

# 自然资源研究与航空象片分析\*

鄭 威

(中国科学院地理研究所)

近代航空技术的发展,不但使我们减少了空间的障碍,扩大了观察的视野,也使我们改变了研究自然资源的方法。如运用航空摄影技术所取得的地球表面光谱图象,不仅记录了地物的详细轮廓图形,也表达了地面光谱反射情况细微差异的特点,它们按照中心投影的规律,构成了单色或彩色的地物群体谱型,我们可以以这图象或谱型为基础,运用分析方法,在相应的比例尺范围内,全面研究地表各景观要素空间配置规律,相互联系与制约规律,以及时间发展规律。

所以航空象片分析(或称为航空象片判读),这门研究航空象片构象规律及其分析方法的学科,自二十世纪二十年代以来,就随着自然资源研究与制图任务的迅速发展、国民经济的需要、国防活动与宇宙空间的探索而发展起来,至今已成为自然资源研究中的重要技术科学之一,也是航空方法(аэрометодов)的主要组成部分。

## (一) 发展简史

学科的发展,可大别为下列阶段:

**1920—1937年** 十月革命以来,苏联航空摄影事业蓬勃发展,不但改变了测制地形图的方法,也迅速开展了国民经济建设中应用航空摄影的技术。二十世纪二十年代,利用航空象片解决自然资源研究问题的发展欣欣向荣<sup>[1]</sup>,1922年开始应用于森林勘查,1929年应用于土壤调查,1930年应用于农业土地规划,1931年应用于石油构造的查勘,1932年应用于水文地理研究。美国在同一阶段也对其有较多的注意,1919年应用于森林的勘查,1920年应用于编制土壤图,1922年地理学会发表 W. T. 李(Lee)“从空中所见的地球面貌”<sup>[2]</sup>,提出航空象片有利于地理研究的看法,1926年中水文地理与水能资源的勘查、石油构造的研究也都应用了航空象片分析方法。

苏联科学院 A. E. 费尔斯曼(Ферсман)院士认为这是有利于以辩证观点来综合研究自然的方法;由于他的建议,1929年苏联科学院建立了专门的航空摄影试验场。1937年 A. B. 加维曼(Гавеман)“航空摄影在自然资源勘查中的应用”一书发表,总结了这一阶段国内外航空象片分析在地质地貌研究、森林资源查勘、水利资源计算、考古与历史地理等方面应用的生产经验与科学理论。

**1938—1947年** 鉴于航空象片对于综合研究自然的优点,若干综合性的论点逐渐形成:例如 A. B. 加维曼与 B. A. 法斯<sup>[3]</sup>首先提出由航空象片分析与航空视察方法所研究的地带性区域规律称为航空景观(Аэроландшафт),并首先运用航空方法一词<sup>[4]</sup>。航空地质

\* 本文写作得到高詠源、陈述彭先生的鼓励,周卡教授的指正,明士乾同志帮助提供资料,特致谢意。

测量学(Аэрогеосъемка, В. П. Мирошниченко)也在 1946 年出版。

航空景观光谱反射能力研究逐渐引起重视, E. Л. 克里诺夫(Кринов, 1947)的“自然光谱反射能力”著作的出版, 将地物的光谱反射特性分为 3 类 11 型, 指导了航空摄影的科学研究。美国发表的“飞临伊朗古城”<sup>[5]</sup>, 土壤的成因、分布与航空象片识别<sup>[6]</sup>, “海岸航空象片手册”<sup>[7]</sup>, 也是考古、土壤、海岸研究中实际工作的总结。

**1948—1959 年** 1948 年以 Н. Г. 凯尔(Келль) 通讯院士为首的苏联科学院列宁格勒航空方法实验室(Лаборатория аэрометодов)的成立, 标志着理论研究进入新的阶段。除进行地质、地貌、水文、土壤、森林、航摄、光谱、量测等方面的研究, 将成果发表于定期刊物之外, 尚有土壤、海底、探矿等专著的发表。苏联彩色光谱二层 СН-2 摄影底片 1955 年开始生产, 经在森林(С. В. Белов, 1959)、土壤(М. С. Симакова, 1959)、测绘(Л. М. Дольдман, 1957)等方面试验, 为极有希望的新摄影材料。这一阶段, 法国出版了 E. de 马东男(Martonne, 1948)的航空地理学(Géographie Aérienne), 美国有“森林航空摄影”<sup>[8]</sup>, “航空摄影在城市规划中的应用”<sup>[9]</sup>出版。

彩色与红外航空摄影在各国进行了普遍的试验, 曾获得有益的效果。

地物光谱反射的研究, 已进入到综合分析阶段, 开始探索森林的不同树种、不同物候, 土壤的不同化学机械成分, 地质的不同造岩矿物组成对于光谱的综合影响。

**1960 年以后** 航空象片分析已发展至全盛时代, 美国摄影测量学会发表了总结性的综合判读手册<sup>[10]</sup>, 苏联航空方法实验室出版以“自然研究的航空方法”为题的论文集第 X 卷<sup>[11]</sup>, 1961 年出版的“景观研究中的航空方法”<sup>[12]</sup>专集, 与 1962 年出版的“自然资源研究中航空方法的应用”<sup>[13]</sup>, 全面地推动了自然资源研究中航空方法的运用。苏联月球与宇宙空间摄影及分析技术已经取得了新的成就; 美国在红外摄影与雷达航空摄影方面有新的进展, 解决了夜雾与隐伏构造的航空象片勘查问题。

1961 年 12 月苏联列宁格勒第 8 次航空方法会议是最近的科学总结会议<sup>[14]</sup>, 在航空摄影技术, 象片分析理论, 地质、水文、森林、土壤、农业等方面的应用, 自动化分析等科学问题上作了总结与展望, 开辟了航空方法新发展的道路。

## (二) 科学成就

**地质地貌方面** 以航空象片分析为基础, 结合以航空视察、航空物理测量, 并与地面勘查构成一个整体, 这是航空地质地貌的科学内容。早年 А. Е. 费尔曼(Ферсман, 1930, 1935)<sup>[15]</sup> 院士与奥勃洛契夫(Обручев, 1931)<sup>[16]</sup> 院士就已论述了这一方法的实际意义, 而生产实践又不止一次地验证了这一事实。

在不同地区, 应用航空象片发现地质规律的分析方法是不同的。例如哈萨克斯坦发现带状错动与各种裂隙, 是古生代、元古代地层的标志<sup>[17]</sup>, 里海沿岸辐射状、环状水系结构, 常是在航空象片上发现短轴背斜泥火山丘等构造的标志<sup>[12]</sup>。В. П. 米罗什尼钦科(Мирошниченко)<sup>[18]</sup> 曾在土库曼西南低地发现, 龟裂盐土植物群丛演化为盐土植物群丛, 在航空象片的淡色背景上, 表现出直线性的阴暗带, 这意味着断裂变动是盐分上升的途径, 说明了断裂构造运动在发展着的事实。

以航空摄影方法研究浅海地质的成就是有意义的(图 1)。1950—1953 年, 由苏联航

空方法实验室的试验结果指出<sup>[19]</sup>, PФ-1 型全色片的最大感光性在 575m $\mu$  波长附近, 与深黄色滤色镜组合; 10-600 型全色片最大感光性在 660m $\mu$  附近, 与绿滤色镜组合, 都



图1 里海海底断裂构造的航空象片,显示断裂  
线与构造相垂直,由 10-600 型全色片摄取  
(采自 АН СССР. Аэрогеологическая съемка  
мелководных зон Каспийского моря. стр. 104)

可以获得成功地反映水底物质光度差异与构造轮廓碎部的航空象片。1950年摄影曾达到 13 米海深, 1952 年为 17 米, 1953 年为 22—23 米<sup>[20]</sup>。鉴别出水面闪光、石油斑、风浪纹、水底泥火山、气体的喷出物与水底植物的干扰, 研究了海底沉积、基岩分布、构造特点、近代构造运动、岸线变迁等重大的科学问题。

综合航空方法亦运用于西伯利亚地台东北部勘查角砾云母橄榄岩体中金刚石产地的研究中<sup>[21]</sup>。

运用不同植物与不同地质条件、水文地质条件的依存关系, 作为航空象片分析标志的研究, 在苏联地质部航空地质托辣斯的地植物组进行着<sup>[22]</sup>。这包括植物生态外貌的差异、植物种属的差异、植物生活强度的差异、植物群落结构的差异和植物分布规律差异, 它们都有可能在航空象片上得到反映。航空象片的地植物分析, 曾成功地运用于古

冲积层岩相图、盐渍化程度图、地下水深度图的编制中 [С. В. 维克托罗夫 (Викторов), 1955]。以浅海海底的地植物为标志, 在航空象片上确定沉积物质的试验, 曾在里海沿岸进行 [К. М. 彼得罗夫 (Петров), 1960]<sup>[21]</sup>。

彩色航空象片加强了地质表现力, 划分出在黑白象片上所难以区别的地质界线, 极易发现铁帽、赭石、孔雀石等找矿标志, 发现岩墙、区别俘虏体, 已经肯定有卓越的作用<sup>[17]</sup>。  
沙漠地貌 [Б. А. 费道洛维奇 (Федорович), 1943]<sup>[23]</sup>、火山地貌 [А. Е. 斯维亚特洛夫斯基 (Святловский), 1959]<sup>[24]</sup>、岸线地貌 [З. И. 古尔耶娃 (Гурьева), 1959]<sup>[25]</sup>、沟谷地貌 [А. И. 巴拉诺娃 (Баранова), 1960]<sup>[26]</sup> 等在苏联均创造了应用航空象片的宝贵科学经验。

美国、加拿大、芬兰、瑞典、日本、英国等国, 利用航空象片进行地质地貌研究的成就也是需要注意的<sup>[17, 27]</sup>。

石油地质的研究中, 航空象片对于发现储油构造特别有利 [P. G. 摩脱 (Mott), 1948, В. М. 本治 (Bench), 1948]; 由象片进行岩层的倾向、倾角的测定 [V. C. 密勒 (Miller), 1950] 也早应用于生产。加拿大 J. T. 威尔逊 (Wilson, 1939) 的材料中曾讨论到因在航空象片上查明了岩墙石英脉而顺利发现金矿的实例。委内瑞拉的玻利瓦大铁矿, 因矿体与周围铁质石英质的磁性相同, 磁测方法并未奏效, 但在航空象片上发现它们集结于向斜

核部。航空象片植物标志对于发现矿区也是有利的,例如苦艾植物指示土壤含鋅、紅松 (*Melandrium roohl*) 指示含銅,都能在航空象片上有所反映。

我国在地质研究中应用航空象片曾得到較大的收获<sup>[28]</sup>:当在准平原上勘查时,虽然地面复盖有极薄的第四紀疏松物质,但象片仍可显示出构造与断裂的图形。在調查铁路沿綫的不良工程地质现象时,曾通过航空象片地质预测图的編制,使内业指导外业,极大程度地节约了勘查劳动。

**土壤方面** 由于航空象片具有丰富的地貌与植被輪廓和耕地图形,也反映出水分与腐殖质的差异,虽然土壤不一定能直接在航空象片上显现,但土壤制图的实践証明,利用航空象片进行土壤制图在提高速度与精度方面都具有重要意义。

正如 A. B. 加維曼 (Гавеман) 及 A. C. 普烈奥勃拉仁斯基 [(Преображенский), 1959] 等所指出,土壤是作为地理景观要素之一而呈现在航空象片上,并且土壤的表层也与整个剖面的发生有着一定的联系,以其他相关联的景观要素为間接指标来判讀土壤,是具有理論基础和实际意义的<sup>[29,30]</sup>。

試驗結果表明,在冰沼带进行航空象片土壤制图时,北极亚带以地貌为主要的制图标志,南部亚带則应以植被为主要的判讀标志。生草灰化土带(泰加林带)与灰色森林土带(闊叶林和森林草原带),以植物为土壤判讀的指标就越見得重要了<sup>[31]</sup>。

1951—1953 年的里海低地航空象片土壤制图<sup>[32]</sup>(图 2),不仅运用了地貌条件、植物羣丛与土壤互相依存的原則作为全色片航空象片土壤判讀的理論基础,并运用 CH-2 与彩色及紅外等不同摄影材料的土壤影象对比分析法,区分出碱化草甸土、碳酸盐草甸土、盐化草甸土、碱化沼泽土和各种复区。

美国、德意志联邦共和国、澳大利亚、荷兰、英国等应用航空象片进行土壤制图,色調

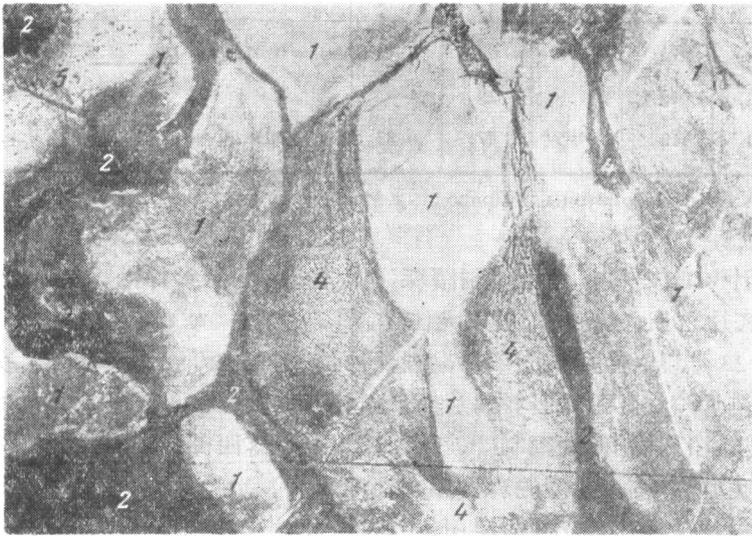


图 2 里海低地土壤全色片航空象片

(采自 M. C. Симакова: методика картирования почв. прикаспийской низменности по материалам Аэрофотосъемки. АН СССР, 1959.)

1. 碳酸盐草甸土; 2. 草甸沼泽土; 3. 草甸盐土; 4. 草甸碱土; 5. 脱碱草甸土。

斑紋仍是主要标志,并仍以土质为主要判讀内容。美国康納尔大学正进行土壤类型与侵蚀沟谷图形的关系研究, H. J. 斯丹麦茲(Steinmetz, 1957)认为航空象片不仅能反映相近似的土种,因农业耕作而引起的土壤辐射变化亦可显示。一般的看法是,利用航空象片进行土壤制图以中比例尺(1:50000—1:200000)为最有利。

**植被方面** 在航空象片的植被研究中,以森林资源勘查方面的发展为主导。不仅包括航空象片的森林判讀,也包括森林资源的航空調查、森林清查、营林造林、林业工程、森林物候的各个方面。

苏联最早利用航空象片判讀树种组成的科学指标,是 A. K. 普洛宁(Пронин, 1935)在森林判讀手册中所提出的。根据航空象片上树冠平面投影形状,构象色调的明暗交替,树冠投影轮廓特点,投落蔭影的形状与位置,树冠上部的立体形态和树冠长度比例等要素,制定了判讀松树、云杉、冷杉、紅松、落叶松等林分的指标;以后,因 Г. Г. 沙瑪伊洛維奇(Самойлович)的改进,林分判讀指标的編制方法更趋完善<sup>[1]</sup>。

根据航空象片确定林木积儲量,首先应在标准地上进行样方测树工作,然后在航空象片上测定相应的冠幅( $D_K$ )、树高( $H$ )、树冠长度( $L_K$ )与胸高直径( $dm$ )、密度等测树因子,据研究,冠幅与胸高直径的相关性最大,相关系数达 0.7—0.9,并具有线性关系。从而有利于根据航空象片上可测定的冠幅以計算出象片上所难以测定的胸径。利用放大航空象片的方法測計冠幅的水平投影以得出郁閉度与密度的关系[H. Г. 哈利(Харин), 1960]亦为航空象片測算积儲量的有关步驟<sup>[1]</sup>(表 1)。

表 1 航空象片测树记录示例

林分组成	林 龄	地位級	$H$ (米)	$dm$ (厘米)	相 关 系 数	回归方程式	每公頃 断面积 (米 <sup>2</sup> )	密 度	郁閉度
I层БК	80	Ia	31.8	53	0.73	$dm = 0.41D_K + 14$	22.8	0.61	0.72
II层Г	40	Ia	21.0	29	—		3.1	0.09	—
I层БК	80	Ia	34.5	47	0.87	$dm = 0.38D_K + 12$	25.0	0.67	0.71

(据 АН СССР: Аэрометоды в Природных Исследованиях, 1960)

彩色光谱片 CH-2 型,是近代判讀森林成效卓越的摄影材料,轮廓可分辨率达到 80%,在各种底片之上,在夏季的效果尤佳<sup>[33]</sup>(图 3)。

德国在 1923 年以后应用航空象片勘查森林资源,日本开始于 1929 年,美国则在十年来才重视。全色片与紅外片均有。錫兰热带雨林区曾利用 1:15840 比例尺的航空象片在生态学的基础上进行林相图的編制<sup>[34]</sup>,英国在坦噶尼喀西部林地利用了 1:30000 航空象片編制有 7 个类型和 11 个亚型的森林生态型地图<sup>[35]</sup>。

彩色航空象片在森林研究中的应用,在欧美也已引起注意,曾有应用 1:3000 大比例尺航空象片辨明树木因虫害而造成的发黄树梢,以 1:10000 比例尺彩色航空象片研究被蚜虫侵害森林的分布,如果选择树木物候差异最大的季节进行彩色航空摄影,预料可以获得丰富表现能力的象片<sup>[36]</sup>。

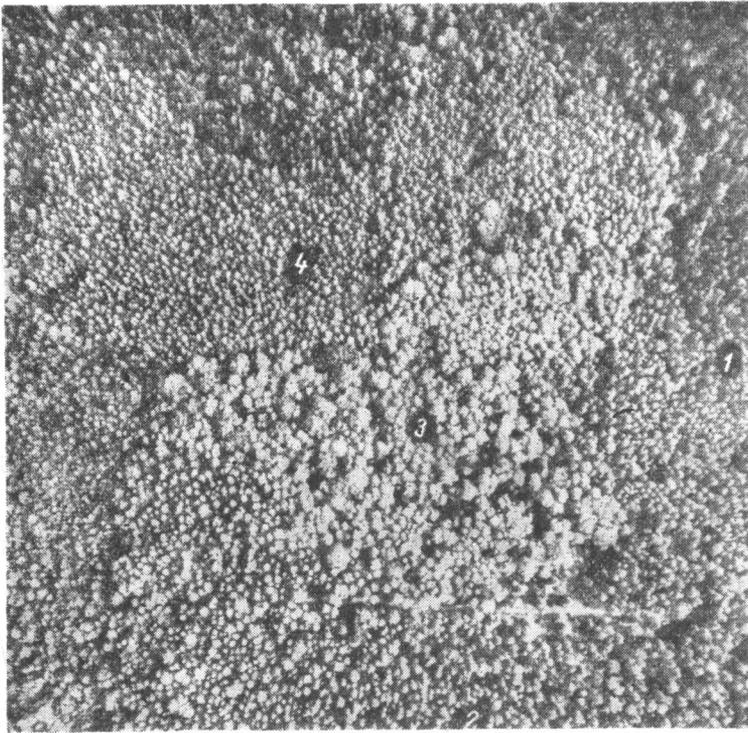


图3 由CH-2型光谱负片所晒印的黑白航空象片

(采自 С. В. Белов и А. М. Березин, Значение условий аэрофотографирования и различных аэроплёнок для изучения лесов, тр. лабор. аэрометодов АН СССР, том VI, 1958).

- 1) 10 松(25年) II 地位级, 密度 1.0; 2) 7 松(20) 2 云杉(20) 1 白桦(20) I. 1.0;  
3) 5 白桦(80) 2 橡(80) 2 槭(80) 1 山杨(80) I. 0.9; 4) 10 白桦(25) I. 1.0

**海洋方面** 海洋研究中航空象片分析的运用, 除浅海地质以外, 对海浪研究, 海深的测定, 浮冰与渔业研究都是有一定成就的。

海浪研究的目的在于测定波高、波长、陡度、波速、周期等因素, 为海岸发育, 海港工程推求动力作用数据。同步的二航空摄影机, 以船长为基线, 或在一架飞机上以机翼为基线进行波浪摄影的试验, 都在进行中。

根据所获得的航空象片进行波浪测定 [B. Г. 兹达诺维奇 (Зданович), Ю. Д. 沙里科夫 (Шариков), 1955]<sup>[37]</sup>, 利用图解法的其计算依据是:

$$\text{波高} = H = \sum_{i=1}^{i=2n+1} P_i \sin L_i$$

$$\text{波长} = L = 2 \sum_{i=1}^{i=2n+1} P_i \cos L_i$$

$L_i$  为波浪的倾角,  $P_i$  为在光电面积仪上所测定的一个斜波上的波浪剖面面积 ( $Q_i$ ) 与波浪总面积 ( $S$ ) 之比  $\left(\frac{Q_i}{S}\right)$ 。

浅海深度的航空象片光度量测法最早曾由 B. A. 法斯 (Фасс) 进行研究, 基于负片密

度与水体深度的理论关系公式导出:

$$Df = D_0(1 - e^{-kf}) + a$$

式中,  $Df$  为负片密度,  $f$  为水体深度,  $D_0$  为深度 $\infty$ 时的密度,  $a$  为深度为 0 时的密度,  $k$  为系数。

Д. А. 雅努什(Януш, 1959)的研究工作指出, 水深测量最好用两架航摄影在不同光谱带进行摄影, 可以在内业条件下确定深度<sup>[38]</sup>。

海底深度测定的立体摄影测量方法研究<sup>[19]</sup>, 必须考虑到由于光线通过二种介质所产生的折射和海底地形的起伏而引起的水下点在水平航空象片上影象的位移  $\Delta\gamma_0$ 。其值为:

$$\Delta\gamma_0 = -\frac{lF_0}{H}\gamma_0 \quad \text{其中 } F_0 = \frac{1}{n} \left( 1 + \frac{n^2 - 1}{n^2 f^2} \gamma_0^2 \right)^{-\frac{1}{2}}$$

式中  $l$  为待求点的深度,  $H$  为航高,  $f$  为焦距,  $n$  为水体折射系数,  $\gamma_0$  为水底点的影象离航空象片主点的距离。

起风浪表面确定海底深度, 是以航空象片海浪图形作为海底地形的指标为基础的[B. B. 沙尔可夫(Шарков), 1956]。近似公式为:<sup>[19]</sup>

$$\lambda > 35 \text{ 米, } h = \frac{\lambda^2}{g\tau^2}; \quad \lambda < 35 \text{ 米, } h = \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{g\tau^2}, \quad \tau = \text{海浪周期} \sqrt{\frac{2\pi\lambda_0}{g}}$$

(式中  $h$  为所求深度,  $g$  为重力加速度,  $\lambda$  为波长,  $\lambda_0$  为不因海底地形而变形的波长)。

美国 A. C. 伦代尔(Lundahl, 1948)<sup>[39]</sup>等根据水力学公式寻求波长、波速与深度的实际关系进行海底深度测定试验;最近尚有夜间红外线摄影测深的试验。

海洋浮冰研究以苏联水文气象总局与国立海洋研究所冰川学部合作的试验规模为最大<sup>[40]</sup>,遍及亚速海、波罗的海、巴伦支海、白海、白令海、鄂霍次克海、里海、日本海甚至北极海,极地中心与南极水部,以航空象片为基础,研究了浮冰的分布类型成因与活动等科学问题。

航空摄影应用于渔业,有利于统计鱼类资源,测定鱼群范围,计算密集度,了解鱼群的行动,从而指导了渔业生产。

**沼泽方面** 在沼泽景观学的基础之上,进行航空象片沼泽研究<sup>[41]</sup>,这是苏联学者们[E. A. 加尔金娜(Галкина)、С. С. 吉列夫(Гилев)、К. Е. 伊万诺夫(Иванов)、Е. А. 罗曼诺娃(Романова), 1941]等的重要科学贡献。他们认为,只有应用航空象片研究沼泽景观,才有可能从地植物和水文角度来分析沼泽景观结构,确定景观基本分类单位,从简单的综合体合并为复杂的多综合体。Е. А. 卡尔金娜是以发生学的观点来建立沼泽景观类型航空象片判读指标的。指标中考虑到沼泽特性地形位置,水分矿物营养来源,水文网特点,独特的微地貌形态以及上层水特征。不但反映了沼泽内部联系,也反映了沼泽与溶水体之间的外部联系。

К. Е. 伊万诺夫认为<sup>[42]</sup>,利用航空象片研究沼泽水文学可能解决:确定集水区界线,测定不同沼泽相面积;推算沼泽体内径流模数;推算蒸发总量,甚至进一步作出水分平衡的估算。

例如沼泽体内的径流量可以写成:

$$Q = \sum_{j=1}^{j=s} q_{zj} \sum_{i=1}^{i=n} (\Delta L)_i \sin \theta_i = \sum_{j=1}^{j=s} q_{zlj}$$

$j = s$  为航空象片上各种沼泽相轮廓  $l$  的数目

$i = n$  为分开流线网线段  $\Delta L$  的数目

$q_{zi}$  = 土壤水层的渗透流量值

$\theta$  = 轮廓  $l$  的方向与流线间夹角

$l_j = \sum_{i=1}^{i=n} (\Delta L)_i \sin \theta_i$  为同一个相的轮廓线长度

**河流方面** 1949 年苏联河道水文地理踏勘规范中规定, 河谷河槽与河滩的特点与形态量测应该以航空象片分析为基础进行查勘(图 4)。

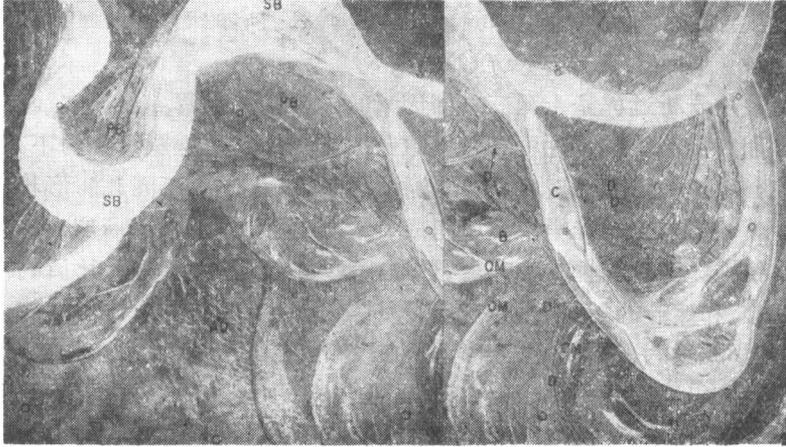


图 4 曲流河床微地貌航空象片

(据 D. R. Lueder: Aerial Photographic Interpretation Principles and applications. McGraw-Hill Book Co. Inc. 1959)

SB 为新生砂洲; C 为冲积物所堆积的旧河道; D 为 riffle 低槽; OM 为阶地积水

И. В. 波波夫(Попов, 1957, 1961)<sup>[43]</sup> 利用航空象片研究河床演变过程, 是以分析河床微地貌为基础, 进而恢复河床的历史痕迹, 研究其活动的幅度速度与趋向, 为水利工程建設提出河床动力发展的预测, 为研究历史水旱灾提出珍贵资料。

航空象片河道水文测量, 以水深与流速的测定为主, 进而希望解决流量的估计问题。河道水深测定以 B. A. 法斯的光电密度测量方法为依据, 流速的推算仍然是近似的方法, 例如 П. С. 帕沙(Паша, 1957) 建议用  $v = C \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{L}} \gamma h$  公式表示流速<sup>[44]</sup> ( $C$  为速度系数,  $h_1 - h_2$  为高程差,  $L$  为水平距离,  $\gamma h$  为水力半径, 相当于水深断面面积与湿周之比)。据全苏运输建设科学院的航空象片测定法试验结果, 流速数值不少于  $\pm 0.05$  米/秒的精度<sup>[45]</sup>。

应用重复航空摄影研究游荡性河道的活动, 我国也有显著收获, 不但查明了河床活动的规律, 也说明了河滩的冲毁过程, 险工移动的迹象, 沙洲的冲蚀变化<sup>[46]</sup>。对发现洪积扇上河流的改道也有特殊功效。

### (三) 理論問題

航空象片分析的目的在于迅速辨明象片构象的科学内容,性质,动态与空间配置规律;由象片分析所揭露的自然规律愈多,外业勘查所化的劳动必将愈少。因此,阐明航空象片的构象规律,探索自然与象片之间联系的纽带,在分析象片规律的基础之上揭露自然界的变化,不仅是方法问题,也是理论探讨的核心环节。

航空象片分析的基础有三:一为象片光化学以及物理光学(或电子光学)的成象原理;二为摄影的自然对象;三为分析判读人员的视力生理条件与分析方法。通过实验、分析、推理、归纳、判断的研究过程,解决这三者的矛盾,以达到揭露自然界客观规律的目的,这是象片分析的主要任务。Л. Т. 沙甫诺夫(Сафронов, 1959)曾认为航空象片的可判读性(дешифрируемость)  $P$  应为客观因素(объективные факторы)  $D$ 、条件因素(условные факторы)  $U$  与主观因素(субъективные факторы)  $S$  三者的函数<sup>[47]</sup>:

$$P = f(D, U, S)$$

其意义也是指象片分析过程是上列三方面因素的矛盾统一过程。生产实践与科学试验都在不懈地探讨如何提高航空象片可判读性这一问题。探索的课题可分为下列几个方面:

1. **群体组合规律的研究**:航空象片地物构影在形式上是由不同几何形状、不同大小、不同色调的平面图形与立体光学模型所组成,应以比例尺、反差、清晰度、密度等数学与物理概念表现其特性。实质上也就意味着,这是由地势起伏、受光强弱、物质的不同,水分的差异,生物的被复和建设的配置,通过摄影材料感光性能的差异所作出的综合反映。因此,根据地物光学成象的数学原则,潜影形成的光化学原则,地物相接、相割、掩复、聚集、散点、交错、并列等组织配置原则,视生理辨光与辨色的极限,融合而为象片图形与地面直观联系的科学依据,找出形成象片群体组合图形的规律原则,显然这是象片分析的主要问题。探索的途径有:

(1) 实验解析法,分别探求每一技术因素,每一地理因素,每一视生理因素在形成象片图形中所起的作用。例如探讨影象的清晰度与卤化银微粒在凝胶中的排列、颗粒的大小及对各种波长光谱的作用关系<sup>[48]</sup>。С. В. 柏洛夫(Белов, 1959)认为,象片的解象力决定于自然物体本身的亮度、影象的位移、软片和象纸种类,当摄影景观亮度在 1:10 范围内,反差 $\left(K = \frac{B_1 - B_2}{B_1}\right)$  为 0.10—0.90,点状地物为 4—13 线/毫米,线状地物为 4—13 线毫米<sup>[49]</sup>。В. Я. 米哈依洛夫(Михайлов, 1955)<sup>[50]</sup> 长期研究摄影质量对群体组合影象的影响,进而分析可判读性。他并认为对比视觉阈(чувствительности глаза)  $\epsilon$  是一个可变值,当象片相邻要素光学密度差 $\delta(=D_1 - D_2) > \epsilon$  时,影象细部才能分辨。在明视距离 25 厘米上观察角值  $1^\circ$  的影象时,  $\epsilon = 0.01$ , 观察  $2'$  的影象时,  $\epsilon = 0.10$ 。

(2) 区域景观谱型(альбом)表示法,是用象片图形来表达景观结构的研究方法;这种方法的作用足以区别区域景观的统一性与特殊性,划分类型,制定区划,发现过渡,进行综合。例如 E. A. 卡尔金娜的沼泽航空象片谱型, Ю. В. 普烈奥勃拉仁斯基(1960)的海洋浮冰航空象片谱型, В. П. 米罗什尼钦科(Мирошниченко, 1961)<sup>[51]</sup> 的新构造运动谱型,均为景观分析谱型的范例。我国进行石油地质谱型与农业土地利用谱型的试验,其科

学意义亦在此。

2. **联系与制约方式的探讨**: 地理环境本身联系与相关的规律, 在以象片分析方法探索的过程中, 也具有的重要意义。因为依据显现于航空象片上的地理环境分布与联系规律, 可以有条件建立谱型进行研究, 但不能在航空象片上建立光学影象的地理规律, 必须通过典型试验运用间接标志 (Косвенные демаскирующие признаки), 查明矛盾的实质、数量与质量的联系、相互转化的环节, 才有可能根据表显在航空象片上的已知因素, 测定未知因素。

联系与制约指标的研究常可以多种形式出现: 从地理环境间成因的联系规律为锁钥的研究已经成为制订地理判读标志的无尽泉源。例如由象片上水系的结构, 侵蚀沟壑的排列, 可以显示出构造运动的特征; 微地貌的表现与植物的分布已成为利用航空象片研究土壤类型的有力标志。实例证明, 最新构造运动可能影响土壤的演化, 引起植物羣落的嬗变, 在航空象片上可以显现出这一连锁性制约关系中最后一个环节的图形。在比较典型的情况下, 使我们有理由以此为线索追踪它的原始动力因素。

在地理环境的研究中, 通过数量来分析质量的方法是特别重要的, 这常常表现在对决定事物变化发展的各种因素的“数量级”的分析上。这一原则运用于航空象片分析方法中, 已不止一次地得到成功。例如半干旱与干旱地区, 植物的分布型式与分散系数, 与不同的湿润条件、水分的矿化程度, 甚至与土质特性有着密切的联系, 利用航空象片统计植物分散系数的方法来查明这种环境条件的变化和差异已成为有效的方法。

通过实验的方法分析自然环境内部的联系, 可以发现一系列量的规律性, 并可以用概括的方法归纳成为数学关系来描写这种规律。很显然, 这种规律也极有可能显示在航空象片上。不过我们还应该探讨由于不同的比例尺、不同的光化学特性以及不同的生理与技术条件, 对于建立这种规律性所存在的影响。如前所述, 测树学中冠幅与胸高直径之间的线性相关, 也成为航空象片测树判读中的基本方法; 浅水波的波长与水深的关系公式也成为航空象片浅海测深的理论基础; 根据象片测定林木的株数, 实际上就存在着一定的限制; 例如在 1:10000 的航空象片上, 林龄 12 年的松树所出现的株数不超过总数的 20%, 而 100—120 年林龄的松树株数出现可以达到 80—100%<sup>[52]</sup>。

航空象片本身的特性, 不论是光化学部分, 还是立体摄影测量学部分, 也都以一定的数学规律来描述自然的, 这也成为揭露自然的有效线索。如根据象片光学密度的数值测定水深, 根据光线通过两种密度不同的介质所引起的折射, 而使水底点发生位移的理论, 而导出水下测深的象片解析法都是实例。

3. **自然演变的动力分析**: 自然研究中运用航空象片分析方法, 要求研究地理环境的三度空间(状态), 也要求阐明与第四度空间——时间(运动)所形成的统一过程。

航空象片, 作为地理环境发展运动过程中的时间剖面, 对于探索自然发展的历程也是具有重大科学意义的。

我们既可以采取多剖面的截取法——重复航空摄影取得象片进行对比, 也可以利用印迹分析法来阐明自然的活动。举凡活动的成因, 空间的历程, 活动的速度, 活动的强度与发展的趋势, 都有可能从航空象片上得到提示。

И. В. 波波夫认为利用航空象片分析河床活动过程是有意义的工作。他借助于分析

河道活动过程的地貌遗迹——鬃岗,恢复河床的历史面貌,运用地图为辅助,进行河床活动型态计量,分别测计不同时间不同河段 $\left(\frac{\Sigma L}{L}\right)$ 的不同曲度 $\left(\frac{B}{R}\right)$ 分配( $\Sigma L$ :分段,  $L$ :全长,  $B$ :振幅,  $R$ :曲率半径),以阐明河流活动的继承性与节奏性<sup>[53]</sup>。

以重复航空摄影研究海岸变迁、冰川进退、沙漠移动等方面都有实例可寻,一方面应确定活动坐标位置,一方面应计算活动的向量,使这一研究方法能正确地阐明动态。

4. 景观光谱的综合测定:航空象片的几何数学规律在摄影测量学的研究中已经建立了基础;但色调规律的探讨,目前的趋向是运用综合光谱方法。

植物光谱测定的结果指明,在可见光谱带 520—570m $\mu$  中,反射能力增大,600—680m $\mu$  因叶绿素的吸收而出现低峰,但 680m $\mu$  以至红外光谱反射能力几乎达到可见光谱的 3 倍,但有不同物候期、不同立地条件的植物,光谱反射能力有很大改变<sup>[33]</sup>。

土壤光谱分析中已经发现,成土作用与氧化铁、腐殖质、氯化物等物质的消长,水分与质地的差异影响光谱反射能力最大,长波的反映又比短波、中波较显著<sup>[54]</sup>(表 2)。

表 2 土壤成分与光谱反射能力

土 类	腐殖质(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	光谱反射能力 $\tau\lambda$ (%)			
			400m $\mu$	500m $\mu$	600m $\mu$	700m $\mu$
泥炭土	70.96	2.61	0.04	0.06	0.10	0.13
生草灰化土	2.49	1.56	0.11	0.15	0.17	0.18
灰钙土	0.51	1.82	0.18	0.26	0.34	0.35
侵蚀红壤	0.81	4.16	0.08	0.16	0.34	0.38
草甸土	10.36	5.48	0.05	0.04	0.06	0.07

资料来源见参考文献[54]。

以造岩矿物的组成为分析基础,是地质光谱分析的特点, M. A. 罗曼诺娃(1959)的试验是按 420—490m $\mu$ , 490—570m $\mu$ , 570—680m $\mu$  三个波段进行的。

近代光谱测定的成果主要用作航空摄影材料选型的理论依据,例如土壤与森林在长波与红外波段反差最大;论证了使用红外线摄影材料的科学意义。彩色三层,特别是彩色光谱二层,可根据地物反射光谱的组合特性选择应用,可以达到较高的判读性。感红层与感红外层相结合的 CH-2 型光谱二层片,在植物与土壤制图中的优越性已经为实践所证实。因此,光谱片的光电量分析方法也愈来愈重要<sup>[33]</sup>(表 3)。

表 3 CH-2 型航空象片光电密度测量记录示例

树 种	测量次数	全 色 层 (紫 色)			红 外 层 (绿 色)		
		最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均
樟 树	18	2.40	0.65	1.91	2.60	0.60	2.15
山 杨	17	2.29	0.92	1.84	2.35	1.16	1.57
松	19	1.91	1.49	1.85	1.35	1.01	1.18
雪 松	20	2.10	1.38	1.79	1.60	0.94	1.19
云 杉	17	1.21	0.12	0.63	1.05	0.32	0.57
冷 杉	22	1.46	0.35	0.64	1.05	0.47	0.73

(根据 C. B. Белов: Аэрофотосъемка лесов. М.-Л. 1959)

因雷达航空摄影的利用,与跟踪飞机、观测卫星、微象发射器相结合所取得的航空象片,以记录地面电磁光谱辐射为特征,有测定隐伏构造、金属矿体、土壤水分的功能。由于雷达辐射对地面渗透性随物质的介电常数而不同。研究地面雷达波的反射特性与成象规律,亦为有探索意义的新课题。

#### (四) 发展前瞻

根据上述探讨,对于航空象片分析方法在自然资源研究中应用的特点及其前瞻,可以概括为下列看法:

(1) 研究自然资源的航空象片分析中,理解图象的方法,充分运用了摄影测量学、光化学与视生理学的原则,也充分运用了地理环境相互联系与制约的原则;质与量的对比、转化、相关,静态与动态、空间与时间的统一,也是象片分析的重要理论依据;以实验分析为基础,根据辩证法则处理科学问题,是近代研究自然有意义的方法之一。

(2) 研究方法特别着重于探索自然规律与象片图形的联系,寻求间接标志和区域类型,其目的是在于加强象片分析以节约野外勘查劳动,根据已知因素以探明未知因素,充分发挥光化学与电子光学的作用,甚至可以查明人类视力所不可发现的(雷达波红外与紫外波段的)自然规律,这对于提高科学的广度、高度、速度与深度都具有重要意义。

(3) 由于航空象片在认识地理环境的结构、阐明它的发展规律、节约探索自然的劳动、提高研究自然的质量方面有无可怀疑的优越性,在近代国民经济部门,如农业、林业、水利、交通、探矿方面都得到了普遍的运用。

(4) 近代国际发展的动向,一方面是更深入地运用于各科学领域与国民经济领域中;另一方面也积极与宇宙空间探索事业相结合。如苏联对月球面的研究,是运用自动行星际站结合自动摄影、自动处理、自动传送等一系列技术保证而实现的。至今,观测更为遥远星体的天文仪器射出大气层而送入空间,作更进一步的探索已经可能,观测宇宙现象的航空象片分析方法也将成为研究中的重要环节;同时,人造卫星火箭技术的发展,人类也可以从宇宙的高度来取得地球本身的航空象片,使摄影技术、分析方法都将有所创新和发展。

(5) 但目前判读理论的研究尚落后于实践的要求,判读机械化、自动化的需要还没有得到满足,一般航空象片的分析尚停留于主观的与经验的阶段,因此,判读方法论的研究,分析仪器的设计,统一技术手册的编制也成为国际上研究的内容之一。

(6) 我国社会主义建设在蓬勃发展,自然条件、自然资源的调查研究正方兴未艾,运用多快好省的技术方法研究自然、勘探资源,对于加速完成建设事业具有积极的作用。因此,结合生产实践发展航空象片分析方法,在土壤查勘、森林经理、地质找矿、水利调查、铁路选线、沙漠治理、沼泽利用、冰川研究等课题中,进一步地运用航空象片是完全必要的。

(7) 由试验阶段的初步经验所指出,通过航空象片分析不仅有利于预查研究地区,可以内业指导外业,在提高专门地图的精度与速度上都得到显著的成效。但也有不少科学问题还有待研究,例如航空象片的摄影测量特性还没有充分发挥,在象片数据的量测方面,对编制专门地图来说,还不够完善。同时目前专业的、单要素的应用较多,综合利用也

还有待进一步試驗探討。

### 参 考 文 献

- [1] A. B. Гавеман, Аэросъемка и исследование природных ресурсов, Изд. АН СССР, 1937.
- [2] W. T. Lee, The Face of Earth as Seen From The Air, N. Y. American Geographical Society, 1922.
- [3] A. B. Гавеман и Я. А. Фасс, К развитию учения об аэроландшафте "Докл. АН СССР", т. XXVI, № 4, 1954, стр. 417—420.
- [4] A. B. Гавеман, Аэрометоды, их содержание и перспективные развития, Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая № 4, 1943, стр. 190—195.
- [5] E. F. Schmidt, Flight over Ancient Cities of Iran, Oriental Institute of University of Chicago, 1940.
- [6] D. S. Jenkins, D. J. Belcher, L. E. Gregg and K. B. Woods, Origin Distribution and Air Photo Identification of United States Soils Civile Aeronautical Admin, Dept. of Commerce, 1946.
- [7] P. G. McCurdy, Manual of Coastal Delineation from Aerial Photographs—US Navy Department Hydrographic office, 1947.
- [8] S. H. Spurr, Aerial Photographs in Forestry Ronald Press, New York, 1948.
- [9] M. C. Brauch, Aerial Photography in Urban Planning and Research, 1948 Orford University Press London.
- [10] American Society of Photogrammetry, "Manual of Photographic Interpretation" (1960).
- [11] Лаборатория аэрометодов АН СССР, Аэрометоды в природных исследованиях, 1960.
- [12] АН СССР, Применение аэрометодов в ландшафтных исследованиях, 1961.
- [13] Д. М. Кудрицкий и Г. Г. Самойлович, Аэрометоды изучения природных ресурсов, М., 1962. Географиз.
- [14] З. И. Толмачева и А. Д. Успенская, Восьмое всесоюзное межведомственное совещание по вопросам теории и практики дешифрирования аэроснимков, Геодезия и картография, 1962.
- [15] А. Е. Ферсман, Аэрометоды в изучении геологических и геоморфологических проблем, "Природа" № 3, стр. 325—326, 1930.
- [16] С. В. Обручев, О работах в Северо-Западной Сибири с освещением геоморфологии труднодоступных областей, Тр. ЛОНИИГК в. XII, стр. 23—26, 1931.
- [17] М. Н. Петров-Видский, Аэрометоды, первая серия, М., 1959.
- [18] В. П. Мирошниченко, Опыт разработки и применения аэрометодов для изучения новейших и современных тектонических движений в пределах предгорных равнин аккумулятивно эолового типа, Тр. лаб. аэрометодов. АН СССР, т. IV, 1954.
- [19] АН СССР, Применение аэрометодов для геологических исследований морского дна, Л., 1956.
- [20] АН СССР, Аэрогеологическая съемка мелководных зон каспийского моря, М—Л., 1958, стр. 136.
- [21] АН СССР, Применение аэрометодов при поисках коренных месторождений Алмазов, М—Л., 1960.
- [22] С. Н. Викторов: 地质調查时的地植物方法, 唐永鑾等譯, 地质出版社, 1957.
- [23] Б. А. Федорович, Аэросъемка и вопросы изучения и освоения пустынь, изв. АН СССР, 1943, Серия геогра-геофизическая стр. 195—206.
- [24] А. Е. Святловский, Роль аэрометодов при изучении вулканических областей, Тр. лаб. аэрометодов. т. VIII, 1959.
- [25] З. И. Гурьева, Использование материалов аэросъемки при геоморфологических исследованиях берегов морей и озер, Тр. лаб. аэрометодов. т. VIII, 1959.
- [26] А. И. Баранова, Овраги и балки района Цимлянского водохранилища, Тр. лаборатории аэрометодов, т. X, 1960.
- [27] А. И. Виноградова, Некоторые данные о состоянии дешифрирования аэроснимков за границей, Тр. лаборатории аэрометодов. т. V, 1956.
- [28] 铁路专业设计院航空勘察处: 铁路航空工程地质工作, 人民铁道出版社, 1959.
- [29] А. С. Преображенский, Об использовании аэрометодов при почвенных исследованиях, 1959, Тр. лаборатории аэрометодов. т. VII.
- [30] А. В. Гавеман и Ю. А. Ливеровский, Аэрофотосъемка о почвенном картировании, "Почвоведение", 1958, № 8.
- [31] Ю. А. Ливеровский, Использование аэрометодов в почвоведении "Почвоведение", 1957.
- [32] М. С. Симакова, Методика картирования почв прикаспийской низменности по материалам

- аэрофотосъемки, АН СССР, 1959.
- [33] С. В. Белов, Аэрофотосъемка лесов, М—Л., 1959.
- [34] R. A. De Rosayro, The Application of Aerial Photography to stock Mapping and Inventories on An Ecological Basis in Rain Forest in Ceylon, Empire Forest Rev. 1959, No. 96.
- [35] J. A. L. Howard, The Classification of Woodland in Western Tanganyika for Type Mapping from Aerial Photographs, Empire Forest Rev. 1959, № 98.
- [36] Л. М. Гольдман, Обзор иностранной литературы по применению цветных аэроснимков. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, т. III, 1958, вып. 2.
- [37] В. Г. Здавович и Ю. Д. Шариков, Опыт построения обобщенного профиля морской волны с помощью аэроснимков. Тр. лаборатории аэрометодов АН СССР, т. IV, 1955.
- [38] Д. А. 雅努特什: 水深光度测定法, 郑家声译, 测绘译报, 1960. 3.
- [39] A. C. Lundahl, Underwater Depth Determination by Aerial Photography, Photogramm, Engin Vaf XIV, No. 4 Dec, 1948.
- [40] Государственный океанографический институт Ленинградское отделение: Альбом аэроснимков ледовых образований на морях, Л. 1960.
- [41] Д. М. Кудрицкий, И. В. Попов, Е. А. Романова, Основы гидрографического дешифрирования, Л. 1956.
- [42] К. Е. Иванов, Применение аэросъемки при гидрологических расчетах водного режима болот, Тр. лаборатории аэрометодов, т. VII, 1959.
- [43] И. В. Попов, Методические основы исследований руслового процесса, Л. 1961.
- [44] П. С. Паша, Н. Ф. Петив, И. В. Щеглов, Использование аэроснимков в войсках М. 1957, Военное издательство министерства обороны, Союза ССР.
- [45] Б. Х. 馬略夫斯基: 用航测法测定表面流速、流向及河川流量, 水利工程快报, 土建组译, 1961.
- [46] 尹学良: 从航空象片看永定河河道变迁, 中国水利, 4 期, 1958. 4.
- [47] Л. Т. Сафровов, О некоторых понятиях в области дешифрирования, Тр. лаборатории аэрометодов, т. VII.
- [48] Т. Н. 杰姆斯, G. С. 希金斯: 摄影感光理论基础, 刘海生译, 中国电影出版社.
- [49] С. В. Белов, Разрешающая способность аэроснимков, Тр. лаборатории аэрометодов, 1959. т. VII.
- [50] В. Я. 米哈伊洛夫: 航空象片的放大, 测绘译报, 1960. 1.
- [51] АН СССР, Применение аэрометодов в ландшафтных исследованиях, М. 1961.
- [52] Г. Г. 沙瑪依洛維奇 (1956): 航空摄影在森林調查中的应用, 林业出版社, 林业部专家工作室译, 1956.
- [53] И. В. Попов, Методические основы исследований руслового процесса, Л. 1961.
- [54] Ю. С. Толчельников, Природные факторы, влияющие на тон изображения почв распаханых массивов на аэроснимках, Тр. лаборатории аэрометодов, т. IX, 1960.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И АНАЛИЗ АЭРОСНИМКОВ

Чжэн Вэй

(Институт географии АН КНР)

В настоящей статье исследованы достижения комплексного использования аэроснимков в изучении природы и изыскании ресурсов с двадцатых годов двадцатого века.

Метод дешифрирования аэроснимков, анализирующий связь между изображениями аэроснимков и отдельными элементами природной среды, имеет превосходящее значение для выявления структуры географического ландшафта в пространстве и закономерности развития во времени, для выяснения закономерности взаимосвязи и взаимообусловленности между разными элементами географического ландшафта.

Как указал академик А. Е. Ферсман, что аэроснимок может содействовать изучению разных явлений, как органической части природной среды. О чем сви-

детельствует бурное развитие использования аэроснимков в производственной практике СССР: обследовании лесов (1922), землеустройстве (1927), разведке нефти (1931), гидрологическом исследовании (1932).

А. В. Гавеман АН СССР сыграл большую роль в пропаганде использования аэроснимков в изучении природы и изыскании ресурсов, на что следует обращать серьёзное внимание. В 1937 г. на основе обобщения опыта применения аэроснимков в исследовании природных ресурсов до 40-х годов он выдвинул соображения о аэроландшафте и аэрометоде и впервые использовал теорию дешифрованной корреляции, он рассматривал и вопрос о связи качественного и количественного анализа аэроснимков. Все эти имеют существенное значение для создания теоретической основы комплексного использования аэроснимков.

В то же время комплексное использование аэроснимков в США, Канаде, Германии, Англии, Японии и других странах тоже получило важное развитие.

В области геологии и геоморфологии раньше использовали аэроснимки для разведки нефти. В исследовании геологической структуры, изыскании рудных и нерудных месторождений, геоботаническом обследовании, исследовании неотектонических движений, обнаружении изменений морских берегов, исследовании песчаной пустыни, вулканов и мёрзлой почвы также достигло немалых успехов в применении аэроснимков. В последние годы применение аэроснимков в исследованиях мелководных геологической структуры и рельефа получило новое развитие. Опыт показал, что применение цветных трехслойных аэроснимков и спектрозональных аэроснимков имеет безграничную перспективу в геолого-геоморфологических исследовательских работах.

Дешифрирование, комплексно учитывающее влияние растений и рельефа на образование почвы, получило большое развитие. В СССР неоднократно проводили экспериментальные работы по почвенному картированию, по цветным и спектрозональным аэроснимкам.

Применение спектрозональной аэросъемки в лесоустройстве имеет твердую основу. Достаточное внимание обращено на значение фенологических состояний для аэросъемки.

В области морских исследований метод анализа аэроснимков употребляют для изучения морской волны и определения глубины. Аэроснимки играют большую роль не только для выделения генетических типов болот, но и для гидрографического обследования и изучения изменения русел. За последние годы применение аэроснимков в гидрографических исследованиях и изучения изменения в течении реки тоже достигло больших успехов.

В связи с развитием космического полета аэроснимки внесли большой вклад и в исследование космической науки. Так например: исследование поверхности Луны и обследование космоса вызывает необходимость применения метода автоматического анализа и электронных аэроснимков нового типа. Это и является важной перспективой развития аэроснимков.