

地质科技资料选编 (一二五)

国外环境地球化学 研究与勘查方法专集

(化探资料选编之九)

地质矿产部情报研究所编
一九八九年十月

前 言

地球化学找矿(化探)自三十年代诞生以来,经过半个多世纪的发展,积累了巨大数量的资料,方法技术不断更新,理论体系日臻完善,强有力地影响着相邻学科的发展,也从相邻学科吸收了丰富的营养。时至今日,化探已经从早期的一种找矿方法,发展成为一门不仅涉及矿产“直接”普查问题,而且涉及区域地质调查和矿产地质研究,环境地质及环境监测,农业、考古学和矿物工艺学等诸多领域的独立学科——勘查地球化学。已有的实践证明,勘查地球化学的方法和原理在解决上述各领域的问题时,有广阔的远景和巨大的潜力,特别是在环境和农牧业研究中,有着其独到的特点,起着无可替代的作用。与环境保护部门的常规做法相比,勘查地球化学的方法和理论可以扩展和深化环境问题的研究,从而开拓了地球化学勘查的一个新的研究领域,也为解决环境问题找到一个有力的武器。

本专辑收入一篇综述文章和十三篇译文。所选译文主要包括以个几个方面的内容:环境地球化学及环境污染对人类健康和农牧业生产的影响;环境污染研究、监测和保护的地球化学方法;生态地球化学调查;区域化探资料在解决环境问题中的应用;地质勘探工作中的生态地球化学问题;地下水的地球化学问题;土壤地球化学及其在农业上的应用,等等。此外,还针对国内的情况,根据国外有关资料撰写了一篇详细的综述,介绍了国外有关环境地球化学勘查方法的发展历史,研究的内容和方法,地球化学方法在农业上的应用和化学元素与人类健康的关系。这些文章基本上反映了国外环境地球化学研究的状况、方法和技术以及其未来的发展趋势。

化学元素与植物、动物和人类健康的关系是环境地球化学研究的一个重要内容,我们根据有关文献编写了《化学元素在有机生命活动中的作用——环境地球化学研究的重要课题之一》,介绍了与动植物生长和人类健康密切相关的26种化学元素在有机生命活动中的作用,以及这些元素的缺少和过剩对动植物的正常生长和人类健康的可能影响。作为一个具体的研究实例,还收录了R.G.克朗斯的《硒与人类健康》。

全苏稀有元素矿物学、地球化学和结晶化学研究所现任所长Э.К.布连科夫等人在《智力圈问题与生态-地球化学调查》一文中十分强调对都市区,农业区和采矿区进行地球化学调查。通过对40多个城市的研究后指出,常规的立足于较稀的固定测点和测线网对污染物质进行动态研究既不反映各种自然介质间的相互关系,也不反映对地球生物群落和居民的影响程度,所得的信息不能准确地确定地球化学元素的释出源以及按危及生态的程度划分其影响带。而勘查地球化学方法在解决这类问题时是非常有效的。

英国著名应用地球化学家I.桑顿等人在《地球化学金属来源和污染物金属来源在自然环境中的相互作用:对社会的影响》一文里,将污染的金属来源分成两大类:来源于天然基岩和物质的地球化学源以及人为和人造金属源。并详细地论述了这两种来源的金属所造成的污染对农牧业、水资源和人类健康的影响。E.П.雅宁在《地表水流底积物中的化学元素人为分散流》一文里,将水系沉积物分成自然的背景沉积物和人为沉积物,探讨了人为分散流的

空间特征，人为淤泥中化学元素的存在形式，并利用人为分散流来评价人为污染源的类型和规模。

本专辑还从Ф.Я.萨普雷金所著的《土壤地球化学与环境保护》一书选译了四个章节，主要介绍苏联土壤地球化学的研究成果及其在农业上的应用。

自开展化探情报研究工作以来，在地矿部情报所刊物上先后发表了相当数量的化探文献。这些文献有些发表在所级刊物《地质参考资料》、《地质科技动态》和《国外地质科技》上，有些发表在不定期刊物（如《化探资料选编》等）上，还有些则发表在专著（如《苏联固体矿产化探规范》等）上。为了帮助读者查阅，我们在书末给出了《1979—1988年地质矿产部情报研究所出版物主要化探文献索引》。若要了解1979年以前的化探文献，请查阅《化探资料选编(六)》。

由于编者的水平所限，在选题、翻译、校对和编辑加工过程中难免有种种不足和错误，恳请读者批评指正。

地质矿产部情报研究所方法室化探组

1989.8.25

目 录

前言

环境地球化学勘查方法及其应用.....	(1)
智力圈问题与生态地球化学调查.....	(25)
化学元素在有机生命活动中的作用——环境地球化学研究的重要课题之一.....	(32)
硒与人类健康.....	(41)
美国纽约州阿迪朗达克森林保护区克兰伯里湖中的汞.....	(46)
地球化学金属来源和污染物金属来源在自然	
环境中的相互作用：对社会的影响.....	(53)
地表水流底积物中的化学元素人为分散流.....	(70)
饮用地下水的当代地球化学问题.....	(78)
用地表水中钼含量的区域地球化学勘查数据来鉴别环境敏感地区.....	(88)
美国俄亥俄州阿什塔比拉县阿什塔比拉地区Hg污染的再次调查.....	(101)
利用挥发性卤素有机化合物总含量指标作为水体人为污染程度的指示标志.....	(110)
贝类用作海洋环境地球化学指示生物潜力.....	(113)
地质勘探工作中生态-地球化学调查的方法基础.....	(121)
土壤地球化学与环境保护.....	(125)
(一) 土壤生物地球化学区划的原则.....	(125)
(二) 根据微量元素成分对土被作地球化学区划.....	(129)
(三) 中比例尺土壤-地球化学图是规划用地球化学方法作土壤结构改良的基础.....	(143)
(四) 大比例尺土壤-地球化学图是农业地球化学结构改良的基础.....	(149)
附录：地质矿产部情报研究所出版物主要化探文献索引 (1979—1988)	(156)

环境地球化学勘查方法及其应用

地矿部情报所方法室化探组

前言

随着近代工农业生产的发展,环境污染的危害变得日益严重,特别是第二次世界大战之后,社会生产力突飞猛进,许多工业发达国家普遍发生现代工业发展所带来的范围更大,情况更加严重的环境污染问题。1952年,伦敦烟雾在四天内造成四千多人死亡。在日本,接连查明水俣病、痛疼病、四日市哮喘等工业污染造成的公害病。到了七十年代,人们进一步认识到环境问题的重要性,而且地球上人类生存的生态环境正在日益恶化,造成诸如癌症等严重疾病和一些地方性疾病。这对当代社会提出了严重的挑战,也直接威胁着人类的生存。为此,人们对其赖以生存的环境的研究日益重视,并通过各种方法和手段来解决环境问题。

早在罗马时代,人们就认识到那些正在开采的汞矿山的工业危害,据认为,罗马当局关闭意大利北部阿米亚塔山的矿山并从西班牙进口汞,可能是为了防止意大利工人汞中毒,或是为了避免破坏意大利的景观。N. 博莱斯(1758)在谈到康沃尔郡早期金属矿产开采时指出,土地最贫瘠的地方金属矿产最丰富,而另一方面,谷物、牧草、植物和树木最丰盛的地方却从未有过金属矿或非金属矿。在康沃尔郡,海滨砂经常用作土壤改良剂。但是,博莱斯指出,如果砂子含有矿山废物的话,这种砂子就不能再使用了,因为“其中有毒的矿液是植物的死敌”。J.法里(1811)在论述德比郡的矿业和农业时,描述了早期的冶炼技术,并提到了从化铁炉中散发出来的有毒气体毒害了这些化铁炉周围1/4英里或更大范围内的牧草。法里(1817)还描述了德比郡当地叫做“Belland”的牛中毒症,而这种病则是由于长期在铅冶炼炉附近放牧而引起的。羊、鸡和狗等小动物也会发生铅中毒。但是,以上的研究仅是对环境事件表面的定性描述,没有进行定量的研究。

1919年,K.A.卡彭特对铅矿开采污染对威尔士的阿伯里斯特威期地区河流动物和植物的影响进行了研究,并详细地描述了一些河流中动物与水中和水系沉积物中铅含量的关系。首次对环境及其影响进行了定量研究。此后有关环境问题的研究日益增多。对此,各国的环保部门作了大量的工作,并制定了环境质量评价指数来综合评价环境质量。Horton(1965)最早提出水质质量指数(WQI),M.H.Green(1966)最早提出大气质量指数(AQI),H.英哈伯(1974)提出了综合各类指数的“总环境质量指数”。所有这些研究主要由环境科学家针对人为活动引起的次生环境的污染问题进行的。

随着研究的深入,人们了解到,不仅有人为活动引起的次生环境污染问题,而且有来源于天然介质的原生污染问题,如富含某些元素的岩体或矿体的风化会引起土壤、水系沉积物和水的污染。由于常规的环境研究方法对发现和解决这些问题是难以胜任的,人们开始寻找新的方法和手段来解决原生环境问题。

地球化学勘查是一种经济、快速、有效的找矿方法，自三十年代出现至今虽仅有五十多年的历史，但是在找矿，尤其是找金属矿中已经起到了无可替代的作用。随方法和技术的不断改进，这种方法的应用显示出日益增强的趋势。目前化探方法不仅用于找金属矿床，而且应用于找非金属矿床、油气、地热以及解决地质问题。后来，人们又发现地球化学方法在环境研究方面同样可以发挥其特有的作用。这就为地球化学勘查开辟了一个新的研究领域，同时也为解决环境科学问题，尤其是环境污染问题找到了一种有效的武器。

环境地球化学研究的发展

在苏联著名地球化学家 В. И. 维尔纳茨基、А. Е. 费尔斯曼和 А. П. 维诺格拉多夫等人的著作中，我们可以看到有关环境地球化学的最早论述。例如，维尔纳茨基早在1927年就为生物地球化学奠定了理论基础，而这一新兴学科的研究对象之一就是生物地球化学环境。在维尔纳茨基的倡议下，苏联于1927年建立了生物地球化学实验室。1945年，在维尔纳茨基去世后，该实验室划入地球化学和分析化学研究所，并由维诺格拉多夫负责领导。1954年后，该实验室改由著名生物地球化学专家 В. В. 科瓦爾斯基领导。这一强大的生物地球化学实验室在将近八十年的时间里，进行了大量而系统的生物地球化学研究工作。在这些工作中，生物地球化学区划工作和地球化学生态学研究对于环境研究与保护有着重要的意义。为了对苏联各加盟共和国和各州进行系统的生物地球化学区划，在全国范围内组建了总共100个区划队和分队。生物地球化学区划的一个重要方法是生物地球化学填图。在工作过程中要划分出生物地球化学区域、亚区域和省，而生物地球化学省又划分为典型的、推测的、潜在的和背景的四种。在八十年代初，科瓦爾斯基曾领导编出一幅苏联生物地球化学区划略图。

在苏联，从事环境地球化学研究的不仅是生物地球化学工作者。在长期的地球化学普查方法的研究和实际应用中，许多化探专家和人员都在不同程度上涉及环境污染和环境保护问题。从七十年代起，全苏地质研究所的化探人员就与国立列宁格勒的土壤学家、西北土地利用设计院的土地规划工作者以及北方水利工程和土壤改良研究所的土壤改良工作者等联合对苏联西北部地区作了广泛的农业地球化学调查工作，编出《1:60万列宁格勒州农业化学图》、《1:60万列宁格勒州土壤和成壤岩石地球化学图》、《1:60万列宁格勒州土被地球化学区划图》以及其它系列图件。这些研究成果在农业土壤改良、提高农作物产量、研究和保护环境方面发挥了巨大的作用。与此同时，作为苏联化探科研中心的全苏稀有元素矿物学、地球化学和结晶化学研究所也开展了多方面的环境地球化学工作。例如，该所的研究人员在城市环境、旅游休养地环境、矿山冶金企业环境、农产品基地环境等方面做了大量的工作，为城乡建设和工农业生产提供服务。1982年，该所的科研人员先后编写和出版了《用地球化学方法研究环境》、《有关地表水流化学元素污染的地球化学评价的方法建议》、《有关城区化学元素污染的地球化学评价的方法建议》等指南性著作，对推动环境地球化学研究工作起了很好的作用。此外，其它地球化学科研和生产部门也在不同方面进行了环境研究工作。

在西方，从本世纪五十年代初J. 韦布建立了应用地球化学研究部以来，该部对环境地球化学勘查的发展做出了卓越的贡献。六十年代初，韦布等人对利默里克郡进行了研究，在 200 km^2 的范围内进行了水系沉积物地球化学测量，并确定了水系沉积物中元素分布模式与

当地土壤和牧草中元素含量之间的关系，特别是Se、Mo的分布对家畜健康的影响。在不列颠岛15000平方英里的范围内进行的试验地球化学测量指示了绵羊的缺钴症(Webb, 1964)，牛的硒中毒和钼高引起的缺钼症(Webb等, 1964, 1965; Thornton, 1968)，家畜的砷和铅中毒，人工种植的云杉缺铜症和缺锰症，谷物缺锰症(Thornton, 1968)分别与水系沉积物中相应元素的分布密切相关，大范围的地球化学图是确定发生上述症状的地区的有力工具。1965年，应用地球化学研究部在英格兰和威尔士2800多平方公里的范围内进行了实验地球化学测量。六十年代中期，应用地球化学研究部在北爱尔兰进行了大规模的地球化学测量，1973年出版了《北爱尔兰试验地球化学图集》。这个共有二十种元素的图集为解决环境问题提供了一种有力的工具。实践证明，应用大规模的地球化学图集来研究环境问题是十分有效的。1978年，应用地球化学研究部又出版了《英格兰和威尔士沃尔夫森地球化学图集》。这个包括环境和污染科学家极为关注的几种元素(如Pb、Cd、As等)在内的计算机制成的24种元素彩色图集，部分地满足了研究有关元素在区域和全国范围内分布及其对植物、动物和人类健康的可能影响所需要的系统资料，并使得应用地球化学研究部在过去的十几年里对这些元素与农业、供水、港湾渔业、城市污染和公共卫生的关系进行解释和评价方面的研究成果大量涌现。现在应用地球化学研究部已经开始应用该图集来研究自然元素污染源和人为元素污染源对土壤细菌和室内环境的影响。英国地质科学研究所地球化学部于1968年在设德兰群岛进行了地球化学测量，并于1978年出版了《设德兰岛区域地球化学图集》。印度尼西亚于1975年在苏门答腊进行了区域地球化学测量，并于1978年出版了《印度尼西亚区域地球化学系列图集——北苏门答腊部分》。1977年，联邦地调所对西德进行了系统的多元素地球化学调查，平均采样密度为每3平方公里一个样，共采水样8万个，水系沉积物样近7万个，分析了29种元素。1985年，出版了《德意志联邦共和国地球化学图集——重金属在河水与水系沉积物中的分布》。1980年，芬兰、挪威和瑞典的地质调查所联合在北苏诺斯坎迪亚地区进行了地球化学测量，并于1986年出版了《北苏诺斯坎迪亚地区区域地球化学图集》。这是第一次几国联合进行的跨国界的区域地球化学测量。美国和加拿大也做了大面积的区域地球化学测量工作。目前地球化学家们正在探讨在世界范围内进行地球化学填图的可行性和一些技术问题，以便在全球范围内进行系统的地球化学测量，主要目的之一就是解决环境问题。

在最近的二十多年里，有关环境地球化学的国际会议日益增多。美国地质学会于1963年11月在纽约召开了第一次“地质学和微量元素与营养的关系”讨论会，会后发表了专报，并于次年继续召开了两次同样的会议。1963年12月，在美国的达拉斯召开了“环境地球化学与健康与疾病”的学术讨论会。在这次会上，来自地球化学、化学、土壤学、地理学、流行病学、病理学、生物化学、营养学和牙科医学的科学家们极力主张建立一个发展环境地球化学的学术团体。1970年6月，密苏里大学召开医学地质会议，讨论了微量元素与环境健康的关系。1970年12月，由美国地质学会、美国地球物理联合会地质和地理组主持，在芝加哥召开了“微量金属元素地球化学环境与健康与疾病”讨论会。1971年9月，由国际地球化学及宇宙化学协会(IAGC)主持在日本东京召开了“国际水地球化学和生物地球化学会议”，会上讨论了环境污染与人类生活关系问题。1972年8月，在加拿大蒙特利尔召开第24届国际地质学会，会上提出“地质与人类生活”的专门议题。1972年夏，在瑞典斯德哥尔摩召开国际环

境会议。其后，这方面的会议就更多了，其中较重要的有：美国地球化学协会1973年在犹它州召开的环境生物地球化学会议；1976年6月在香港召开的“东南亚的地质和环境”会议；1978年召开的第三届环境生物地球化学国际讨论会；1983年10月在莫斯科召开的首届国际生物圈会议等。

1983年，韦布的学生和同事为了纪念他在应用地球化学领域所做的卓越贡献，在伦敦帝国大学召开了一个学术讨论会，其中包括环境地球化学专题。会上讨论了环境中地球化学源以及采矿、冶炼和其他工业生产的污染源通过土壤—植物—动物的关系对生物群落产生的影响，金属污染物对氮循环细菌的影响，细菌对自然界和受金属污染的富金属地区金属的抵抗力问题。会上讨论了使用贝类动物作为海洋环境中微量金属污染的监测生物的可能性和问题。为了纪念V.M.戈尔德施密特诞辰100周年，地球化学学会1988年5月在巴尔的摩召开了“V.M.戈尔德施密特学术讨论会”，会议包括环境地球化学专题讨论会和国际地球化学填图专题讨论会。会上，科学家们介绍了区域地球化学图在环境污染及流行病学上的应用，以及在全球范围内进行地球化学填图的可能性和技术问题。会议所取得的一个重要的进展就是决定成立国际地质协作项目259号：全球地球化学填图。这项计划的实施必将给环境地球化学研究产生深远的影响。

环境地球化学研究的内容

用地球化学方法来解决环境问题是勘查地球化学的一个新课题。地球化学方法在环境中所能起的作用和所能解决的问题更为人们所关注。H.L.坎农等(1971)在题为“地球化学家致力于污染问题”的文章中提出地球化学家能在环境卫生的研究中解决以下几方面的问题：

1. 提供未被污染的自然地质环境中可能存在的每一种化学元素背景含量的资料。
2. 由富含金属的岩石以及来源于它们的搬运物质造成的土壤和植物中异常高金属含量方面的有关信息。
3. 空气污染对土壤和植物中元素背景含量的影响。
4. 土壤和土壤溶液的地球化学，以及元素及其化合物通过地表水和地下水的运移作用。
5. 采矿和选矿废弃物的化学组分，以及这些组分的溶解度，后者决定它们在原地滞留或通过当地水系扩散。

戎秋涛认为，环境地球化学所要解决的问题有：

1. 研究元素在生命圈层的各部分，特别是岩石、土壤、水体和大气中的含量和分布，阐明其分配规律，评价原生环境质量，为改善原生环境提供依据。
2. 研究个别元素和元素对的环境地球化学行为，即研究对人类有益或有害元素以及生命元素的赋存规律、结合形态及其对人类健康的影响。
3. 研究区域环境地球化学特征，揭示与原生环境有关的地方性疾病的发生原因，探讨人类长寿的环境地球化学因素。
4. 为了解和改善自然环境而进行的环境地球化学基础性研究，其中包括原始地球的环境及其演化，元素的环境地球化学分类，元素演化过程中能量的作用，元素环境背景值的确定，原生环境质量评价以及人类活动对自然环境的影响及其预测。

上述两人的总结归纳基本上给出了环境地球化学的主要研究内容和解决的问题。环境地球化学是一门新兴的,至今尚不完善的边缘科学,从出现至今仅几十年的历史,它的许多方面尚未成熟,有的还正在发展中。随着环境地球化学的发展,它的研究方法、研究内容和所能解决的问题也必将得到进一步扩展和深化。

本文侧重于原生和次生环境质量研究、自然污染源和人为污染源造成的环境污染情况和对这些污染的勘查,有益和有害元素的分布和分配规律及对农业、牧业和人类健康的影响等,特别是如何应用现有的以找矿为目的常规地球化学资料来解决环境问题。

下面将分别介绍这些内容。

环境地球化学的研究方法

环境地球化学研究的方法与以找矿为目的的常规地球化学方法有许多相同之处,如韦布1965年在利默里克郡针对农业问题所进行的地球化学勘查,完全是按照常规的水系沉积物地球化学测量方法进行的。因此,现有的化探资料就可以用来解决一些环境问题。例如,应用地球化学研究部在英格兰和威尔士进行的试验地球化学测量不仅应用于找矿上,而且用来确定自然的和人为的污染区域,解决一些农业、公共卫生等环境方面的问题。但是,由于环境地球化学本身的特点和研究目的的不同,从采样、数据处理到成果解释都与常规地球化学方法有些不同之处。

1. 采样介质

环境地球化学勘查因研究目的和所采用的方法不同而选取不同采样介质,主要有岩石、土壤、水系沉积物和水(包括地表水和地下水)。除此之外,还可以根据研究的需要而采取一些其他介质。例如H.L.格拉斯代尔在研究美国亚特兰大市的污染问题时,为了确定过去的几十年里每年的污染情况,对树的不同年轮层分别进行取样,并分析各层的铅含量,据此确定每年的污染情况。此外,人和动物的毛发、血液、组织、器官等也可以是采样对象。下面将环境地球化学调查中主要采样介质作一简要介绍。

岩石 岩石地球化学测量主要用于原生环境的地球化学调查,其采样方法与常规化探方法完全相同。实际上,现有的区域岩石地球化学资料就可以用于环境研究。

土壤和水系沉积物 土壤和水系沉积物地球化学测量的采样方法简单、效率高、元素在样品中的分布均匀,单个样品控制面积大,样品加工处理方便,分析方法成熟,样品稳定性好,便于保存和重复利用,加工费用也较低,因此它是环境地球化学测量中最常用的方法。

土壤一般分成A、B、C三层,常规化探为了避免表层的人为污染和自然淋滤作用使某些元素含量降低而多采于B层,而对于环境地球化学测量来说,就应根据研究目的不同而选取不同的层位。在研究环境地球化学背景、元素的地球化学分布模式和来源于自然物质(如岩石、矿化体)的污染情况时,就应该避开和排除人为活动和生物作用的偶然因素而采集耕作层下面的B层土壤。但是当研究矿产开采、冶炼、工农业生产和城市污水、垃圾等人为因素而引起的环境污染时,就应采取表层土壤。

水系沉积物单个样品控制的面积比较大,样品中元素的含量反映了取样点上游的汇水盆

地内累积的综合特征。根据水系沉积物的来源不同可以把它分成两部分，一是来源于上游岩石风化产物、土壤等自然冲积物质，其化学成分反映了上游基岩的特征，这也是常规化探的采样介质。在环境地球化学勘查中，若研究自然背景和自然污染源所造成的污染，就应该采取这种水系沉积物。另一类是上游人为活动造成的人为淤泥。人为淤泥的特点是粒度细、塑性高，有时具有凝胶状、油状、特殊的气味和较暗的色泽。不同规模的城镇、不同类型的工业所造成的下游人为淤泥的微量元素组合、元素的富集程度是不同的；反之，根据人为淤泥的这些特征可以评价过去和现在人为污染源的类型和污染的程度。因此它是研究人为污染情况的最佳样品介质。

水 包括地表水和地下水。水是元素在生物地球化学循环中迁移的最主要运载介质。地下水中元素的含量比较稳定，是研究水化学背景和元素背景分布等问题的最主要样品介质。但是采取地下水样有时是受许多限制的，如地下水露头和水井的分布等。

地表水特别是河水的微量元素含量变化非常大，所受的影响也比较多。P.J.多伊尔等人在加拿大不列颠哥伦比亚地区的研究成果表明，由于各季节和每年的降雨量、河流补给量不同，会引起河流流量的变化。而河水中铀含量与河流流量呈负相关关系。在河流流量最小的冬季，河水中铀含量最高，常常大于饮用水的最大允许的铀含量20 ppb。但是河水是人们主要的灌溉和饮用水源，河水中微量元素的含量与人类健康和农牧业生产密切相关，且河水样品易于采取，分布也较广泛，因此河水是环境地球化学研究的主要对象之一。

生物 生物地球化学找矿已有四十多年的历史，也已经报道过许多成功的案例。近来发现利用生物地球化学方法来研究环境问题是行之有效的，也是其他方法所无法代替的，因为：

1) 许多生物（动物、植物）是人类直接的食物，有害元素和污染物在它们体内的聚积可以对人类健康产生直接的损害，因此了解动植物体对有害元素和污染物的吸收，贮存以及它们的分布和含量对于食用它们的人类来说是至关重要的。

2) 许多动植物对某些元素具有聚积作用，可以作为元素和某些污染物时、空分布的指示生物。某些水生指示生物的污染物和微量元素的含量比水和水底沉积物的含量高，也比较稳定，因此用它们来监测水体的污染情况比水系沉积物和水样更灵敏、有效。

3) 岩石、土壤、水中有害物质和有毒元素的分布以及对农作物生长、动物的健康的可能影响，是以农作物的生物体内这些物质含量为标志的。直接测试生物体内这些物质的含量比间接分析岩石、土壤、水等中间媒介物更有效，因为有毒元素在岩石→土壤→水→生物的运移过程中，受到生物屏障作用和其他物理化学因素的限制，最后到达生物体内的仅是一小部分。例如I.桑顿等人的研究成果表明，植物地上部分Cd含量不到土壤含量的3%。

生物地球化学方法在解决环境问题中的重要性已被认识，并作为一种有效的方法得以广泛的应用。1969—1972年，斯克鲁泰特等人在纽约州的湖和河里采集了3500多条鱼，并分析了鱼体内的汞含量。研究发现，奥农多加湖中大多数鱼体内的汞含量大于 $1.0\mu\text{g/g}$ ，这是因为附近的氯仿—碱厂富汞废水造成湖水汞污染所致。阿迪朗达克的两个湖（克兰伯里湖和斯蒂尔沃特水库）里小口鲈鱼的汞含量也比较高，然而对克兰伯里湖的研究却表明，该湖现在已经没有污水排入湖里，对降水、支流和湖的水样的分析也表明汞含量很低。经过对湖物钻孔样品的分析，表明在20 cm和27 cm深处有两个汞含量高的层位，它是湖内小口鲈鱼体内高含量汞的来源。这两个层位的汞来源于本世纪初流域内的木器工业和有关的工业活动。这

个研究表明, 指示生物对勘查过去形成的二次污染源的污染也是有效的。

A. 达拉科特等研究了在海洋环境中用贝类作为地球化学指示生物监测海洋污染的可能性和存在问题。他用贻贝和太平洋牡蛎对四个港湾进行了监测, 结果表明贻贝和牡蛎能较海水和海底沉积物更有效地反映出海洋污染情况。通过对这些指示生物的分析, 发现普尔港存在Cd污染。但是用贝类作指示生物也存在一些问题, 达拉科特总结了这些问题, 并提出了可能的解决方法:

1) 个体大小: 个体大小不同的贝类对金属的聚集程度是不同的, 有些贝类随个体的增大其体内元素含量降低, 如Zn、Cu、Cd在 *Crassostrea Commeritis* 体内含量随其个体的增加而降低, 有些元素和贝类种属恰好相反。解决个体大小的影响因素有三种方法, 选取个体大小相同或相近的贝类, 采集大小不同的贝类, 然后测定平均含量; 对个体大小不同的贝类分别进行分析, 然后做出含量与个体大小的回归曲线。

2) 季节变化: 随着季节的变化, 水的盐度、温度等外部参数和贝类本身的生理变化可对其体内元素含量产生较大的影响。如 *Mytilus edulis* 体内的Zn含量在产卵前最高, 对此菲利普斯提出的解决方法是在同样条件下采集贝类, 最好是产卵前1—3个月, 这时软组织最重, 元素含量最低, 也最稳定, 达拉科特建议用幼贝放入所监测的港湾, 经过一段时间后再取出测量其体内元素的含量。西姆克斯等人提出用单组织分析法。英国的海洋监测计划就采用了菲利普斯的方法。

3) 采样位置: 位于不同潮汐带上的贝类所受环境因素的影响不同, 对元素的聚集程度也不同。为了减少这种影响, 可采用同样位置上的贝类。如英国海洋监测计划就是采用在每次潮汐中暴露了六个小时的贝类。

4) 动物体内元素的相互作用: 不同的元素之间是相互影响、相互作用的。贝类体内一些元素含量高会限制贝类对另外一些元素的吸收, 例如贝类体内Zn、Cd含量高会限制它对Cu的吸收。

虽然用贝类作为海洋污染监测的指示生物受到上述种种条件的影响和限制, 但是它比海水和海底沉积物更稳定、更清晰地反映出海洋的污染情况, 因此它是监测海洋污染的重要指示生物。

2. 自然污染的地球化学勘查

总的来说, 环境中污染元素的来源有两种, 即自然地球化学污染源和人为污染源。自然地球化学污染源是指富含某些元素的岩体和矿化体, 它们在自然地质营力的作用下释放出污染元素。人为污染源是指人为活动所形成的污染源, 如采矿和冶炼、工业排放物、居民垃圾、污水淤泥和农业废物、化肥、土壤改良剂、农药以及城市发展和车辆排放的废气等。

根据“一切自然物质中都含有所有的元素”这一元素普存定律, 各种对人类有害的元素都少量地存在于岩石、土壤、水、空气和食物中。在一些特定的地区里, 某些基岩和矿体特别富含一些元素, 如玄武质火山岩中的Cr和Ni, 一些海相黑色页岩中的Cd和Mo, 矿体中的成矿元素和伴生元素。这些岩石和矿体在自然地质营力作用下在原地形成残积土壤, 并有部分被地表和地下水搬运和沉积, 在此过程中, 原岩和矿体中的一些有害元素就可在土壤、水系沉积物和水体里发生富集, 从而形成自然污染源的环境污染。这种类型的污染主要取决于

下伏地质体的地球化学特征、地质体的分布和该区所处的地理环境。污染的面积主要由岩体和岩层的出露面积和岩石中元素含量所决定, 污染的强度变化较大。

要确定这类污染的范围和污染强度, 常规的环境监测方法由于采样少, 样品的分布不均匀等条件的限制, 是难以胜任的。而地球化学勘查对于测量这种类型的污染是很有效的。这是由区域化探的采样多、样品分布均匀、控制的面积大、分析的元素多、分析的精度高等特点所决定的。例如以目前我国实行的1:20万区域化探为例, 采样密度是1—2个点/ km^2 , 分析的元素多达39种, 分析的精度均达到克拉克值以下, 这样的资料对于环境勘查来说是绰绰有余的。

环境地球化学勘查和常规的地球化学找矿的原理是一致的, 都是寻找自然条件下某些元素的富集带, 只是选定背景上限不同罢了。在地球化学找矿中, 一般是以经过某种数据处理后的元素均值加(减)二倍方差作背景上(下)限, 圈出的就是地球化学异常, 通过异常来找矿。而在环境地球化学勘查中, 常以某一元素对农作物、动物产生有害影响的界限为背景上限, 圈出的就是污染区, 正如地球化学找矿中有负异常一样, 在环境地球化学勘查中, 某些动、植物正常生长所必需的微量元素的含量低于某个界限时, 就会对植物的非常生长和发育造成损害, 因此就以这个界限为背景下限, 低于此值的就是有益元素缺乏区。

综上所述, 我们知道, 自然污染的地球化学勘查和常规的地球化学找矿的方法和原理实质上是一样的, 区别仅是研究对象和目的不同而已, 因此利用地球化学找矿技术进行环境勘查是非常有效的, 实际上现有的区域化探资料, 特别是中、小比例尺的区化资料和图集(如我国的1:20万区域化探资料)等就可以直接应用于环境研究中。

3. 人为污染的地球化学勘查

Jerome O. Nriagu等人(1988)定量地研究了全球各种污染源的微量金属元素对大气、土壤的污染情况(表1和表2)后指出: “人类活动已经成为微量元素的全球生物地球化学循环的最主要因素”。人为因素引起进入大气的微量金属已达(单位是千吨/年)120 As, 30 Cd, 2150 Cu, 11 Hg, 110 Mo, 470 Ni, 1160 Pb, 72 Sb, 71 V, 2340 Zn。每年都有数百万吨“新的”金属从矿山散发出来, 并重新分布在生物圈里。有毒元素通过土壤、水和空气循环大幅度增加, 最终不可避免地进入到人类食物链中, 这就留下了大量未知的对人类健康和农牧业生产有潜在影响的环境问题。

这种类型的污染一直是环保部门研究的重点。有关环境污染以及矿产开采、加工等对行业工人和居民健康的影响, 很早就有了记载。但是正如布连科夫指出的那样, 常规的环境监测方法提供的人为污染的化学元素含量信息, 不能准确地确定化学元素的释放源以及按危及生态的程度划分出影响带。现有的监测系统既不反映各种自然介质间的相互关系, 也不反映(污染)对地球生物群落和居民的影响程度, 以及生物群落和居民对这种影响的反映。

造成这种情况的原因是传统的立足于较稀的固定测点和测线网对污染物质进行监测的方法。要解决这方面问题, 最重要的就是要使对污染现象的时空描述与监测范围(比例尺)在原则上统一起来。因为人为污染源及其对生物机体的危害是复杂多变的, 必须根据一些定量参数详细划分有害作用带的空间结构, 地球化学方法是可以满足这种要求的, 这是因为地球化学方法的特点和人为污染的本身性质所决定的, 人为污染的范围和强度常常是大于矿田或

矿床形成的异常。

利用地球化学方法可以解决以下几个方面的具体问题：

1. 对人为污染源及其形成的环境污染进行定性和定量评价。
2. 人为活动引起的分散晕和分散流的定性和定量评价。
3. 污染带内生物的生物地球化学和生物学反映。
4. 为制定环境保护措施服务。
5. 为治理污染提供依据。

但是，以找矿为目的的现有常规化探资料，对于确定这类污染不如对自然污染那样有效，因为人为活动所引起的土壤、植物、水系和水系沉积的污染，对地球化学找矿是一种干扰，人们采取种种方法来避开这种污染。因此现有的化探资料常常低估（至甚漏掉）这种污染的范围和强度。

地球化学方法在农业上的应用

农作物生长发育过程中需要不断地从外界吸收养分，以获得构成作物机体所需的各种元素。根据联合国粮农组织的推荐，作物需要的营养元素一共有16种，即碳、氧、氢、氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、铜、硼、锌、钼、硫，其中除碳、氧和氢主要通过空气和水获得外，其余元素主要从土壤中获得。据农作物对这些元素的需要程度可分为：

一级营养元素：N、P、K

二级营养元素：Ca、Mg、S

微量营养元素：Fe、Mn、Cu、B、Zn、Mo、Cl

每种营养元素对农作物都有它独特的作用。我们主要是研究微量元素，尽管作物对它们的需要量很少，但它们对作物的正常生长和发育是至关重要的，缺少某种微量元素，作物的正常生长就会受到影响。

除上述营养元素外，还有一种对作物具毒害作用的元素，如Cd、Sr、As、Hg、U等。例如，土壤中Cd含量高会破坏植物的正常磷代谢，使叶片退绿，引起黄萎病。

植物主要是通过土壤和灌溉水来获取上述营养元素和有毒元素。因此，研究土壤和水中国元素的分布和行为的地球化学方法在农业上有着广泛的应用。

1. 根据微量元素的区域分布进行土壤地球化学区划

土壤地球化学区划在农业上具有重要意义，而区域地球化学资料可以作为区划的依据。这方面的研究以苏联最为系统。例如，A.Π.维诺格拉多夫等以地球化学环境与生物的特性和生物化学特性的一致性为依据，对苏联进行了系统的土壤生物地球化学区划。

土壤地球化学区划的单位由大到小的顺序依次为：生物地球化学带、生物地球化学省、生物地球化学域、生物地球化学区，还可以再详细地分为亚区和微区。

2. 中比例尺土壤-地球化学图在农业上的应用

为了规划土壤结构改良必须对土壤进行土壤-地球化学填图（1:60万或1:100万），以便确定土壤的天然特性及其优缺点（结构、水-物理特性和农业化学特征、对植物生命活动影响

表1 散发到土壤和水中

来源	As	Cd	Cr	Cu	Hg
水 (ng l^{-1})					
居民废水					
中心地区	0.02-0.09	0.002-0.02	0.09-0.4	0.05-0.2	0-0.002
非中心地区	0.02-0.12	0.005-0.02	0.1-0.7	0.07-0.5	0-0.007
水电	0.4-0.12	0.001-0.04	0.5-1.4	0.6-3.8	0-0.6
贱金属采矿和加工	0.04-1.5	0.001-0.6	0.008-1.4	0.2-18	0-0.3
钢铁和非有色金属冶炼和精炼					
	0.5-6.4	0.004-1.8	1.5-10	1.2-8.5	0.001-0.002
加工					
金属	0.01-0.06	0.02-0.07	0.6-2.3	0.4-15	0-0.03
化学物质	0.12-1.4	0.02-0.5	0.5-4.8	0.2-3.6	0.004-0.3
纸浆和纸	0-0.3	—	0.004-0.5	0.01-0.13	—
石油产品	0.002-0.2	0-0.04	0.001-0.7	0.002-0.2	0-0.08
土壤 ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
农业和食物废弃物	0-0.4	0-0.2	0.3-6.0	0.2-2.5	0-0.1
动物粪便和肥料	0.6-2.2	0.1-0.6	5.0-30	7.0-40	0-0.1
伐木和其它废弃木	0-0.3	0-0.6	0.2-1.6	0.3-4.7	0-0.2
城市垃圾	0.2-1.6	2.0-17	15-75	30-90	0-0.6
城市污水淤泥	0.3-12	1.0-20	8-550	240-1,030	0.5-9.0
各种有机废物	0-0.25	0-0.06	0.04-2.3	0.2-2.9	0-0.02
固体废物和金属加工	0.03-0.6	0-0.2	1.7-6.3	2.5-20	0-0.1
煤灰	1.8-10	0.4-3.6	40-120	25-90	0.1-1.3
化肥	0-0.1	0.2-15	0.2-2.3	0.3-3.5	0-0.02
草灰	0.1-1.3	0-0.3	0.1-0.5	0.4-5.2	0-0.05

表2 全球范围内散布到土壤

		每年全球排放量				
来 源	($\times 10^{12}\text{kg}$)	As	Cd	Cr	Cu	Hg
农业和食物废弃物	15	0-6.0	0-3.0	4.5-90	3-38	0-1.5
动物粪便和肥料	2	1.2-4.4	0.2-1.2	10-60	14-80	0-0.2
伐木和其它废弃木	11	0-3.3	0-2.2	2.2-18	3.3-52	0-2.2
城市垃圾	440	0.09-0.7	0.88-7.5	6.6-33	13-40	0-0.26
城市污水淤泥	20	0.01-0.24	0.02-0.34	1.4-11	4.9-21	0.01-0.8
各种有机废物	210	0-0.25	0-0.01	0-0.1-0.48	0.04-0.61	—
固体废物和金属加工	380	0.01-0.21	0-0.08	0.65-2.4	0.95-7.6	0-0.08
煤 灰	3,720	6.7-37	1.5-13	149-446	93-335	0.37-4.8
化 肥	166	0-0.02	0.03-0.25	0.03-0.38	0.05-0.58	—
草 灰	375	0.04-0.5	0-0.11	0.04-0.19	0.15-2.0	0-0.02
商品生产的废弃物		36-41	0.78-1.6	305-610	395-790	0.55-0.82
大气沉降		8.4-18	2.2-8.4	5.1-38	14-36	0.63-4.3
土壤的全部输入量		52-112	5.6-38	484-1,309	541-1,367	1.6-15
中 位 数		82	22	896	954	8.3
尾 矿		7.2-11	2.7-4.1	—	262-787	0.55-2.8
冶炼熔渣和废弃物		4.5-9.0	1.6-3.2	—	395-790	0.05-0.28
陆地上全部排放量		64-132	9.9-45	—	1,198-2,944	2.2-18

的微量元素含量

Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
0.2-0.9	0-0.03	0.1-0.6	0.01-0.08	0-0.03	0-0.05	0-0.3	0.1-0.5
0.5-1.5	0-0.03	0.2-0.8	0.01-0.08	0-0.03	0-0.05	0-0.3	0.1-0.6
0.8-3.0	0.01-0.2	0.5-3.0	0.04-0.2	0-0.06	1.0-5.0	0-0.1	1.0-5.0
1.5-23	0.005-1.1	0.02-1.0	0.5-5.0	0.08-0.7	0.5-5.0	0-0.02	0.04-12
2.0-5.2			0.2-0.4				0.8-3.5
1.0-7.5	0.003-0.2	1.0-12	0.5-3.0	0.04-3.8	1.5-10	0-0.6	1.0-10
0.1-0.8	0.02-0.2	0.008-0.3	0.1-0.9	0.1-0.6	0-0.2	0-0.03	1.0-5.5
0.4-3.0	0-0.6	0.2-1.2	0.08-0.6	0.004-0.5	0-0.07	0.04-1.0	
0.01-0.15	—	0.02-0.04	0.004-0.3	0.001-0.09	0.002-0.3	—	0.03-0.5
—	—	0.004-0.2	0.003-0.4	—	0.002-0.3	—	0.01-0.8
1.0-7.5	0.6-2.0	0.4-3.0	0.1-1.8	0-0.6	0-0.5	0.2-1.5	0.8-10
25-70	2-12	1.5-18	1.6-10	0-0.43	0.2-0.7	1.0-5.5	75-160
1.6-9.5	0-0.3	0.2-2.1	0.6-7.5	0-0.5	0-0.3	0.1-0.9	1.2-15
55-320	0.5-10	5.0-23	40-150	0.3-5.0	0.1-1.5	0.2-1.2	80-120
220-540	4.0-16	25-110	140-180	2.1-10	0.3-6.9	11-73	900-2,800
0.4-3.0	0.3-1.9	0.8-15	0.08-7.6	0-0.5	0-0.4	0.5-3.6	0.6-10
1.1-13	0.03-0.4	2.2-6.5	11-28	0-0.4	0.03-0.5	0.1-0.6	7.0-50
134-445	4.1-20	15-75	12-65	0.7-6.0	1.1-16	3.0-18	30-130
0.8-5.0	0-0.1	1.2-3.3	2.5-14	0-0.03	0.1-0.6	0.2-0.8	1.6-6.5
14-45	0.4-2.0	0.6-9.4	1.2-6.8	0.1-1.2	0-1.1	0.2-4.5	0.4-9.4

中的金属 (10°Kg/年)

Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
15-112	9-30	6-45	1.5-27	0-9	0-7.5	3-22	12-150
50-140	4-24	3-36	3.2-20	0-0.8	0.4-1.4	2-11	150-320
18-104	0-3.3	2.2-23	6.6-8.2	0-5.5	0-3.3	1.1-9.9	13-65
7.0-42	0.22-4.4	2.2-10	18-62	0.22-1.3	0.04-0.62	0-0.4	22-97
4.4-11	0.08-0.32	5.0-22	2.8-9.7	0.04-0.2	0.01-0.14	0.22-1.5	18-57
0.08-0.63	0.06-0.4	0.17-3.2	0.02-1.6	0-0.11	0-0.08	0.11-0.7	0.13-2.1
0.41-4.9	0-0.16	0.84-2.5	4.1-11	0-0.16	0-0.19	0.03-0.22	2.7-19
498-1,655	15-74	56-279	45-242	2.6-22	4.1-60	11-67	112-484
0.13-0.83	0-0.02	0.20-0.55	0.42-2.3	—	0.02-0.10	0.03-0.13	0.26-1.1
5.2-17	0.15-0.75	0.22-3.5	0.45-2.6	0.04-0.45	0-0.41	0.08-1.7	0.15-3.5
100-500	0.65-3.2	6.5-32	195-390	0.8-4.0	0.1-0.2	0.6-2.8	310-620
7.4-46	0.55-4.0	11-37	202-263	1.0-3.9	1.3-2.6	3.2-21	49-135
706-2,633	30-145	106-544	479-1,113	4.7-47	6.0-76	43-222	689-2,054
1,670	88	325	796	26	41	132	1,372
—	2.1-16	22-64	130-390	16-24	0.28-0.41	1.9-14	194-620
—	3.2-6.5	32-65	195-390	8-16	0.1-0.2	2.8-6.0	310-620
—	35-168	160-673	808-1,893	29-87	6.4-77	48-242	1,193-3,294

较大的微量元素是过量还是缺少等)和可作土壤改良物的岩石。

Ф.Я.萨普雷金等人在列宁格勒州进行了1:60万土壤—地球化学填图,其中包括土壤和成壤岩石地球化学图、土被地球化学区划图和农业地球化学图。土壤和成壤岩石地球化学图显示了土被结构、土壤内部特征、成壤岩石的化学成分、微量元素的组成和它们在各类土壤中的分布。而土被地球化学图则提供了不同类型的土壤的面积分布和微量元素在土被的耕作层中的分布情况,并确定土壤中某些微量元素是不足还是过量的地区,从而施用岩肥来提高土壤的肥力。

他们将列宁格勒州划分成四个地球化学域和25个地球化学亚区,并确定了每一个亚区内有益、有害、中性微量元素的分布和迁移特征。从而可以施加岩肥来改造土壤、提高土壤肥力。

3. 大比例尺土壤地球化学图在农业上的应用

Ф.Я.萨普雷金等人在“儿童村”国营农场进行了大比例尺(1:1万)土壤地球化学填图,主要解决的问题是:①确定土壤类型;②估计各种微量元素在各类土壤中的含量和分布;③查明人类活动对土壤和潜水质量的影响。利用所编制的土壤地球化学图来解决提高土壤肥力、合理利用矿物和有机肥料、保护土壤和潜水免受这些肥料的污染等问题。

以上我们介绍了一些应用地球化学方法在农业上的应用情况。但是有一个问题必须引起注意,对植物来说,某些微量元素的供给是不足还是过量并不仅取决于这些元素在土壤中的含量,而且取决于这些元素在土壤中的活动性,也就是以活动形式存在的含量。土壤中微量元素的活动性主要取决于微量元素是否进入了矿物晶格,是否与土壤的有机质(腐殖质)、胶体(粘土)有关,还受土壤的地球化学状况和气候(季节)条件的影响。因此在研究过程中,应考虑到上述诸因素的影响。

地球化学方法在环境研究中的应用实例

利用水系沉积物测量确定家畜疾病区

1965年韦布等人对爱尔兰共和国农业研究所报导的土壤和牧草中Se、Mo含量高达有毒水平的利默里克郡250平方英里的范围内进行了水系沉积物地球化学勘查,采样密度是每平方英里一个样。样品过80目筛,然后用光谱法分析钼等15种元素,用比色法分析Se。该区地质情况和水系沉积物中Se、Mo的分布可见图1、2、3。

为了确定水系沉积物中元素分布模式与当地土壤和牧草中元素含量之间的关系,以两个圈出的高硒含量为中心,进行了更详细的研究。在5平方英里范围内系统地分析了220个土壤和牧草样,所得结果见图4和5。

图4和图5的西部,土壤中大面积的Se、Mo异常与富含金属的冰碛覆盖物和克莱尔页岩风化残积物有关。土壤异常的峰值是3000 ppm Mo和500 ppm Se。研究表明,牧草中Se、Mo的含量与土壤中这些元素的含量密切相关。

喂食了干牧草中Se含量大于5 ppm的牛和马,逐渐地显示出慢性硒中毒的症状,主要表现为体弱、掉毛和蹄子变形。在已知的有毒点A(图4),牧草中硒含量高达100 ppm, B点牧草中硒含量是5—10 ppm。以5 ppm为上限,在附近又圈出几个牧草可能有毒的地区(图

4c)。全区其余四个已知的牧草硒毒区均位于区域化探所圈出的高值异常区内（图2）。推测在异常区内还有可引起次级临床中毒症状的有毒区。

至于钼，已经有人报导过在利默里克郡有一些钼中毒的症状。干牧草中钼含量大于5 ppm和土壤中钼含量大于100 ppm被认为是有毒的界限。因此，在详细研究区的西部可能出现家畜钼中毒和由于钼含量高而引起的缺铜症。

家畜钼中毒和因钼含量高所引起的缺铜症的主要表现是“羊羔蹒跚病”，牛的腹泻、消瘦和贫血。钼含量高还可以引起一些其它的农业问题。

利用区域水系沉积物测量确定农作物缺铜区

根据1969年应用地球化学研究部在英格兰和威尔士所进行的水系沉积物地球化学测量资料（见参考文献34，P34—35），确

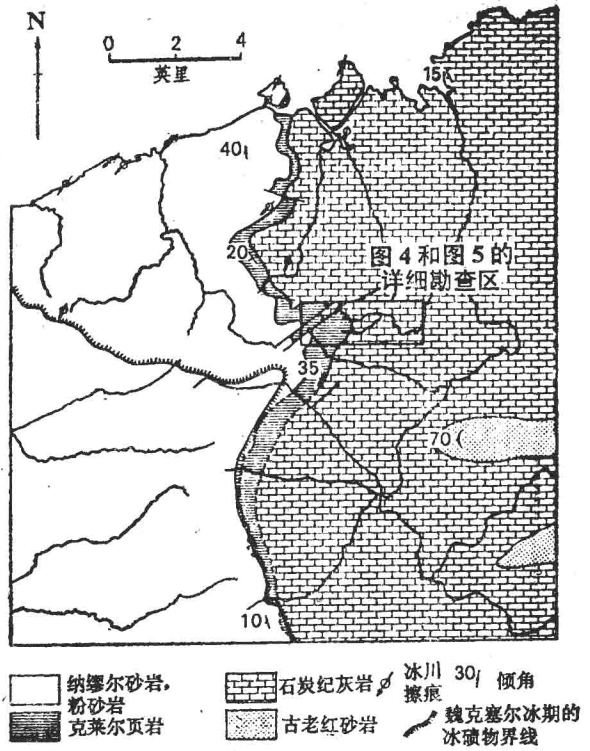


图1 利默里克郡测区地质略图

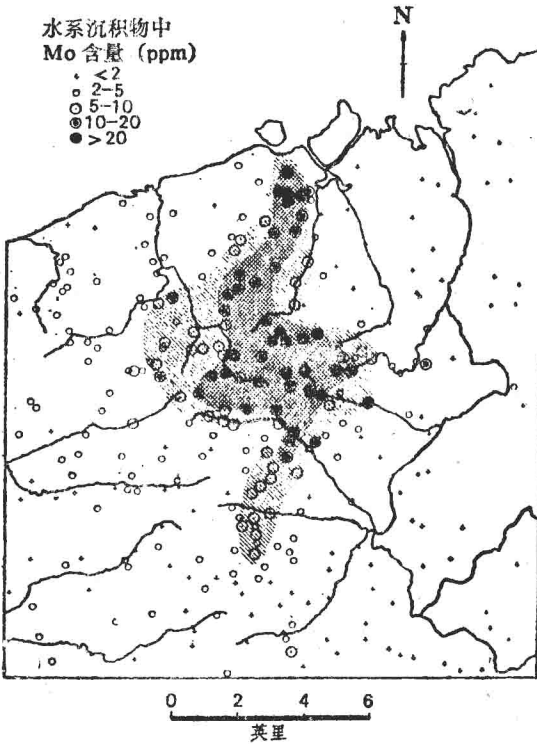


图2 水系沉积物中钼含量分布图

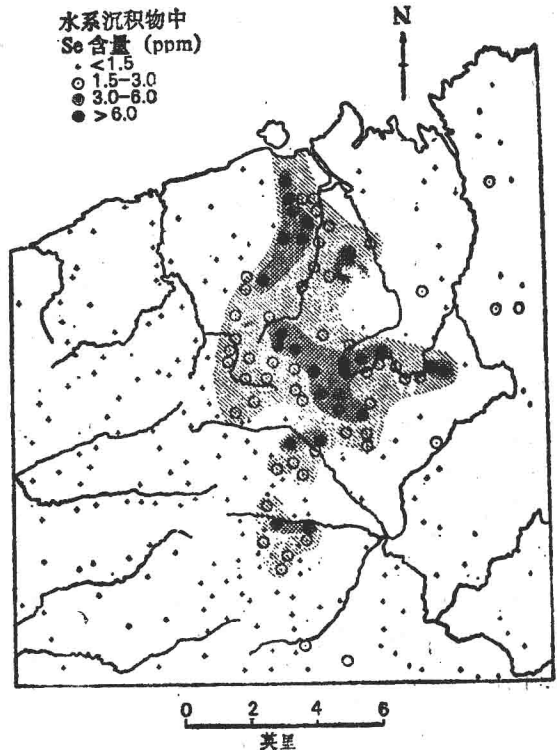


图3 水系沉积物中硒含量分布图