

文章编号 1001-8166(2002)06-0826-07

地球化学填图的国际研究现状及建议

杨忠芳¹, 陈岳龙¹, 汪明启¹, 奚小环², 肖桂义², 高延光²

(1. 中国地质大学 北京 100083 2. 中国地质调查局 北京 100083)

摘要:以环境调查、矿产勘探、土地合理利用和绿色农业生产为目的的区域地球化学综合调查工作正在世界各国开展。研究领域有: 制定土地合理使用和区域发展规划; 进行环境污染程度和环境本底值调查; 对研究区成矿潜力进行预测; 进行原生地球化学环境调查, 为地方病的防治和动植物的健康服务; 对土壤肥力进行评估, 为合理施肥和绿色农业服务。结合国内外研究动态, 对我国今后开展的多目标地球化学填图提出了一些建议。

关键词:地球化学填图, 区域发展规划, 土壤肥力, 地球化学背景, 重金属污染

中图分类号 P596 文献标识码 A

随着城市化、工业化及农业集约化的发展, 人类社会面临着日益严重的环境问题。1992 年在巴西里约热内卢召开的“环境与发展”大会上通过的宣言中阐述了国家稳定发展的概念, 提出要采用综合途径解决自然资源利用的社会—生态—经济任务的总体问题。在此指导思想下, 20 世纪 90 年代以来, 随着快速精确的仪器分析方法和计算机技术的迅速发展, 勘查地球化学在国际上正不断拓宽应用领域, 俄罗斯和中国等勘查地球化学界开展了多目标地球化学填图, 美国、加拿大、日本、德国、意大利、芬兰—斯勘地纳维亚、比利时、卢森堡、瑞典、印度、波兰、捷克、斯洛伐克、立陶宛、越南、印度尼西亚、尼泊尔、韩国、罗马尼亚、苏门答腊、肯尼亚、津巴布韦、所罗门群岛、塞拉利昂、斯威士兰和玻利维亚等国家针对各自不同的问题, 也广泛开展了区域地球化学的调查与研究。

1 俄罗斯多目标地球化学填图计划

俄罗斯在进行勘查地球化学填图中, 由于有统一的研究计划, 其研究方法、成果表现都有一定的规范^[1-10], 其他发达国家和发展中国家针对各自研究问题的需要, 在研究方法、技术路线和成果表现上都

没有统一的要求^[11-28]。

俄罗斯的多目标地球化学填图() 是一项与国际地球化学填图和研究全球地球化学规律, 如与国际地质对比计划 IGCP259/260 项目密切相连的专题研究计划。该计划是对不同级次地质生态系统的综合地球化学研究, 在研究中要划分和评价非均质的复合地球化学场的天然及人为影响程度, 并将这些成果反映在不同比例尺的图件上^[2, 3, 7, 9] (一般面积在数万至数十万平方公里的大区、带, 采用 1:100 万的比例尺, 面积为数百至数千平方公里的地区, 采用 1:20 万的比例尺, 面积为数十和数百平方公里的矿田、地段, 采用 1:5 万的比例尺)。

多目标地球化学填图的主要对象为地质生态系统, 采样介质为基岩、土壤 A 和 B 层、底积物、地表水、植物等, 样品分析的元素有 Li, Be, B, F, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Sr, Y, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Yb, W, Pb, Bi, Th, U^[4]。

多目标地球化学填图工作分两个阶段进行: 第一阶段工作主要是获取各种地质组合的地球化学资料以及对一个地区成矿潜力和生态状况作出总的评估; 第二阶段的工作则是对第一阶段的异常地球化

收稿日期 2002-02-04, 修回日期 2002-06-10.

* 基金项目 中国地质调查局项目“四川成都地区区域地球化学环境评价应用研究”(编号 200214200028) 资助.

作者简介 杨忠芳(1961-), 女, 河北省人, 教授, 主要从事地球化学及环境地球化学 E-mail: yangcug@cggb.edu.cn

学场作详细研究 根据这一阶段获得的精确的地质—地球化学资料编制出一系列地球化学成果图,包括复合异常地球化学场图、构造—建造图、功能分带图、成矿预测图、生态地球化学图、农业地球化学图、土地合理利用图、合理利用资源图等各种地球化学图件。

通过多目标地球化学填图可以达到如下目的:获得研究区地质组合的地球化学特征,为矿产预测和普查提供指导;评价环境状况、确定土壤耕作层的地球化学特征;在对某一具体地区及其实际状况作综合性多功能评估的基础上,提出土地合理利用的策略。

2 主要研究进展

2.1 土地合理使用和区域发展规划

通过研究土壤中对动植物有益元素和有害元素的分布分配特征、共生组合规律,结合研究区地理、地貌和人文景观等各项生态指标的研究,利用多目标地球化学填图资料,可以编制出一系列全新的图件,从而为土地合理利用、区域规划发展的各项规章制度制定提供依据。

俄罗斯在进行该方面研究时,主要是编制土地合理利用图。土地合理利用图可由3部分组成:

- (1) 填图前的土地利用类型及其自然地球化学势。
- (2) 自然环境状况的生态—地球化学评价及建议。
- (3) 土地相对价值的评估^[28]。

第一部分内容包括土地利用类型图、天然和复合地球化学景观图、农业地球化学图、预测地球化学图等经过专门解释的信息。在土地利用类型图上,应圈出特殊保护区和经济开发受限制地区、林业区、农业区、工业化—城市化区、采矿工业区的范围。

在特殊保护区和粗放经济区的景观图上,应标明其自然特征(高山草地、盐沼土、原始森林等)。在林业区范围内,应划分出具有不同生产力的地段。对农业区则要按天然肥沃程度进行划分,对耕作地段、牧场和割草场分别加以评价。在现有或潜在矿业经济区的预测地球化学底图上,应标明不同类型矿产及其预测资源量。工业化—城市化区按人口数量和经济属性加以划分。

第二部分内容反映在生态地球化学图上,应标明自然环境被某种毒性元素或化合物所污染的性质和程度,以及灾害性地质作用的性质、地点与发育程

度和地下水的防护程度。根据具体地区的污染程度和生态地质状况,将其分为令人满意的地区、中等危险地区、危险和灾害性地区,并针对不同情况采取相应的自然保护措施。

目前对土地价值的绝对评估是不可能做到的,现在对土地价值的评估主要依据市场价格,基本没有考虑其他因素。今后,随着环境地球化学多目标填图范围的不断扩大,对土地相对价值的评估既要考虑其社会属性,也要考虑其自然属性(包括土壤的污染程度、是否有自然矿产、自然生态状况等各种因素)。

俄罗斯在对东贝加尔湖地区进行1:100万的多目标地球化学填图研究时,对土地相对价值的评估主要考虑了功能性土地使用类型和综合指数、农业—地球化学潜力、成矿潜力、区域的生态状态、优势性和相对土地费用种类6个因素^[6]。

发展中国家在利用多目标地球化学填图资料进行土地使用规划时,更多地考虑了所研究地区所存在的具体问题。如苏门答腊北部土壤大多数呈酸性,含铁质,可利用的养分少,由于土壤肥力低,使得以前许多移民区的开发均失败了^[29]。

通过土壤中植物营养元素分析,对土壤的阳离子交换能力、土壤肥力、可交换K和Cu、Zn等营养元素含量分析,可以正确地确定哪些土壤是可开垦的,其限制因素是什么?

一般在土地使用规划范围内,区域地球化学资料有双重用途,若发现精耕细作农田区,区内潜在微量元素缺乏的问题,则可采用土壤或动物治理,亦可生长低感病性庄稼来减轻影响。若要开辟新的农牧用地,若有可能则可选择最合适的地段或避开可能遇到的痕量和主要元素有问题的地区,这尤其适合发展中国家,在这些国家中使用化肥或矿物补充营养可能因价格昂贵而受限制。

2.2 环境本底调查

环境本底污染物和元素含量调查工作因所调查的对象和目的不同而有所差异,目前主要有以下3个方面:

2.2.1 矿山开采

现今,许多国家要求采矿公司在详细勘查、评价和随后的矿产资源开采前进行环境基准测量,以评估这些活动给环境带来的潜在影响,而后进行监测。区域地球化学图是确定诸如As、Cd和Pb等环境灵敏金属基准的一种合适的方法,它可用来鉴别环境对水系沉积物、水、土壤、大气中的植物和历史上的

与正在开采的金属矿山的水载排放物的影响^[29]。

控制水系沉积物中元素的基准水平的主要地球化学要素包括汇水盆地的岩性、化学活动性、气候、地形以及金属在迁移期间的分散与稀释。

2.2.2 土壤和水体等环境要素的调查

随着各国工业化进程的不断加快和人民生活水平的提高,环境各要素的人为污染问题日益严重,勘查地球化学也以查明各种污染物在环境中的含量、迁移、转化,及对人类社会的影响为己任,开展了这方面的填图和评价工作。

一些发达国家如加拿大等国颁布了沉积物质量指标手册,为金属元素和有机污染物确定了两种临界浓度水平,即最低效应水平(LEL)和强效应水平(SEL)。若沉积物中有一种污染物达到或超过LEL,则认为其对水底无脊椎动物有不良影响,并可以注明沉积物已处于明显污染的边缘。若沉积物中有一种污染物达到或超过(SEL),则可认为其受到了强烈污染,有可能影响水底无脊椎动物群落^[30]。

俄罗斯等国则根据不同的调查区域面积开展了不同比例尺的多目标地球化学填图,主要解决的问题有:

① 毒性元素谱、相互关系和赋存形态。

② 圈定污染源,以及毒性元素谱的迁移转化途径和规律。

③ 查明毒性元素的各种地球化学障,评价各类介质对毒性元素的自净能力。

对环境要素进行质量评价不仅要考虑其总量,而且要研究化学元素和污染物的各种相态及它们对生态环境的影响。此外,除对重金属进行研究外,还要查明有机污染物和放射性核素的含量和分布特征。

在对环境质量进行评价时,一个重要的问题就是环境背景值(基准值)的选取和评价标准的确定。

在确定背景浓度时经常采用两种做法,一是引入污染系数的概念,就是将沉积物表面的污染物浓度与沉积物内部深处的浓度进行比较。不过,地质过程可使某些金属元素再循环到沉积物上层内部,而人们对这种过程所知有限,因而使这种方法具有不确定性^[30]。另一种做法是将受污染地区与清洁对照地区进行比较,这是目前环境研究部门常用的方法。但由于第一环境中清洁地区只是与受污染地区相比污染物的含量相对较少,该方法用于特定污染源和污染物的污染水平评估是可行的,用于范围较大的环境质量评价是不合适的。

除采集深部样品和用相对清洁的对照区样品进

行基准值研究外,Swennen等^[17]通过采集在工业革命前(用¹⁴C定年)沉积的河漫滩和中级河流的细粒沉积物的化学成分,来确定研究区化学成分的背景值。由于该项工作野外操作的技术含量较高,目前用于广泛的环境质量评价工作还有一定难度。

此外,由于各国所确定的国家环境质量标准不同,因此,在环境质量评价和等级划分上也存在一定的差异。

2.2.3 区域生态环境质量评估

不同景观的基本生态状况是不同的。俄罗斯科学家采用生态风险性指数进行区域生态环境质量评估^[4]。它是以某种地球化学景观中毒性为I~III级的化学元素的浓度克拉克值总和而计算出来的。这一指数反映了研究区土壤的总地球化学“地方性”,指明了未受人为作用过程影响的天然土壤在毒性元素总和量上与克拉克值的差异程度,在指出未被人类活动作用涉及的自然土壤与克拉克值(全球背景)在有毒化学元素总量间存在多少差异的同时,还能反映出研究区土壤总的地球化学“地区特有性”。

发展中国家,如中国在进行环境生态质量评估时是依据植物生长和人体健康所必需营养元素,以及对生物有危害的有毒元素,并结合研究地区土壤中元素的分布特征来进行的^[31]。具体做法是选择必需营养元素P、F、Cr、V、Zn、Cu、Co、Mo、Mn、Se、B和有毒元素Pb、Cd、Sb、Hg、As来评价土壤环境质量。即选择F、Cr、V、Zn、Pb、Cd、Sb、Hg、As等9种元素作为污染评价因子,选择Zn、Cu、Co、Mo、Mn、P、Se、B 8种元素作为土壤环境的致贫状况的评价因子。其评价标准依据土壤中元素背景值(x)和标准离差(s),以及土壤中元素含量是否影响生态平衡或者导致农作物产量和质量下降来确定。在评价时以污染因子含量 $C_i = X(W_1) + X + S(W_2) + X + 3S(W_3)$ 划分为清洁区、基本清洁区和初始过剩区,以我国1984年推荐的土壤允许浓度(W_4)作为一般过剩区与明显工程地区界限;以致贫因子 $C_i = W_1$ (中国1984年推荐的土壤元素阈浓度不足限), $W_2(X - S)$, $W_3(X + S)$,划分明显不足区、不足区和正常区,以土壤元素阈浓度过剩限或允许浓度(W_4)作为丰富区和过剩区的划分界限。环境质量评价指数为 $P_i = C_i / W_i$,式中的 C_i 为各点元素的实测值, W_i 为分级标准。

2.3 矿产资源预测

多目标地球化学填图的一个最重要的任务就是在测量区获取地质地球化学信息,为矿产预测和普

查提供依据。

在多目标地球化学填图时一般都包括了金属成矿元素、稀有、稀土和分散元素、地热指示元素、油气示踪元素和一些特殊的矿种(如核能金属——铀)的调查。

在对研究区各类采样介质的元素地球化学异常图进行复合处理后,就可以编制出一系列的复合地球化学异常图。这些图件包括基础地质和构造图、矿产预测图的地球化学底图、成矿元素的地球化学异常分布图、成矿元素地球化学异常带图。这些图件的编制对研究区各类矿产资源的勘探很有帮助。

2.4 地方病的防治和动植物健康研究

地表环境是动植物赖以生存的场所,它们的健康、疾病与生态地理环境的性质、变化紧密相关。

地球在其发展演化的过程中,由于地质作用发展的不均衡性及化学元素本身的地球化学性质的不同,造成元素在地球表层分布的不均一性,使局部地区某些组分的含量出现异常,造成动植物从环境中摄取的这些组分超出或低于所能适应的限度,从而发生疾病。

地球化学填图能反映出研究区表生环境元素含量与地壳克拉克值的差异程度,并用各种地球化学图件或参数表示出来,这对于研究区地方病的防治和动植物的健康研究具有很重要的指导意义。

在许多发展中国家,土壤和饲料中痕量元素的不足或不平衡是造成放牧牲畜产量和繁殖下降的原因。如印度一些地区动物普遍缺 Zn 和 Cu,而 Se 过量,可能与土壤、饲料中这些元素的不足和过量有关,肯尼亚在土壤和水系沉积物中普遍缺少 Cu 和 Co($<15 \times 10^{-6}$)的地区,在牧草和牲畜中这些元素含量也缺乏,在南非雷菲洛(Reivilo)地区某些动物有食土癖,其原因是该地区白云质土壤中具有高的 Mn/Fe 比值,牲畜过多地摄入 Mn,抑制了 Fe、Zn 和 Pb 等微量元素在肠胃中的吸收。牲畜食土是为了增加体内 Fe 的吸收,但连续过量地食土会导致肝炎或 Mn 中毒^[29]。

人类地方性疾病的流行在病因上概括起来可归纳为两类:一类认为是当地环境生物性因子引起的;另一类认为是无机元素缺乏或过多而引起的。从生物地球化学环境的角度来看,地方病的发生是生物和非生物因素共同作用的结果。目前的研究结果表明,有些地方病的病因是由于自然环境中某些元素的含量异常引起的,如地方性甲状腺肿,是由碘的缺乏或过剩导致人体甲状腺代谢功能障碍,发生甲

状腺肿,流行于全世界的地方性氟病是由于饮水或食物中氟的含量不足或过剩引起的。地球化学填图可以提供食物、水和流行病学调查所需的多元素数据信息,特别是发展中国家的农村地区,有相当比例的居民生活在耕地附近,评价这类潜在问题的首要方法就是考虑地方病的流行与环境要素中微量元素含量之间的关系,地球化学填图可以提供土壤、成壤母质及其对主要食物和水源成分的影响,从而为地方病的病因研究和防治提供直接的证据。如印度和乌干达的心肌膜炎纤维化地方病的病因是通过对土壤、水、食物系统的地球化学调查查明的,研究表明环境中过高的 Ce 和缺乏 Mg 是导致心肌膜炎纤维化地方病主要原因,在乌干达环境中过量的 Ce 是由于土壤中存在小于 20 μm 的次生稀土矿物,而印度的有些研究者认为过高的 Ce 是由独居石引起的^[11]。

2.5 土壤肥力评估

土壤肥力是指土壤生长植物的能力,其中自然包括了土壤中的物质成分、结构与功能的好坏,以及整个土壤生态系统运转的水平。它既是土壤成分,又是土壤环境的体现。

利用土壤地球化学勘查资料对土壤肥力进行评估的工作主要集中在常量(全氮、全磷、有效磷、有效钾以及有机质总量)和微量(B、Zn、Mo、Mn、Fe、Cu、Cl、Co、Se、V等)营养元素含量的评估上。如俄罗斯在进行 1:100 万比例尺的多目标地球化学填图时^[4],对俄罗斯东部的东—外贝加尔 7 800 km^2 实验区的土壤肥力进行了研究(见表 1),结果表明土壤的自然肥力性能是不同的,不同景观土壤腐殖层中生物活性微量元素含量的差别约达 1 倍。

表 1 俄罗斯东—外贝加尔景观区土壤腐殖层中生物活性微量元素的含量(克拉克浓度)

Table 1 Contents of biologic active trace elements in decayed soil horizons in the eastern Trans-Baika region, Russian

土壤	微量元素						总计
	B	Zn	Mo	Mn	Cu	Co	
高山原始森林	3.5	2.2	1.0	1.3	1.7	1.1	10.8
高山草原	2.5	1.4	1.0	1.1	1.5	0.9	8.4
草地草原	2.5	0.8	1.0	0.8	1.3	0.8	7.2
干旱草原	2.0	0.6	1.0	1.1	1.0	0.5	6.2

除对土壤中植物营养元素含量研究外,土壤特征微团聚体的组成比例也是评价土壤肥力的有用参数^[32]。研究表明,用土壤生产力水平或土壤某一或

某些理化性状的数量化特征来表征土壤肥力水平是有一定局限性的。中国及一些西方国家的科学家对土壤肥力实质的系统研究表明,不同粒级的微团聚体在营养元素的保持、供应及转化能力等方面发挥着不同的作用。特征微团聚体($<10\ \mu\text{m}$ 和 $>10\ \mu\text{m}$ 的微团聚体)的组成比例能比较综合地反映土壤对于水、肥的保供性能,可作为判价土壤肥力水平的有用指标。

3 几点建议

中国国家地质调查局从 1999 年开展的多目标地球化学填图是一项融第四纪地质研究、矿产资源勘查、环境质量评价、土地合理使用和农业生产服务为一体的综合性调查活动,取得了大量的第一、第二环境的基础数据资料,蕴涵了丰富的第四纪地质、矿产资源和环境评价信息,合理有效地利用这些宝贵的第一手资料,必将对我国国民经济发展、城镇规划和土地合理使用具有重要的指导意义。根据已取得的研究成果和国际进展,对我国的多目标地球化学调查提出如下粗浅的认识和建议:

(1) 建议多目标地球化学调查分两步实施,首先在研究区进行中比例尺(1:25 万)的第一环境、第二环境以土壤为主的地球化学调查,完成第一阶段工作主要是获取各种地质组合的地球化学资料以及对一个地区成矿潜力和生态状况、环境污染作出总的评估,第二阶段的工作则是对第一阶段的异常地球化学场、特殊的地质地球化学问题作大比例尺(1:5 万或 1:1 万)详细研究。

(2) 建议增加 REE 和有机毒害物质分析。稀土元素具有十分相似的化学性质和物理性质,在成岩成矿作用过程研究、大地构造背景分析、元素示踪和成因类型甄别等均具有广泛的用途。在原有的 51 项分析中,已分析了 Ce、La、Y 3 个稀土元素,建议增加 Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu。

在表生土壤环境中,除重金属污染严重外,对生态环境影响较大的还有有机毒害物质,它们大多是由于工农业生产、医药卫生及人民生活排放的三废造成的。有机物质是脂溶性的,在生态环境的各个食物链中是逐级富集的,对人类健康影响非常大,主要有多环芳烃(PAHs)、多氯联苯(PCBs)、酞酸脂、农药残留物(有机氯、有机磷、氨基、甲酸)、二恶英(TCDD)、多氯二苯并呋喃(PCDF)。

(3) 建议地球物理、地球化学和多源信息遥感

技术相结合。依据第一环境所取得的元素含量分布特征,可以划分出研究区深部基岩的地质组合和构造区带地球化学特征,但由于这些地球化学特征具有多解性(如酸性火成岩和沉积砂岩在元素含量上是很难区分的),还需要利用地球物理方法(如磁法和重力)加以鉴别。将地球化学和地球物理相结合,对于准确查明区域构造特征、岩石分布、矿产种类具有很重要的意义。

第二环境土壤的重金属含量、N、P、K 及 B、Fe、Cu、Zn、Mn、Mg、Ca、等微肥对农牧业生产,尤其是农作物的长势影响非常大。地球化学调查虽然能够比较准确地查明土壤中这些元素的含量状况,但无法实现动态监测(周期长、费用大)。遥感技术很容易获取农作物叶面因重金属污染和肥力丰缺而造成的含水量、色素含量、细胞结构等信息,将这些信息与土壤和农作物中上述元素的含量进行对应分析,就可以建立土壤元素含量与农作物长势关系模型,通过多源信息遥感技术对农作物的动态监测,最终实现对土壤重金属污染程度和肥力调查的动态监测。

(4) 建议对不同研究区所存在的特殊问题进行有针对性的工作。在第一步工作的基础上,根据已发现的问题,开展有针对性的研究工作。如成都平原的油气问题、珠江三角洲的石材放射性等问题。

(5) 科学制定评价指标,应将土地的经济价值、地质—地球化学—地球物理指标、遥感信息等紧密相结合形成农林与城市区划综合的评价与对策,利用地理信息系统平台将各种资料可视化,并建立预测模型,可进行动态预测。

(6) 在进行地球化学多目标调查时应以生态环境或地质地理区划为单元,同时兼顾大城市。

参考文献(References):

- [1] . . Principles of structure-substantial and geochemical regionalization of orebearing provinces[J]. Zheng Zhuan translate. Foreign Geoprospection and Technology, 1998, (3): 17-22.
[. . 含矿省的构造物质和地球化学填图准则[J]. 郑转译. 国外地质勘探技术, 1998, (3): 17-22.]
- [2] . . Accumulative abnormal field is a object of multi-purpose geochemical mapping[J]. Foreign Geoprospection and Technology, 1996, (4): 11-12. [. . 等. 累积异常场是多目标地球化学填图的对象[J]. 国外地质勘探技术, 1996, (4): 11-12.]
- [3] E . . Evaluating relative value of ecologic source potential of local soil on the basis of multi-purpose geochemical mapping[J]. Foreign Geoprospection and Technology, 1999, (2): 16-23.
[E . . 依据多目标地球化学填图资料评价地区土地

- 生态资源潜力相对价值[J]. 国外地质勘探技术, 1999, (2): 16-23.]
- [4] A A, A. Multi-purpose geochemical mapping at a scale of 1:1000000 in Russia[J]. Qiu Dadi translate. Foreign Geoprospection and Technology, 1998, (6): 12-19. [A A, A. 俄罗斯境内 1:100 万比例尺的多目标地球化学填图[J]. 秦大地译·国外地质勘探技术, 1998, (6): 12-19.]
- [5] Yi Ming. Progress of geochemical mapping[J]. Geophysical and Geochemical Exploration Abroad, 1998, (3): 55-58. [佚名·地球化学填图的进展[J]. 物探化探译丛, 1998, (3): 55-58.]
- [6] 伯尔维肯 W. Western European regional geochemical mapping towards the 21st century[J]. Dizhi Keji Dongtai, 1997, (11): 6-11. [伯尔维肯·走向 21 世纪的西欧区域地球化学填图[J]. 地质科技动态, 1997, (11): 6-11.]
- [7] Spiridonov, Gnitusha. Regional to detailed geochemical mapping of the Kariisk ore district, eastern Trans Baikal region, Russia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration Abroad, 1996, (4): 58-62. [Spiridonov, Gnitusha. 俄罗斯东外贝加尔地区卡里斯克矿区详细区域地球化学填图[J]. 物探化探译丛, 1996, (4): 58-62.]
- [8] . Role of functionally regional programming in intermediate-scale multi-purpose geochemical mapping[J]. Geophysical and Geochemical Exploration Abroad, 1996, (3): 57-60. [, . 功能区划在实施中比例尺多目标地球化学填图中的作用[J]. 物探化探译丛, 1996, (3): 57-60.]
- [9] . Synthetic abnormal geochemical field is a object of multi-purpose geochemical mapping[J]. Geophysical and Geochemical Exploration Abroad, 1996, (2): 56-58. [, . 复合的异常地球化学场是多目标地球化学填图的对象[J]. 物探化探译丛, 1996, (2): 56-58.]
- [10] 布连科夫 . Principles and functions of multi-purpose geochemical mapping[J]. Overseas Geoscience, 1995, (4): 59-63. [布连科夫 . 多目标地球化学填图的原则与功能[J]. 国外地质科技, 1995, (4): 59-63.]
- [11] Smith B, Chenery SR N, Cook JM, et al. Geochemical and environmental factors controlling exposure to cerium and magnesium in Uganda[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1998, 65: 1-5.
- [12] Utsyak S, Perikova V. Heavy metal pollution of soils and crops in Northern Bohemia[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 77-80.
- [13] Karczewska A, Chodak T, Kaszubkiewicz. The suitability of brown coal as a scrubent for heavy metals in polluted soils[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 343-346.
- [14] Zhang L, Zhao G. The species and geochemical characteristics of heavy metals in the sediments of Kangjiaxi River in the Shuikoushan mine area, China[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 217-222.
- [15] Parkin R H, Curtis C D, Vaughan D J, et al. Metal fixation and mobilisation in the sediments of the Aton Goch estuary-Dulas bay, Anglesey[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 203-210.
- [16] Lacutusu R, Rauta C, Carstea S, et al. Soil-plant-man relationships in heavy metal polluted areas in Romania[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 105-107.
- [17] Swennen R, Sluys J, Van der. Zn, Pb, Cu and As distribution patterns in overbank and medium-order stream sediment samples: their use in exploration and environmental geochemistry[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1998, 65: 27-45.
- [18] Niskavaara H, Reimann C, Chekushin Viktor. Distribution and pathways of heavy metals and sulphur in the vicinity of the copper-nickel smelters in Nikel and Zapoljarnij, Kola Peninsula, Russia, as revealed by different sample media[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 25-34.
- [19] Motuzova G V, Van Ngo Thi Hong. The geochemistry of major and trace elements in the agricultural terrain of south Viet Nam[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 407-411.
- [20] Kapicka A, Petrovsky E, Ustjak S, et al. Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 291-297.
- [21] Koval P V, Kalm ykhov G V, Geleby V F, et al. Correlation of natural and technogenic mercury sources in the Baikal polygon, Russia[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 277-289.
- [22] Pasieczna A, Lis J. Relationship between the geochemistry of soils and the geological basement in the Lower Silesian Coal Basin, SW Poland[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 219-227.
- [23] Lis J, Pasieczna A, Taraskevicius R. Total and partial extraction of selected elements in soils of the Poland-Lithuania borderland[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 211-217.
- [24] Burenkov E K, Golovin A A, Moronova I A, et al. Multi-purpose geochemical mapping (1:1000000) as a basis for the integrated assessment of natural resources and ecological problems[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 159-172.
- [25] Rapant S, Raposova M, Bodis D, et al. Environmental-geochemical mapping program in the Slovak Republic[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 151-158.
- [26] Lombard M, de Bruin D, Eisenbroek J H. High-density regional geochemical mapping of soils and stream sediments in South Africa[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 145-149.
- [27] Chandler D G, Bisogni Jr J J. The use of alkalinity as a conservative tracer in a study of near-surface hydrologic change in tropical karst[J]. Journal of Hydrology, 1999, 216: 172-182.
- [28] 戈洛温 A A, et al. The map of reasonable land use is a new type of geochemical map[J]. Qiu Yuwen translate. Dizhi Keji Dongtai, 1995, (3): 26-28. [戈洛温 A A 等·土地合理利用图是一种新型的地球化学图件[J]. 邱郁文译·地质科技动态, 1995, (3): 26-28.]
- [29] Appleton J D, Ridgway J. Regional geochemical mapping in developing countries and its application to environmental studies[J]. Applied Geochemistry, 1993, (2): 103-110.

- [30] Paniter S, et al. Exploring geochemistry and its application in environmental problems [J]. *Dizhi Keji Dongtai*, 1995 (6): 11-12. [Paniter S 等·踏勘地球化学及其在环境问题中的应用[J].石宏仁摘编·地质科技动态, 1995 (6): 11-12.]
- [31] Leng Furong, Cao Jinhu, Ding Tiancai et al. Initial geochemical evaluation to environmental quality of soil in Baotou area [J]. *Geology of inner Mongolia Neimongol Dizhi*, 1999 (2): 27-39. [冷福荣, 曹金虎, 丁天才 等·包头地区土壤环境质量地球化学初步评价[J]. 内蒙古地质, 1999 (2): 27-39.]
- [32] Chen Enfeng, Guan Lianzhu, Wang Jingkuan, et al. Compositional proportion of soil characteristic microaggregates and soil fertility evaluation [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(1): 49-53. [陈恩凤, 关连珠, 汪景宽, 等·土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 49-53.]

THE STATUS OF INTERNATIONAL GEOCHEMICAL MAPPING AND SUGGESTIONS TO CHINA'S MAPPING

YANG Zhong-fang¹, CHEN Yue-long¹, WANG Ming-qi¹
XI Xiao-huan², XIAO Gui-yi², GAO Yan-huang²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China, 2. China Geological Survey, Beijing 100083, China)

Abstract: Synthetic regional geochemical investigation has been carried out in many countries at the goals of environmental investigation, mineral resource exploration, land reasonable using and green agriculture. The exploration geochemical circles of Russia and China have conducted geochemical mapping of multi-purpose. And other developed and developing countries have also conducted regional geochemical investigation and related research in order to solve their own environmental problems. Studying aspects are as following: Regulation land reasonable using and regional development programming. Through study of distribution and partitioning laws on beneficial and harmful elements in soil to animals and plants, the proposals are provided for reasonable land using and development programming of studied regions considering characters of geography, geomorphology and landscape. The investigation of environmental pollution degrees and background values, which involves in the comparison of environmental key factors before and after exploitation of mines, the investigation of environmental background values in soil and water, and evaluation of regional ecological environmental quality. Forecasting mineralization potentialities of a region; after synthesized processing of anomaly diagrams for mineralization and concomitant elements in different sampling media, composite geochemical anomaly maps may be used for prospecting of mineralization potentiality. Original geochemical investigation for the purpose of prevention and curing on local endemic diseases and health of animals and plants. The estimation of land fertilization to serve reasonable topdressing and green agriculture through systematic investigation of distribution laws on effective part and contents of major and minor elements in plants. The authors present some suggestions on multi-purpose geochemical mapping of China from now based on current international status.

Key word: Geochemical mapping; Regional development programming; Soil fertilization; Geochemical background; Heavy metal pollution.