

地质科技资料选编（七十七）

苏联物探方法技术 及其综合找矿实例

苏联物探之二、之三

地质矿产部情报所

一九八二年六月

前 言

近几年来，国内对西方国家的物探工作已有不少报导，但对苏联物探工作的报导却显得不够。鉴于这种情况，我们收集了苏联的有关文献资料并经加工整理汇编成集，以供全面了介国外的物探工作近况。

本集共分二个部分，第一部分为苏联物探方法与技术，较系统地介绍了各种物探方法的进展，包括主要的工作方法、仪器、解决的地质问题等。其中，压电法及电化学方法为苏联所独创，对此作了较详尽的介绍。

第二部分介绍了苏联综合物探的应用情况及某些正在研究的问题，特别是在评价物探工作地质经济效果的基础上如何选择合理的综合方案，虽然目前在这些方面还没有完全得到介决，但却是他们非常重视的问题。在附件中列举了12种金属与非金属矿产的综合方法应用实例，其中有些例子，如锡矿、铝土矿、云母矿及含金刚石的金伯利岩等几十年来的物探工作总结，具有参考价值。

通过资料的收集，我们认为苏联物探工作有其特点：①结合自己国情发展了独特的新方法，同时注意引进西方的先进技术；②重视物探工作效果并注意研究提高效果的途径；③重视方法技术的基础理论研究和实验研究；④在管理体制上推行以科研生产联合企业为核算单位的经济管理办法，这套方法对物探的发展起了促进和保证的作用。

本集第一部分由崔霖沛编写，第二部分由陈秀英编写，附件中的应用实例由张肇元、崔霖沛、向源富和陈秀英加工整理或摘译。全集由陈秀英编辑、张肇元、向源富审定。

本集连同1981年出版的《苏联区域物探》（苏联物探之一）基本上反映了近年来苏联物探工作的概貌，可供物探工作者参考。

由于我们能力所限，错误难免，欢迎批评指正。

目 录

苏联物探方法与技术

一、总况	(1)
二、磁法勘探	(9)
三、重力勘探	(32)
四、电法勘探	(43)
五、核物探方法	(63)
六、金属矿地震	(78)
七、井中物探和测井	(88)

苏联综合物探找矿实例

一、简介	
1. 概述	(100)
2. 工作的阶段性	(102)
3. 必要性与原则	(108)
4. 最优化问题	(110)
5. 地质经济效果的评价	(120)
6. 资料解释的图像识别法	(123)
二、找矿实例	
1. 普查和评价隐伏锡矿的物探方法	(129)
2. 在中亚和哈萨克斯坦普查和勘探锡矿床	(138)
3. 北哈萨克斯坦铝土矿区的综合物探工作	(155)
4. 普查和勘探汞矿的物化探方法	(160)
5. 金矿地球物理普查勘探方法的合理综合	(170)
6. 电法普查金矿	(175)
7. 提高激发极化法的普查金矿效果	(177)
8. 火山岩中近地表金银矿的物化探普查	(179)
9. 用核物探方法普查勘探金矿	(182)
10. 斑岩铜矿床的现代普查方法	(185)
11. 用放射性物探方法普查稀有金属矿床	(189)
12. 天山—帕米尔山区的物探找矿工作	(195)

13. 在西伯利亚地区用物探方法普查固体矿产.....	(199)
14. 在外贝加尔应用伽玛能谱方法圈定矿化带.....	(201)
15. 物探方法在金伯利岩体普查勘探中 的应用.....	(205)
16. 普查云母矿床的物探方法.....	(223)
17. 普查磷灰石—钛铁矿—钛磁铁矿的 合理综合物化探方法.....	(243)
18. 综合物探方法普查和勘探重晶石和 毒重石矿床.....	(250)
19. 用物探方法在乌拉尔地区预测和普 查水晶矿.....	(253)
20. 萤石矿床大比例尺普查的合理综合方法.....	(256)

苏联物探方法与技术

一、总 况

苏联现有 15 个部门进行物探工作，其中地质部的物探工作量最大，以费用计占 79.3%，其次是石油工业部，占 18.5%。

苏联的物探方法应用在从区域工作到详细勘探和生产勘探的各个阶段，成为地质工作的重要组成部分，根据苏联地质部物探局前局长 B. B. 费登斯基的提法，物探工作的任务是提供认识岩石圈构造规律、矿产分布及其普查勘探方面的资料。苏联物探工作量占地质勘探总工作量的 22—23%。

据 1977 年的统计，苏联在物探部门工作的人数有 10 万左右（占整个地质队伍的五分之一），其中 4 万多人是大学和中专毕业生。从事金属物探的工程技术人员有 1 万人左右，其中大专毕业生约 5000 人。全国共有几十个专业化企业和大队，4800 个勘探小队，七个从事物探的主要研究所，十多个物探仪器厂。

物探工作最多的加盟共和国有俄罗斯（52%）、哈萨克斯坦（16%）、乌克兰（9%）、乌兹别克（5%）和土库曼（4%），上述五个共和国占全苏物探工作量的 85%。

在物探方法中，地震勘探占首位（48%），其次为测井（16%）、电法（11%）、重力（9%）和磁法（7%）。

一、组 织 机 构

从苏联地质部的情况来看，物探工作统一由物探局管理。该局的任务是：推广新技术新方法，提高工作效率，制订和实行统一的技术政策，对地质部的物探工作实行业务和方法上的领导，对科研和试验设计工作进行计划和协调。物探局还负责总结全国物探工作的结果，统计物探发现的构造、矿床和矿点，提出在全国领土上进一步进行物探工作的建议，并且每四年召开一次全苏物探工作会议。

在各加盟共和国，物探工作由共和国地质部（局）的所属部门领导，如在俄罗斯加盟共和国，所有物探工作在方法和业务上归加盟共和国地质部的物探总局领导。

全苏地质部和加盟共和国地质部下面都设有物探专业的科研生产联合企业或托拉斯。联合企业包括有研究所（或方法试验队）、生产队、工厂、设计部门等，进行统一的计划和领导。苏联地质部直属两个物探联合企业，一个是列宁格勒的“地球物理”，一个是莫斯科的“联盟地球物理”。“联盟地球物理”下属有全苏地球物理勘探方法研究所（ВНИИГеофизика）、全苏核地球物理和地球化学研究所（ВНИИЯГГ）、全苏井中物探设计研究所（ВНИИГИС）、西伯利亚设计局及所属的分析、计算中心、实验工厂及物探队等。“地

球物理”下属有全苏勘探地球物理研究所（ВИРГ）、“地质勘探”仪器厂（“Геологоразведка”）和物探队。

除了专业性的物探联合企业外，苏联地质部下属还有一些综合性的地质勘探联合企业，其中也包括物探工作，如“联盟地质技术”联合企业，它是由全苏勘探方法和技术研究所（ВИТР）、专业设计局和“地质仪器”工厂（Геоприбор）等单位组成的。

在加盟共和国地质部（局）下面也分设若干联合企业，其中有专业性物探联合企业，也有地区性综合地质勘探企业。以乌兹别克加盟共和国地质部为例，下面直属五个联合企业：即物探（以石油物探为主）、水文地质、石油天然气、塔什干和萨马尔罕，前三者以专业分工，后两者按地区划分。在以地区划分的联合企业中包括有物探工作，在企业一级设物探处，由总地质师领导，大队一级设总物探师。

苏联从事物探理论、方法和装备研究的主要研究所有七个，除了上面已经提到的五个外，尚有西伯利亚地质、地球物理与矿物原料研究所（СНИИГГИМС）和中央有色和贵金属地质勘探研究所（ЦНИГРИ）。

苏联有三个物探仪器设计局，即列宁格勒、新西伯利亚和基辅设计局。

生产物探仪器的工厂不是由部直接管理，而是分属不同的联合企业和托拉斯，据查有“地质勘探”仪器工厂（列宁格勒）、“地质仪器”工厂（列宁格勒）、ВНИИГеофизика实验工厂（纳罗佛明斯克）、ВИТР实验工厂（列宁格勒）、基辅物探仪器实验工厂、乌法物探仪器厂、巴库仪器厂、梅季希仪器厂、哈萨克物探仪器实验工厂（阿拉木图），生产石油物探仪器的有石油仪器厂（莫斯科）、石油自动化工厂（十月城）。

苏联的26所高等院校中设有31个物探教研室，其中比较著名的有莫斯科、列宁格勒、斯维尔德洛夫斯克、第聂伯彼得罗夫斯克、喀山、彼尔姆、阿拉木图、秋明等，尤以莫斯科和列宁格勒实力最为雄厚。苏联目前物探专业技术人员已基本饱和，今后十年内大学毕业生的数量将减少。在教学课程方面，物探专业、地质科目和数理基础课的学时各占三分之一，今后要加强概率论和计算技术的学时，莫斯科地质勘探学院已开设了“物探信息的收录与整理”课。各个大学的物探科研工作相当活跃，承担了很多重要的科研项目，院校科研工作存在的问题是：科研拨款的方式和数额与大学的实质潜力不相适应。目前大学科研的主要经济来源是经济合同，靠国家拨款的学校很少。合同科研的题目完全服务于拨款单位的局部需要，因而造成题目分散，而带方向性的基础研究难以进行，因此认为今后应增加国家对高校科研的预算并集中进行管理。

二、物探方法技术的进展

在航空物探方面，1976—1980年期间苏联试制和试验了包括核旋磁力仪、感应式航电仪和γ-能谱仪的航空综合测站。在航空物探中采用了数字磁带记录，并采用“Поиск”和“Мир”型无线电大地测量系统，进行测线联测工作。研制出航空物探资料的自动处理和解释系统。

从工作详细程度来看，苏联早在六十年代完成了全国1:20万航空磁测，目前主要进行1:5万和1:2.5万的航空磁测（有的地方同时作航空伽玛能谱测量），在个别地区还作了

1:1万的航空磁测工作,例如在土耳其盖勒(找铁矿、铝土矿)、安格拉河流域(找铝土矿)、雅库特(找金伯利岩),1:1万的航磁工作表明,它可以代替1:2.5万的地面工作。

从航空物探的精度看比原来有了很大提高,大部分野外队都有了航空质子磁力仪,也开始推广量子磁力仪。质子和量子磁力仪的应用使测量精度比原有饱和式磁力仪提高了 $10-1^5$ 倍,因而能查明一些控矿因素和圈出弱磁性矿床。新的航空伽玛能谱仪指标接近国际先进水平,可用于间接找有色、稀有金属和某些非金属矿床,圈定含稀有金属的侵入岩、接触带和热液蚀变带、含矿断裂带等。

苏联正在研究试验的航空物探仪器有:航空重力仪、三分量航空磁力仪和航空过渡过程仪器,后者在乌拉尔的含铜黄铁矿上试验效果较好。

在地面磁测方面,在1975—1980年期间已开始用高精度和高效率的便携式量子磁力仪装备各生产单位,用以解决在复杂地质条件下和弱磁性地区的地质问题。现在准备批量生产携带式质子磁力仪来代替机械式磁力仪,继续制造磁测数据野外编码配套设备,以便在计算机上进行处理,正在研制汽车上用的超导磁力仪。

在构造填图和金属、非金属矿产普查中,重力勘探在综合物探中的作用明显提高,特别是金属矿区的大比例尺重力勘探发展很快。这主要是由于高精度重力仪的推广,重力勘探的发展在很大程度上也取决于测量方法的改进,由于广泛采用立体摄影显著地减少了地形大地测量的工作量。

目前苏联有四十多种基于天然和人工交直流电场的电法。据认为激发极化和过渡过程法的效果最好,用这两种方法扩大了面积性普查的工作量,激发极化相位测量近年发展很快。苏联还注意研究区分激电异常的一些方法,如阴极阳极效应、非线性过程、二次场衰变的时间特性并扩大了激电的频率时间范围。

为研究固体矿产远景区的区域构造,其中包括矿床的微构造,把地震勘探纳入综合物探是固体矿产物探发展的新阶段,例如在一些地区利用地震研究含多金属、铜、稀有金属和铁矿的结构复杂的沉积喷出岩的内部构造,普查暗色岩下的金伯利岩筒、研究含矿侵入岩的形态等方面都取得较好效果。目前苏联以反射法为主,正在推广非爆炸震源。

在普查与石英脉、伟晶岩有关的矿床时,成功地应用了地震电效应——压电法。

近年来很重视发展地下物探,如无线电波法、井中三分量磁测、测磁场的井中充电法、低频电磁感应法、压电法和地震声波法,用于发现未被揭露的矿体,提供了用稀疏钻探网圈定这些矿体的可能性,并确定矿体的形态和大小。

地电化学方法的出现使得有可能根据零星钻孔估算已揭露矿化的工业价值,确定矿体的矿物成分,也有可能从地面研究隐伏矿体的矿物组份并估算其储量,它和井中物探相结合被认为是寻找深部盲矿的重要方向。

在1976—1980年期间核物探的应用范围大为扩大,如铀铁矿、多金属、铜、铝土矿、钨、锡、磷、萤石、金等。这主要由于X荧光法和伽玛能谱法的广泛应用和中子活化氟量测量的开展。采用这些方法能及时指导普查评价工作的方向,缩短总工作时间,降低由边远地区向基地实验室运送样品的费用,因而大大提高了经济效果。在勘探阶段,由于核物探方法能够准确确定含矿段的位置、厚度和有用元素含量,提高了储量计算的可靠性。

近年来苏联注意了物探工作标准化与计量保证的问题，自1973年起截止到1978年，制订了72项国家标准和大量关于物探测量设备的检验方法和手段的专门规范，目前正在经互会国家范围内进行综合标准化的工作。

三、电算技术在物探工作中的应用^[10]

为了使用电算技术对物探资料进行整理和解释，苏联地质部建立两级计算中心，即地区一级和大队一级。

地区中心是指建立在科研生产联合公司或托拉斯一级的计算中心。其任务是：

- (1) 从大队计算中心接收信息；
- (2) 根据大队的要求处理资料；
- (3) 根据数据库的所有地面、井下地质、钻探和物探资料作深入的综合处理；
- (4) 研究制定野外工作方法和资料处理方法；
- (5) 储存数据；
- (6) 对重要的结果进行复查；
- (7) 与“АСУ—Геология”自动化系统的一些相邻亚系统相连接。

到目前为止，地质部各单位已建立了20个左右地区计算中心，一般装备高效的БЭСМ-6/7计算机。

大队中心作较小规模的资料处理，其功能是：

- (1) 接收野外物探资料并检查其质量；
- (2) 作资料常规处理；
- (3) 向分队提供建议和资料，包括要求返工；
- (4) 为地区中心作资料准备；
- (5) 保存野外资料；
- (6) 将资料交地区中心处理或交数据库

所使用的装备

1975—1980年期间地区中心所使用的计算机有БЭСМ-6, ЕС-1050, ЕС-1033 (30), Siber-73, Sigma-5。大队中心所使用的计算机有Минск-32, Command, М-222, БЭСМ-4, БЭСМ-4М, М-4030, ЕСЮГО, ЕС-1010等。

目前已经感到М-20, БЭСМ-4, Минск-32这一类第二代计算机不能适合处理的需要，应当用第三代计算机进行换代。对大队中心来说，从1980年起开始装备中等系列机ЕС-1035, ЕС-1045, 在处理地震资料时配备阵列处理机。到1983年左右主要装备ЕС-1045, 带阵列处理机。再一个发展方向是发展专用计算机(АСВТ), 如ПС-2000(3000), 这是一种适合于高效处理大量资料的解物探专门问题的设备, 有比较成熟的算法。

因此近期的发展顺序是：

БЭСМ-4, ЕС-1022	} ЕС-1045 + 专用处理机 ЕС-1035 + 专用处理机 ЕС-1010 + 专用处理机 ПС-2000
М-222, ЕС-1030	
Минск-32, ЕС-1035	

对于地区中心来说，今后要有一个至数个具有如下功能的计算机，内存 2000-4000 千字，主机速度 1 百万次/秒以上，专用机 10-300 百万次/秒，磁盘 400—500 兆字，磁带 16—24 兆字，终端文字和图形显示。

Эльбрус 系统是最有前途的，它是近期苏联将生产的最大的计算机。Эльбрус 系统用增加处理机的办法（从一到十）提高效率，增加了内存（由 0.5—8M），可以无限地增加外存，每一个处理热的运算速度大于 1 百万次/秒，而 Эльбрус-2 运算速度将大于 100 兆次/秒。而且 Эльбрус 能按照 БЭСМ-6 的程序和指令系统进行工作。

数 学 保 证

整理解释物探资料的数学手段多种多样，从七十年代中期开始，在苏联地质部系统的计算中心里，每一种物探方法都采用一套基本程序系统，例如在 seismic 勘探中，对于 БЭСМ-6 和 ЕС 系列机来说，由几个单位共同制订了 Сейспак 基本程序系统。整理测井资料的主要系统是 АСОИ ГИС，由地质部和石油工业部共同制订。在电法资料处理中则建立了 ЭПАК 系统，而 Сейспак 和 ЭПАК 的程序包又都是整个 ГЕОПАК 系统的一个组成部分。

四、物探在地质找矿中的作用

物探用在从区域工作到普查勘探的各个阶段。大面积的航磁、航空伽玛能谱测量以及地面重力测量，其目的在于在广阔区域内进行地质填图。目前为了配合 1:5 万的地质填图，1:5 万和 1:2.5 万的航磁和伽玛能谱测量正在大面积进行。一些比较难作的方法，如深地震测深、大地电磁测深等只是沿着非常稀疏的剖面研究广阔地区，这类工作的目的是研究地壳和上地幔的构造，如果和已有的面积性测量结合起来，也可以评价该地区的含矿远景，将区域物探剖面同深井资料结合起来，对解释这些剖面非常有用，有助于提出关于区域成矿规律的见解。

固体矿产普查物探中的物探工作量持续增大，1979 年比 1970 年的实际工作量增长了一倍，在固体矿产物探中，有色及稀有金属约占 78%，黑色金属和非金属各约占 11%。

在不同矿种的地质普查勘探总工作量中。物探所占的比重为：铁矿 26.7%，钨矿 28.4%，铬铁矿 21%，钼矿 22.4%，金刚石 27.7%。

在普查勘探铁矿方面，苏联主要用航空、地面和井中磁测，高精度重力，井中无线电波透视，充电法和核测井方法。激电、自由、偶极电磁剖面、瞬变电场法等用得较少。重力及其水平分量测量、磁场及其分量测量也用于探槽，以研究槽壁四周。还用磁化率测井求矿石中磁铁矿的含量以计算储量。

在普查勘探铜及含铜黄铁矿方面，重力、地震和磁法用于研究工作区的构造，而电法则用于直接找矿，电法主要包括：瞬变电法、激电和感应电法，用井中低频感应勘探低阻岩石中构造复杂的深部铜矿被证实是有效的，该方法能在细脉浸染的含铜围岩中定出致密铜矿的

位置，确定矿体形态。铜的含量通过X荧光测井来计算。

普查勘探铅锌矿。除重力、磁法外，广泛采用各种装置的激电、垂向电测深、井中物探和核物探。近年来核物探应用很广，可在露头、探槽和钻孔中就地确定矿石中金属的含量，大大减少了取样数目，加速了评价和勘探的进程。

普查锡矿。物探既用于研究控矿构造，也用于直接找矿。大比例尺重磁能圈出侵入岩的穹形突起，确定其形状和规模，确定矿化总的规律。直接找矿最有效的方法是电法，如激电、垂向电测深、瞬变电法、压电法和感应电磁法。计算锡的储量用X荧光法。

普查勘探伟晶岩和石英脉型矿床主要是用压电法。当伟晶岩以不规则的形式出现于花岗岩类岩石中时，压电法与井中侧向超声测深综合使用，探测范围可达120米，这样在普查伟晶岩时就可以少打一些钻孔。

普查铜镍矿。除重力和电法外，还用地震反射法追索富矿层、含矿侵入岩的边界和断层，绘出1:1万和1:5千的构造等深线图，作为选择勘探孔位的基础。

铝土矿由于其物性与围岩相差不大，用物探方法直接找比较困难。地震、电法等常用于研究控矿构造，在有利的条件下可以用高精度磁测寻找铝土矿，在已发现的铝土矿上用高精度井中磁测可以发现钻孔尚未穿过的矿体，确定它的位置和形态。最近还发现，在一些铝土矿上，矿与围岩的纵波横波速度比值有明显差异，可以用作直接寻找铝土矿的标志。

物探在稀有金属和非金属矿的普查勘探方面也有重要作用。

总的来说，目前在苏联尽管新的方法不断扩大使用范围，作用最大的仍然是磁法和电法，从矿种角度来说，物探在铁矿上的效果最为显著，目前90%的铁矿是完全根据物探资料发现的。航空物探，主要是航空磁法，由于它的经济快速的特点，成果尤其显著。在七十年代中利用航空物探发现了数十个矿床，其中有锡矿、钨矿和稀有金属矿，发现了数百个有远景的矿点，填绘了广阔的地区，为在交通不便和新开发地区规划地面普查工作提供了地球物理基础。

就以土尔盖铝土矿区为例，在普查的各个阶段物探都发挥了重要作用。第一阶段先用1:100000垂直电测深和折射地震法圈定和追索碳酸盐岩发育带；第二阶段用1:50000的电测深和1:25000的磁测进行古生代基底填图，圈出基底中的拗陷，这些拗陷往往是铝土矿的远景区；第三阶段对拗陷进行详查，圈定矿体并研究其形态，在这一阶段以1:5000磁测为主，配合1:25000垂向测深、1:2000对称剖面法和1:25000的重力测量。这一套工作程序在该地被证明是合理的，结果在全区已检查的411个推断有远景的异常中有217个证实是由铝土矿引起的，平均见矿率为53%。由于广泛使用物探方法，节约了山地和钻探工作量（在区内几个矿床上约为28—57%）。

五、几点看法

纵观苏联物探方法技术的现状，结合我国物探工作的具体情况，我们提出如下几点看法。

1. 关于加大勘探深度问题 随着我国东部地区研究程度的提高，寻找深部盲矿也已成为一个重要课题。参照苏联的一些作法，看来，为了解决这个问题，需要从三个方面着手。

一是发展井中物探。我国井中磁测、井中激电发展较快，但井中无线电波法比较薄弱。从苏联的情况看，井中无线电波法应用相当广泛，效果较好。因此我国也有必要进一步发展这种方法技术，用于更多矿种的普查勘探，提高它的作用。再就是有必要针对铬铁矿研究应用井中声波透视。至于地电化学方法，由于它的耗电太多，在我国当前情况下，一时尚难仿效；二是提高重磁仪器的精度和可靠性，发展大功率电法勘探，以提高这些方法的穿透能力；三是提高仪器的抗干扰能力，并借助各种数学手段，通过电算处理，压制干扰，提取弱信号。

2. 关于航空磁测今后的工作方向问题 根据苏联的情况看，他们配合 1:50000 地质填图在很多地区开展了 1:25000 的航空磁测，并在少数重点矿区开展了 1:10000 的航磁工作。据报道，用无线电定位系统和自动导航仪进行 1:10000 航空磁测是能够满足定位精度要求的，这方面已有成功的实例。我国东部省份的 1:50000 航空磁测，有的已经完成，有的接近完成，可以考虑进一步在准备作 1:50000 区测的地区作 1:25000 航磁并开展 1:10000 航空磁测仪器装备和方法技术的试验研究工作。苏联的经验表明，1:10000 的航磁工作代替 1:25000 的地面磁测是完全可能的，他们甚至在考虑作更大比例尺的航磁工作。此外从我国的情况看，也有必要在弱磁地区推广高灵敏度（光泵）磁测，以便进行填图，寻找深部磁铁矿和弱磁性矿产。

3. 针对我国当前加强有色金属普查勘探工作的情况，有必要开展面积性 1:25000 左右的激电和 1:10000 左右的瞬变电法 特别是瞬变电法在苏联发展很快，效果明显的事实值得我们注意。该方法在我国目前仅处于研制仪器和初步试验的阶段，看来需要扩大试验，争取早日用于生产。

4. 在金属矿普查中充分发挥核物探方法的潜力 由于近年来伽玛能谱测量、X 荧光法、中子活化、中子—伽玛等方法的发展，使核物探的作用日益显著，它至少可以在两个方面发挥作用：（1）通过研究元素分散晕与元素比值的变化可以研究控矿因素（如围岩蚀变）和直接发现深部矿体；（2）进行现场快速分析，正确指导采样，减少采样数目，缩短评价和勘探的周期，并能促进发展部分无岩心钻进。我国核物探工作十分薄弱，只作过零星工作，今后首先需要加强研究试验力量，取得效果后逐步推广。

5. 建立我国的金属矿地震和压电法 金属矿地震在查明金属矿区构造和控矿因素方面已有不少成功实例，压电法在找石英脉、伟晶岩型矿床方面很有效，对脉金矿、云母矿等这样一些常规物探方法难于探测的矿产有其独到之处。对这两种方法，我国在五十年代、六十年代都曾作过尝试，但都没有坚持下去，现在看来需要考虑重新开始研究和应用。

（崔林沛编写）

参 考 文 献

- [1] В. В. Федьинский Разведочная геофизика в СССР, «Вестник МГУ, сер. геол.», №5, 1977
- [2] В. В. Федьинский Состояние и задачи разведочной геофизики, «Советская геология», №11, 1977
- [3] В. В. Федьинский О подготовке в высшей школе специалистов по разведочной геофизике в связи с научно-техническим прогрессом в этой области. «Вестник МГУ, сер. геол.» №1, 1976
- [4] В. Ю. Зайченко и др. Состояние и перспективы рудной геофизики, «Разведка и охрана недр», №4, 1980
- [5] V. Yu. Zaichenko The role of geophysical and geochemical methods in the prospecting and exploration of mineral deposits in the USSR, Moscow, 1980
- [6] В. Ю. Зайченко Рудная геофизика на службе геологии, «Разведка и охрана недр» №11, 1977
- [7] В. В. Бродовой и др. Технический прогресс в рудной геофизике и её геологическая эффективность, «Разведка и охрана недр», №2, 1976
- [8] В. В. Бродовой Актуальные проблемы рудной геофизики. «Разведочная геофизика на рубеже 70-х годов», М. «Недра», 1974
- [9] Н. Н. Кадырев и др. Разведочная геофизика в советской высшей школе, «Известия ВУЗ, Геология и разведка», №7, 1977
- [10] Д. С. Даев и др. Геофизический факультет МГРИ. «Известия ВУЗ, Геология и разведка», №3, 1979
- [11] П. Г. Егорин Экономика геофизических методов разведки полезных ископаемых. М. «Недра», 1977
- [12] М. И. Дойчев О семинаре «Состояние и пути развития стандартизации и метрологического обеспечения в разведочной геофизике». «Региональная, разведочная и промышленная геофизика, экспресс информация», Вып. 4, 1979
- [13] А. С. Барышев О работе семинара «Состояние и пути повышения эффективности геофизических работ в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке», «Региональная, разведочная и промышленная геофизика, экспресс информация», Вып. 24, 1979
- [14] П. В. Вишневецкий. Состояние и задачи развития геофизических исследований на неметаллы, «Советская геология», №1, 1979
- [15] Научная организация труда на геолого-разведочных работах. М. «Недра», 1979

- [16] Г.И. Галин Совершенствование организации поиско-разведочных работ при геофизических исследованиях. М. «Недра», 1975
- [17] Б.Э.Хесин Прогноз и локализация скрытого оруденения в горных областях по геофизическим данным.
- [18] Б.Э.Хесин Особенности геофизических поисков рудных месторождений в альпийских горных областях. «Советская геология», №12, 1978
- [19] 苏联物探见闻《国外地质勘探技术》，№6, 7, 1980
- [20] В.Ю.Зайченко Основные направления развития вычислительной техники в организациях МИНГЕО СССР, «Региональная, разведочная и промышленная геофизика, экспресс информация», Вып.3, 1981

二、磁法勘探

一、概 况

在苏联，磁测既用于发现直接与矿体有关的异常，也用于地质填图，研究控矿因素。属于直接找矿的对象，除强磁性矿产外，还有某些弱磁性矿产，如铝土矿、砂金矿等。

苏联的1:20万航空磁测已在六十年代完成，目前进行的航磁工作是1:5万和1:2.5万的（也有少量1:1万的），每年可完成60万平方公里^[4,5]。苏联地面磁测工作量大约相当于航空磁测工作量的十分之一，主要用于详查，比例尺一般不小于1:2.5万^[2,7,4]。

苏联磁测的技术经济指标见下表：^[4]

指 标	1966年	1970年	1975年
工作量（百万卢布）	20.6	29.1	33.6
其中地面	10.9	12.0	12.3
航空	9.7	11.1	21.3
大于1:5万的测量（千平方公里）			
其中地面	80.3	62.0	57.3
航空	639	495	575.6
1:20万和1:10万测量（千平方公里）			
其中地面	18.4	—	—
航空	126.3	—	—
共作台月数	4427	3891	4943
其中地面	4126	3688	4534

续 表

指 标	1966年	1970年	1975年
航空	301	203	459
仪器-小队数	911	803	895
其中地面	842	759	794
航空	69	44	101
平均野外工作时间 (月/年)			
其中地面	4.9	5.1	5.7
航空	4.4	4.6	5.6
仪器小队的平均年成本 (万卢布)			
其中地面	12.94	13.80	15.50
航空	14.06	25.25	21.99

1975年1:5万磁测技术经济指标:

测 量 种 类	成本(卢布/平方公里)	台月生产率(平方公里)
地面	210	126
航空	30	2231

航空磁测所使用的仪器主要是核旋磁力仪,近年来光泵磁力仪也已开始推广,饱和式仪器已被逐步代替^[5]。在地面磁测中,正在经历着由机械式磁力仪向电子式磁力仪过渡的过程,已经将便携式光泵磁力仪用于普查性工作^[6]。正在研制超导原理的三分量磁力仪和磁力梯度仪,超导磁力仪灵敏度为 $2 \cdot 10^{-3}$ 伽玛,梯度仪灵敏度为 10^{-4} 伽玛/厘米。^[2:10,24]

在1971—1980年期间,利用以航空磁测为主的航空物探发现了数十个矿床,其中不仅有铁矿,还有锡矿,钨矿和稀有金属矿床,发现了数百个有远景的矿点,填绘了辽阔的地区^[6]。

总的来说,在方法技术上,苏联近年来没有突破性的发展,但有四个方面值得注意:

(1) 随着磁测仪器灵敏度的提高,使磁测能够解决的问题范围扩大了,能用于弱磁性矿产普查,进行沉积岩地区的地质填图。但是随着灵敏度的提高,各种干扰因素也增多了,因此苏联目前所作的很多工作都在于消除各种干扰,以达到测量的高精度。

(2) 发展大比例尺航空磁测,甚至1:1万的航空磁测,目的在于更大程度上代替地面磁测,以进一步提高效率,降低成本。大比例尺航空磁测中的关键问题是建立更精确的定位手段。

(3) 为了进一步提高磁测工作的效果,区分矿与非矿异常是一个重要课题,苏联自六十年代以来坚持不懈地进行这方面的研究,据所见到的报导有三种方法:人工磁化法,日变法和压磁法,虽然迄今仍处于实验阶段,但这一研究方向是很值得注意的。

(4) 磁法除用于普查磁铁矿外,还广泛用于普查其它矿产,鉴于磁法是一种最快速简

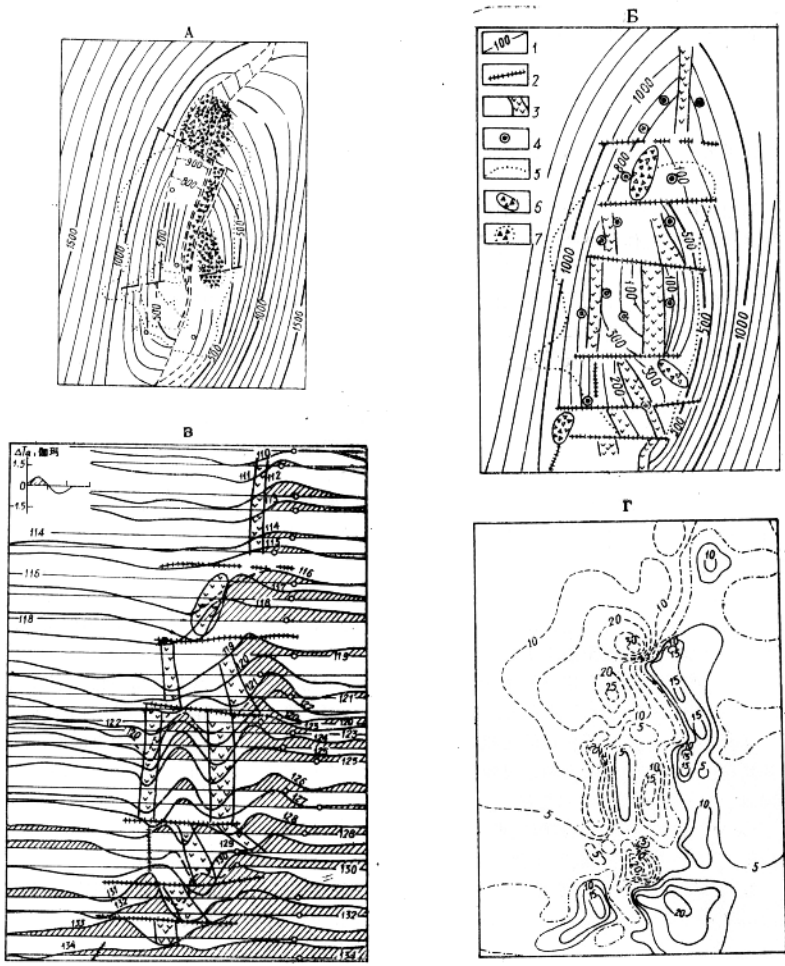


图 1 戈洛瓦契夫—库林河岸隆起 (阿塞拜疆)。

- a—根据地震和钻探资料作的构造图；
- 6—根据地震、航磁和钻探资料作的构造图；
- 1—含矿层附近的相对等深线图 (根据地震、航磁、钻探)；2—断裂 (根据航磁)；3—角砾化带 (航磁)；4—建议的普查勘探孔；5—阿普色伦沉积层的分布范围；6—泥火山；7—泥火山角砾。
- б— ΔT 剖面图；
- г— ΔT 等值线图 (伽玛)。

便的物探方法，因此有必要充分发挥它在除铁矿外其它矿种上的潜力。

下面分别就以上几个问题作进一步的介绍。

高灵敏度磁测及某些技术方法问题

近年来由于高灵敏度光泵磁力仪的出现使得沉积岩地区的填图和弱磁性矿产的普查工作成为可能。

例如“地球物理”联合公司的试验设计局和全苏地球物理勘探方法研究所在土库曼、阿塞拜疆和里海等地作了高精度磁测，证实了沉积盖层中的已知构造并发现了新的构造。从图1可以看出，利用高精度航磁资料可以使构造表现更为详尽，图中的横向断层是根据异常带的错动推断出来的。用钻探和地震测量对航磁资料进行了验证，说明磁场强度与磁性层的起伏成正比，褶皱中部最突起的部分对应着磁异常的最高值。

还能利用高精度磁测资料寻找控矿断层和热液蚀变带，尤其是断层的交点对成矿最有利^[14]。

为了在沉积岩地区开展工作，需要进一步提高灵敏度和精度，目前灵敏度仍嫌不足，而误差又往往比灵敏度高一个数量级，很多沉积岩的磁化率为 $n \times 10^{-6}$ CGSM，引起的异常只有0.1—0.3 γ ，这就要求磁测灵敏度不得低于0.01 γ ^[14]。

随着仪器灵敏度的提高，影响测量精度的干扰因素也增多了，为了达到测量的高精度，必须采取措施消除这些干扰，干扰因素主要来自这样几个方面：技术性误差，导航定位误差，高度变化和日变。

1. 技术性误差^[16]最大的误差是仪器的方向变化和探头相对于载体的位移。在过去用低精度的饱和磁力仪时，这类误差是在精度范围以内的，无需考虑，而对光泵磁力仪来说，这类误差就很大，必需予以考虑。

用KAM-28光泵磁力仪在ИЛ-14飞机上作航空磁测时，飞行速度200—220公里/小时，发现电缆比吊舱的承风率还大，振动得很厉害，因此使所测磁场附加上飞机的干扰场，而且逐点不同，改用飞行较慢的飞机后，干扰就小多了。但如进一步提高仪器的灵敏度，探头稍有摆动，引起的误差就会超过灵敏度几倍，因此正在研究改进探头的空气动力学特性并研制记录探头相对载体运动的装置。

KAM-28的转向差曲线幅度可达6 γ ，为了消除其影响，设计了专门的补偿器，使航向变化 $\pm 10^\circ$ — 20° 时转向差梯度最小，补偿器的电流针对不同的航向加以选择。

2. 导航定位误差^[16]定位误差对高灵敏度航磁仪影响很大，由于定位不准所产生的误差为：其中A—异常幅度，h—观测面与地质体的距离，dx—平面定置误差。

$$d_{HT} = 0.4 \frac{A}{h} dx$$

其中：A—异常幅度，h—观测面与地质体的距离，dx—平面定位误差。

为了减少误差，只靠加密地物标志是不行的，因此在标志之间飞行速度会有改变，而且加密标志在某些地区也很难做到。如果飞行速度改变15公里/小时（允许速度改变30公里/小时），则只是由于地磁场正常场所引起的测量误差就达0.5 γ 。

用现代的无线电测量系统，航线上的定位是靠自动打标（每30秒），这样大大提高了定位精度。按照预定航线自动导航对航磁是很重要的，过去按航空照片目视领航误差很大，地球正常场在南北方向每100米变化0.6%，有时达到1%，所以偏航100米就差1%，如果测量精度规定为0.1%，就要求导航精度优于10米。全苏地球物理勘探方法研究所等单位研制的无线电导航仪可以达到这样的精度。

3. 飞机高度误差^[16]只是由地磁场的正常场引起的误差就有0.03%/米，如果存在局部异常，则误差还能大两个数量级，因此必须有自动记录绝对和相对高度的仪器。全苏地球物理勘探方法研究所研制出一种弹簧气压计，在低空测相对高度的精度达1米，目前正在研制三分量无线电测量系统。

4. 日变^[17]在高精度磁测工作中，对日变改正也提出了新的技术要求。为了研究日变化规律，苏联在1975—1978年期间用一组光泵日变站，作了7000小时的观测。

总的来说，磁场变化分为平静的和扰动的两种，前者变化平缓，有周期性，后者时空变化大，有周期性的也有非周期性的。周期性的分为Pc（正弦，似正弦波）、Pi（非规则变化），非周期性的为磁暴（Dst），此外还有一种正负半周期的正弦波（一般从几十分到2—3小时）称为准磁暴或DPI。短周期磁场变化的分类见下表：

Pc		Pi	
分 组	周期（秒）	分 组	周期（秒）
Pc ₁	0.25—5	Pi ₁	1—40
Pc ₂	5—10	Pi ₂	40—150
Pc ₃	10—45	Pi ₃	>150
Pc ₄	45—150		
Pc ₅	150—600		
Pc ₆	>600		

随着经纬度不同，有些相近地区的日变站，所测周期与幅度变化很大，原因不清，可能的原因有地球构造和深部过程，局部地区高导磁，高导电岩石的分布、海岸效应（在海岸两侧10公里内日变幅度变化可达15—30%）等。

分析了各种校正日变的方法，包括基点网法，设立一、二、三个日变站。经过实验，得出在采用不同估算日变的方法时，允许采用同一日变资料的测区面积（见下表）。

过去在进行较低精度的磁测时，对采用什么方法进行日变改正无严格要求，例如不论测区面积多大往往只设一个日变站，在采用高精度磁测时，就应当按上表的要求估算日变。在地磁场变化特别大的地方，允许使用不均匀基点网，将基线布置在最平静的场中。