尋求預測（預報）天氣變化方法的科學。俄文中的“天氣學”這個詞彙淵源于希臘文，原意為“同時觀察”。因為大氣是不停地運動着的，而天氣情況是隨着大氣的運動而變化的，所以如能了解天氣在廣大空間的分布情況，就能預測天氣的變化。將許多氣象站拍發（用有線電報或無線電）的同時觀測到的天氣情報抄收下來，以特殊的符號填在一張地圖上；根據這樣的圖就有可能看到廣大地區上在某同一時刻的天氣狀況。這種圖就稱為天氣圖。

天氣過程發生在相當厚的大氣層內。在大氣中，雲產生在各個不同的高度上；降水通常從數千米的高空降下來；隨高度而變化的風決定着具有不同溫度及水汽含量的空氣從各個地區流來；空氣的溫度及水汽飽和度每隨氣流的升降而發生變化，因此，研究大氣不能只限于某一高度（如只在貼近地面），而應對各個不同高度上的空氣進行研究。當近地面氣層有障礙飛機飛行的低雲、霧或其他天氣現象時，往往高空卻沒有雲，可以順利地飛行。由此可知，在各個高度上的天氣是不相同的。現代天氣學所使用的不僅有根據地面觀測資料制成的天氣圖，而且還有根據高空探測資料（各個不同高度上的大氣狀況）制成的各種圖表和圖解。

因此，天氣學方法系統地研究分析大氣過程的各種原理，目的在於預測天氣的未來變化。

天气学方法第一个特点是：所研究的是广大空間內大气过程随時間而發生的变化；第二个特点是：它对大气过程的分析是物理的，并考虑到不同地区独特的地理条件。

天气学方法包括定性分析方法——确定过程發展的大体趋势（例如，一般地指出天气变冷、有雨或有發生雷暴的可能性等等）及定量分析方法——計算各个气象要素的变化及大气环流（即各种規模的气流）的特征。

气象学及与之相关的科学（流体力学、热力学、普通物理学、数学等）愈發展，就愈易探明大气过程的規律，从而就愈能精确地定量計算出各气象要素的变化。但是用数学方法来解决大气物理的許多問題，特别是要达到实际生活所要求的精确程度，仍有很大的困难，因此定性分析方法还是很重要的。

自然，所有定性分析方法都应有物理依据。这些方法是根据工作經驗的綜合或理論研究的結果得出的。在天气学中，定性及定量的分析方法有时是錯綜結合而不能严格加以区分的。定性及定量的物理分析方法与預报相結合便是天气学方法的第三个主要的特点。

天气学与气象学的其他分支科学都有密切的关系。天气学不能离开气候学（关于气候的科学）的資料。为了正确地了解任何地区的大气过程，就必须熟悉各个地区的气候特点。运动着的空气的性質不会不發生变化的；它們的变化决定于气流經過地区的地理条件。这些特点就表現在不同地区的气候特征中。譬如說，預报員（进行天气工作的專業人員）要确定未来24小时內气温变化的範圍，就必须了解預报地区該月份气温日变化的一般情况。而这种資料就可以从气候学方面得到。

如果預报員想推断可能出現的極低的或極高的气温，就應該考虑該地过去是否曾經出現过这样的溫度，假如这样的溫度是罕

見的或者是從來沒有出現過的，那麼就應該再考慮一下自己的預報。如果根據觀測實況尚未發現這種極端溫度，那麼在制作較長時期的預報時就應該特別注意這一點。上述這種可能出現的極端溫度值，可以從氣候學上找到。氣候學本身的任務不僅在於確定氣候特征，而且還要解釋這些特征，但是如果它不利用天氣學對天氣形成過程的研究結果，也不能作到這一點。

天氣學同樣也不能離開高空氣象學。高空氣象學可以給出分析現時天氣過程所必需的各個高度上大氣狀況的資料並能提供大氣中各種過程的專門的研究，這些研究結果可以豐富預報員的知識。

天氣學與氣象學的另一部門——動力氣象學也有密切的關係。動力氣象學研究大氣中發生的物理過程，它用流體力學和熱力學的原理來解決一些專門的問題。動力氣象學涉及到影響天氣變化的全部過程；它的最終目的，是利用物理數學的方法計算出氣象要素在未來短時間內或長時間內的變化。所以動力氣象學愈進步，天氣學方面就能更多的運用它的研究成果。而天氣學本身又指出了動力氣象學所要研究的重要問題。動力氣象學愈發展，則其研究成果在天氣學的實踐中就愈運用得廣泛，因此這兩門科學的研究方向便愈來愈緊密結合，並形成一門完整的研究天氣的學科。這門學科的任務即是改進天氣分析和預報的方法以及保證國民經濟部門的實際需要。

特別值得提出的是普通氣象學，它的內容包括大氣中出現的所有物理現象的一般知識。沒有這門科學，我們就不可能對有關制定科學的預報方法的各種專門問題進行研究。

由此可見，天氣學與氣象學及其他各門學科都有密切的關係，它不僅利用着這些學科的研究成果，而且还豐富了並發展了自己領域中的內容。

§ 3. 天气学的发展

根据保存至今的資料証明，早在紀元前几世紀，人們就曾对所观察到的天气和未来天气变化之間的联系进行过多次的探索。但这些探索中最好的，也不过是將个别天气現象进行簡單的比較而已；在大多数情况下，却充滿了原始的宗教观点。不言而喻、象物理学、天文学、数学、地理学等科学都是还没有得到發展的那时，在气象学方面自然也不可能有何更好的成就。

第一个对天气預报的可能和这門科学的发展前途給予真正的科学评价的，是偉大的俄罗斯科学家米哈伊尔·瓦西里維奇·罗蒙諾索夫(Михаил Васильевич Ломоносов)(1711—1765年)。他看到气象科学研究極其薄弱，因而在其有名的“由于电的作用而产生的大气現象”一文(1753年)中写道，“物理学家观测大气变化的工作似乎不是为了解釋这些变化，而是为了完成一定的任务。因而自然科学的这一很好的部分便停滯不前，近乎僵死了”。罗蒙諾索夫認為，發展这門“对人类好象没有什么用处”的气象科学，“必然会給人类社会帶來巨大的利益”。他在其“論海路航行的精确性”(1759年)一文中用整章的篇幅闡述了关于天气的預测，特別是風的預测問題。在这一章中他还明确了关于建立气象台站網，以作为探索广大空間的天气特性的工具的思想，并指出了制定天气預报方法的大气研究的方向。罗蒙諾索夫在这里还說到关于“引起气压上升的‘風的輻合’及引起气压下降的風的輻散”等問題。他卓越地認為大气有上升及下降运动，可見他对一些最重要的大气現象有精湛的了解。罗蒙諾索夫說：“只有研究接近地面的流体(水和空气)的流动原理”，才能在气象学的研究方面获得最大的成就。

M. B. 罗蒙諾索夫認為建立科学的天气預报方法有很大的意

义，早在兩百年以前，他首先拟定了解决这个最困难的問題的方案，建議对空气运动的性質进行研究，并应考虑地球上大气环流的特性。他提出了建立气象台站網的問題，認為这是認識大气最重要的一种办法。

1816年—1826年，德国布郎德斯(Брандес)編制了第一張天气綜合圖。但是这种天气圖是根据旧的年鑒上的資料作成的，因此不能及时預示当时的天气情况。对天气学的發展有巨大作用的重大事件，是电报的發明^①。

1849年在俄国彼得堡成立了物理观象总台(即現今的以А.И. 沃耶柯夫命名的地球物理观象总台)，它是世界上第一个中央气象机构。当А.Я. 庫普菲尔(Купфер)院士领导物理观象总台的时候，其主要任务是在广大的俄国領土上發展气象台站網。气象台站網的組織工作，早在19世紀初叶就已經开始了。当时观象台在实际活动中的最重要的工作，是發布危險天气警报以及彼得堡地区的洪水警报。

第一批根据电报記錄繪制的天气圖，是在19世紀中叶的战争中制成的。1854年，英法联軍艦队在克里木半島及黑海上因遭到風暴而全軍复沒。因此，法国政府便委托天文数学家列維尔雅(Леверьа)来研究这次艦队复沒的原因。列維尔雅根据从各地搜集到的250多份情报，确定了这次風暴是自西向东移动的，并且認為如果不用郵遞而用电报定期地搜集天气情报的話，是可以預報出它来的。

从1855年开始，法国就根据为数不多的气象台站用电报拍摄的当日觀測記錄，定期地繪制天气圖。1856年物理观象台就收集

① 帶有因电流影响而偏轉的磁針的电报，是俄国人西林格(П.Л. Шиллин)于1830年發明的。在1839年俄罗斯科学院士B.C. 雅柯比曾發明了另一种帶有印字裝置的电报，这种裝置曾在彼得堡和沙皇村之間的綫路上試驗过。

13 个俄国气象台站用电报拍發的观测记录，并将这些记录發至巴黎，以交换一些欧洲台站的记录。这样俄国的天气服务工作就正式誕生了。根据观测记录編制的天气圖，有时也在报上登出。俄国定期的天气服务工作开始于 1872 年的 1 月 1 日。从这时起，物理观象总台成立了專門負責暴風警报工作的部門，开始編制每日天气报告。在英国，从 1860 年起开始編制每日天气圖，主持这项首創工作的，是海軍上將菲茨罗依(Фитцрой)，他深知預报海上風暴对統率艦队航行的重要意义。

罗蒙諾索夫特別重視气流之間的相互作用，在他之后，19 世紀的許多卓越的气象学家也有同样的認識。如普魯士气象学家大衛(Дове)便肯定地認為：劇烈的天气变化是和来自極地及赤道的气流的更替有关。

費茨罗依根据天气圖分析的經驗，証明了冷暖气流的相互作用是存在的，这一点已相当接近于許多近代的关于大規模大气过程的概念。1848 年莫斯科大学教授 М. Ф. 斯巴斯基(Спасский)曾根据从南方和北方侵入莫斯科地区的空气具有不同性質，来解釋莫斯科的气候。

根据天气圖分析工作的經驗，人們發現了地面气压分布与天气性質之間的密切关系，也發現了大气中存在的巨大渦旋(气旋和反气旋)是与大气压力的分布密切相关的。低气压区是气旋区，高气压区是反气旋区。高低气压区在移动时，与之相关的天气也随之移动。得到了有关天气与气旋及反气旋之間的关系的資料，人們就有可能作出一系列在天气預报上有用的規則。

在 19 世紀后半期及 20 世紀初叶，俄国科学家 П. И. 布罗烏諾夫(Броунов)、М. А. 雷卡切夫(Рикачев)及 В. И. 斯列茲聶夫斯基(Срезневский)等人在天气学方面作出了很大的貢獻。其中最杰出的是 П. И. 布罗烏諾夫(1852—1927)，他的有关气旋和反气旋

形成及移动的研究是可以作为典范的。这些研究的成果在相当大的程度上至今还具有意义。布罗烏諾夫之所以不同于同时代的其他学者,在于他不局限于研究气压分布与天气之間的外在关系,他很注意气压升降地区的热力分布情况,并首先指出气旋及反气旋区域中大的水平溫度差异所具有的特殊意义,并指出这些溫度差异区的位置与气旋及反气旋移动方向之間的关系。在这一点上,布罗烏諾夫的理论已很接近近代关于大气鋒(即关于冷暖气流分界地带)的概念。布罗烏諾夫认为高空气流中有一些持續而均匀的强烈气流,并指出气旋和反气旋的移动与高空气流的方向和速度的关系。这种关系后来又重新为苏联学者們所采用,并且至今仍为现代天气学的基本原理之一。布罗烏諾夫于1878年提出制作的气压变化圖的問題,并指出了使用这种圖来預报气旋及反气旋移动的可能性。这便是天气学中所运用的等变压綫分析方法的开始,这个方法以后又为B. И. 斯列茲聶夫斯基及其他外国学者所發展。在观测实践中进行三小时气压变化(气压傾向)的观测和在天气分析中应用三小时气压变化的記錄正是布罗烏諾夫在这方面的努力所致。

布罗烏諾夫非常明确地指出了二大气过程就是各种大小不同的空气渦旋(从整个环绕地球旋轉的大气、气旋及反气旋中旋轉的空气直到雷暴中的小空气渦旋)的总合。

气象学的发展,特别是高空气象观测網的发展,無疑地有助于我們进一步的探明大气过程,使我們对大气中各种不同性質的气流在广大地区內經常接触的及相互作用的情况更加清楚了。1914—1918年终于形成了关于气团的概念。所謂气团就是在地球上不同地区流动的并具有不同性質的巨大气流。在这些气团彼此接触的地方形成一个分界面,这个界面称为鋒面或鋒。在鋒面上發生有最为劇烈的天气变化、形成最厚的云層、强烈的雨区。这里气压

的变化也很大。

所以,И. И. 布羅烏諾夫關於溫度差異方面的見解便是後來產生的鋒面概念的先聲。奧地利的馬古萊斯(Маргулес)是第一個從事鋒面研究的人,此後有挪威的В. 皮耶克尼斯(Бьеркнес)及Я. 皮耶克尼斯,瑞典的Т. 貝吉龍(Бергерон)等人。

蘇聯的科學家對於天氣學的發展也有很多貢獻。

除了動力氣象學方面的代表人物А. А. 弗里德曼(Фридман)(1888—1925)和Н. Е. 柯欽(Кочин)(1901—1944)等對鋒面結構及其穩定性消失的條件(即是鋒面波動形成的問題)進行過研究外,А. И. 阿斯克那吉(Аскназий)(1887—1937)、А. Ф. 裘碧克(Дюбек)、Е. Г. 扎克(Зак),С. П. 赫洛莫夫及其他天氣學家和高空氣象學家都對氣團及鋒作過重要的研究。

1930年以後,關於氣團特性隨時間的變化(即是氣團的變性)、鋒面的詳細結構、以及在不同地理條件下天氣過程的特點等等的研究得到了進一步的發展。

鋒面的分析要求預報員具有大氣過程的結構的空間概念。但是在實際工作中高空觀測資料有限,所以預報員使用的主要還是根據“間接高空氣象學”方法得來的資料,這時大氣過程的空間結構概念是建立在地面觀測的基礎上的,這自然是天氣分析中不足的地方。此外,當時預報員所學習的都是一些典型的天氣圖例,這些圖例往往不符合於實際情況。更感到不足的是:對天氣學的基本問題(氣壓變化的原因)還研究得不够,雖然知道在鋒區所發生的氣壓變化是最大的,但氣壓變化的原因和機構仍然还不够清楚,近二十年來最重要的工作便是探索這方面的問題。

繼И. И. 布羅烏諾夫的天才的研究之後,С. И. 特羅依茨基(Троицкий)(1889—1934)及В. М. 米海爾(Михель)在這些問題上也有過巨大的貢獻。1930—1932年,特羅依茨基發展了風按氣壓