

区域化探资料在人居环境评价中的应用

周余国^{1,2}, 刘继顺¹, 高启芝², 韩海涛¹, 刘德利¹, 张彩华¹

(1. 中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 云南省地矿局 物化探队, 云南 昆明 652100)

[摘要] 研究认为, 区域化探每个样品实际控制面积绝大多数都小于1 km², 可认为与土壤样品元素含量在同一水平, 二者元素含量的变化不影响区域人居地球化学环境的评价, 水系沉积物样品因其综合性, 更能反映研究区污染的全貌。运用区域化探资料开展区域人居环境评价具有普适性。在此基础上, 以云南个旧地区为例, 首次运用区域化探资料对该区域人居环境进行了初步评价。

[关键词] 人居环境; 环境地球化学; 区域化探; 区域人居环境评价; 个旧地区

[中图分类号] P596; X821 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0084-06

Utilization of Regional Geochemical Data in Living Environment Evaluation

ZHOU Yu guo^{1,2}, LIU Ji shun¹, GAO Qi zhi², HAN Hai tao¹, LIU De li¹, ZHANG Cai hua¹

(1. School of Geology and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2. Geophysical and Geochemical Exploration Team, Yunnan Province Bureau of Geology and Mineral Resources, Kunming 652100, Yunnan, China)

Abstract Living environment refers to a kind of local or district environment, which is different from regional or global environment and residence. Regional living geochemical environment refers to regional rich or lack elements and corresponding transforms (including pathological changes) of mankind and living geochemical environment. It is stated that it is generally suitable for regional geochemical data to be utilized to evaluate living geochemical environment standard, it is also generally suitable to select one or more elements which had been proved to have conspicuous effects on organism by medical geology, agricultural geology and environmental geology on the base of classifying elements to reflect the overall living environment of an area. Taking Gejiu area as an example, this paper utilizes regional geochemical data to evaluate regional geochemical environment for the first time.

Key words: living environment of human; environment geochemistry; regional geochemical exploration; regional living environment evaluation; Gejiu area

0 引言

人居环境系指人类聚居生活的地方, 是与人类生存活动密切相关的地表空间, 是人类在大自然中赖以生存的基地, 是人类利用自然、改造自然的主要场所^[1]。在人居环境中, 空气、水及所食用的动

植物的质量最为重要, 此外泥石流、山体滑坡、地震、海啸、荒漠化等环境灾害也是人居环境评价的重要内容。

环境地球化学则是研究环境中天然和人为释放的化学物质的迁移转化规律及其与环境质量、人体健康的关系。人的生命过程就是不断与环境(基岩、土壤、水、空气等)进行物质和能量交换

[收稿日期] 2005-12-25

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40072032)

[作者简介] 周余国(1967-), 男, 云南镇雄人, 高级工程师, 博士研究生, 从事地质地球化学找矿与预测研究。

的过程。现已从人体中检测出 80 多种元素,与自然界业已发现的元素相当。汉密尔顿等在对比了人血化学组成与地壳的元素丰度后,发现两者的元素含量丰度曲线形状具有惊人的相似性,仅有生物物质的结构元素 C、H、O 和地壳结构元素 Si、Al 等例外,并认为研究环境与人体间的元素丰度与地区差异可能对人类某些疾病的发生有重要意义^[1]。

近年来的研究表明,当今人类疾病 90% 以上与微量元素有关,许多疑难绝症和大区域的地方病都与人体微量元素过量或缺乏有关^[2]。人和动植物在环境中的长期演化和不断进化实现了与正常自然环境的适应。当地壳表层化学元素失谐或由于人为的破坏使环境失谐时,人及动植物与环境的矛盾便产生了,其结果是以生物变异(包括病变)或消失为代价。

人类面对自然环境问题,能够进行改良和改造,2000 多年前的医书《素问·异法方宜论》就有种植耐盐碱作物治理盐碱地的记载^[2],目前基于物理学、化学、生物学的环境治理新方法、新技术不断涌现,表现在以下方面:

(1) 自 1990 年 Schuiling 提出地球化学工程学这一“自然修复法”^[3]以来,受到了广泛关注,澳大利亚的 Virotech 公司因掌握了消除重金属污染的技术(即用红泥治理矿山酸性水),在纳斯达克股票市场成功上市,专家估计其在全世界的潜在市场将达到 3 000~20 000 亿美元^[4]。

(2) 与分子生物学和基因工程技术相结合的“生物修复技术”被誉为 TCB(化学定时炸弹:指土壤吸附重金属的饱和状态和由于土壤条件的改变使重金属活化的过程^[5])的克星,并正发展成为一门新兴的生物采矿技术,例如,印度芥菜和向日葵可大量积聚 Pb、As、Hg、Cr、U、Ce、Sr、Au、Zn、Se、Mn、Ca、Fe 和 Mg 等重金属,芹菜和甘蓝菜可以大量吸收土壤中的 Pb、As 和 Hg 等重金属元素,一种特殊微生物可以在体内强烈富集 Cd,使 Cd 达到自身干密度的 20%~30%,可应用于含 Cd 污水的净化,某些向日葵还可以去除水中的放射性污染物和水中硝酸盐、亚硝酸盐和铵^[10-15]。

这些新技术、新理念迎合了时代发展对环保技术“廉价、高效、管理简单、无二次污染”的需要,对人居环境的改良和改造将起到积极作用。

1 区域化探资料在人居地球化学环境评价中的应用

中国原地矿部自 1979 年在全国系统开展了区域化探扫面计划(RGNR),目前已覆盖了中国国土面积的 2/3,获得了海量的原始分析数据^[12-14],发现各类区化异常 42 880 个^[15],其主旨是为矿产勘查提供基础的区域性地球化学资料。

RGNR 分析的 39 个元素大部分与人体和生物活动密切相关,所发现的各类区化异常(正异常)和微量元素亏损区(负异常),不仅是矿产勘查的寻宝图,也是评价人居环境的重要基础资料,完全可以应用区域化探资料来对人居环境进行全景式扫描和深度剖析。事实上,童霆等从 1980 年起就开始利用这套资料研究环境问题,谢学锦等于 1990 年起开展了用超低密度泛滥平原沉积物采样来建立全国环境地球化学监控网络的试验,李家熙等利用化探扫面资料进行微量元素分布与地方病关系的研究^[4]。

要将区域地球化学调查的成果应用于人居环境评价,有必要明确几个基本问题。

1.1 人居地球化学环境

笔者所探讨的人居环境是区域人居环境,是指一种局域环境或地区环境,以区别于大区域和地球环境或狭义的居室及其周边环境,主要是指人类活动频繁、人口密度较高的区域性人类居住环境,至于那些无人区如原始森林覆盖区、雪原戈壁荒漠区等应属非人居环境。人居地球化学环境则是研究区域性元素地球化学丰缺以及与此相对应的人及人居环境的变异(包括病变)。

1.2 元素的生物地球化学分类

根据元素的地球化学性质和医学地质学、农业地质学以及环境地质学的研究成果^[2,16],初步将 RGNR 分析的 39 个元素分类如下:

1.2.1 宏量元素

Ca、K、Na、Mg、P 与 C、H、O、N、S、Cl 一起构成人体的主要组分(99.95%),是生命机体不可缺少的元素,均为原子序数在周期表中 ≤ 20 的轻元素。

1.2.2 微量元素

Fe、Cu、Zn、Mn、Co、Cr、Mo、V、Si、Ni、Sn、F、B,主要是以过渡族元素为主的金属元素和轻非金属元素。

1.2.3 毒性元素

Pb、Hg、Cd、As, 在自然界中多形成硫化物, 且均为大原子量的元素。

1.2.4 潜在毒性元素

Th、U, 放射性且为大原子量。

1.2.5 关系不明显元素

Al、Ba、Ag、Au、Sb、Bi、W、Li、Be、Sr、Nb、Y、La、Ti、Zr。

上面的划分不是绝对的, 如人体摄入的 F 过多过少都会引起慢性疾病, 而毒性元素在生物体内则是非必需的。

1.3 土壤环境质量标准

中国于 20 世纪中期开展土壤元素背景值研究, 1982 年和 1986 年该研究两次被列为“六五”、“七五”重点科技攻关课题。分析元素 60 余个, 出版了《环境背景值数据手册》^[17]、《中国土壤元素背景值》^[18] 等专著, 在此基础上中国制定了《土壤质量标准 GB15618 – 1995》^[19] (表 1)。

表 1 土壤环境质量标准

Tab. 1 Environment Quality Standard of Soil					
项 目	一 级	二 级			三 级
土壤 pH 值	自然背景	<6.5	6.6~7.5	>7.5	>6.5
Cd	0.2	0.30	0.60	1.0	
Hg	0.15	0.30	0.50	1.0	1.5
As	水田	0.5	30	25	20
	旱地	0.5	40	30	25
Cu	农田等	35	50	100	100
	果园		150	200	200
Pb	35	250	300	350	500
Cr	水田	90	250	300	350
	旱地	90	150	200	250
Zn	100	200	250	300	500
Ni	40	40	50	60	200

注: 1. 本表略有删节; 2. 重金属(铬主要是三价)和砷均按元素量计, 适用阳离子交换量 $>5\times10^{-2}\text{ mol}(+)/\text{kg}$ 的土壤, 若 $\leq5\times10^{-2}\text{ mol}(+)/\text{kg}$, 其标准值为表内数值的半数; 3. 水旱轮作地的土壤环境质量标准采用水田值, 铬采用旱地值; 4. 各元素 $w_B/10^{-6}$

1.4 土壤和水系沉积物中元素含量变化对人居环境评价的影响

土壤是以岩石和矿物的风化产物迁移后的松散堆积物为成土母质, 经过成壤作用发育而成, 而水系沉积物是在汇水域内经水力搬运堆积而成, 是汇水域内岩石土壤的混合物, 二者显然是两种不同

的采样介质, 其分析数据存在着相关性。

正因为植物对元素有很强的选择性, 童潜明认为将地球化学样品全量分析的结果应用于农业评价土壤养分的缺乏、适宜和过剩意义不大^①, 而周国华等对河北省抚宁—卢龙低山丘陵区土壤中营养元素(K、Ca、Mg、Mn、Zn、P、Mo、B等)的有效量与水系沉积物含量(全量)间的相关性研究, 表明多数元素存在显著的正相关关系^[20]。池清华认为, 水系沉积物中如中高温成矿元素 W、Sn、Mo、U、Cr、Ni、Co、Cu、Pb、Zn、Ag、Au 等从原岩向水系沉积物的转变过程中含量变化虽有所增大, 但总体较为稳定, 二者比值小于 2, 大部分比值小于 1.5, 而一些低温热液成矿元素如 Sb、Hg 则发生明显富集, 富集系数最大可达 3.44 和 13.64^[21]。考虑到区域地球化学样品中, 每个样品实际控制面积绝大多数都小于 1 km^2 , 可认为两种采样介质元素含量应在同一水平, 二者元素含量的变化不影响区域人居环境的评价, 水系沉积物样品因其综合性更具代表性, 更能反映研究区污染的全貌, 运用区域化探资料开展区域人居环境评价具有普适性。

2 实例

云南个旧是中国著名的锡都, 有着数百年的采矿历史。随着以锡为主的采选冶业的飞速发展, 大大加重了环境负荷。调查表明, 个旧市的男性肺癌死亡率居中国首位^[2], 年平均检出率达 271.2 人/10 万人^[22]。1990 年, 甘懋金、陈阳玉等利用 1:20 万区域地球化学资料对个旧南部卡房—老厂地区约 900 km^2 的 Hg、Pb、Cd、As、F、U、Cu、Zn、Mn、Ag、P 进行了初步环境评价^[16], 个旧市环保局近几年先后开展了大气、水、酸雨、噪声等专项研究和鸡街地区区域环境综合研究、个旧市经济与环境协调发展规划研究^[23], 谈树成、薛传东等于 1997~2000 年在个旧市城区周边 30 km^2 开展了土壤污染调查, 以个旧湖流域为重点的污染洪灾调查、放射性污染调查^[22, 24-25]。

上述研究表明: 个旧市的人居环境污染问题“五毒俱全”, 多元素的污染进入生物体内, 通过化

① 童潜明. 农业化学和地球化学与农业地质的几个问题. 第一届应用地球化学学术讨论会论文摘要集. 长沙: 中南大学地质与环境工程学院, 2004.

合、置换、络合、氧化还原、协同或拮抗等化学或生物化学的反应,影响代谢过程或酶系统^[26],从而成为人和动物的隐性杀手。

上述研究或限于个旧城区附近,不足以反映个旧地区污染的全貌,或因没有一个科学的标准,使本来很严重的污染被“大事化小”,所以在广度和深度上都有待研究。

2.1 个旧地区水系沉积物主污染元素、元素容许值及污染分级标准

从表 1 可以看出,污染分级标准并不是按简单的倍数、指数或等差关系划分。为简便起见,可以认为,一、二、三类土壤大致相当于无污染、轻、中度污染土壤,重度污染土壤分级标准再翻 1 倍,并在表 1 基础上将水田、农田、旱地和果园作适当归并,轻度污染土壤以 pH 值小于 6.5 之取值为参考,中度污染土壤以 pH 值大于 6.5 之取值为参考,对无标准可参考的 F、U、Th、Sn 等污染元素,以元素在土壤中的 5 倍丰度(维诺格拉多夫,1962)^[27]为无污染土壤之元素容许值,轻中污染之上限酌情给出。以此为依据结合医学地质学、农业地质学和环境地质学的研究成果,对个旧地区地球化学资料^[16,28]进行系统研究,表明该区不存在 Cr、Ni、Co 等基性幔源特征元素的污染,超低温元素 Hg 主要表现为轻微零星污染,故选取 As、Cd、Pb、F、U、Th、Cu、Zn、Sn 等 9 个元素作为个旧地区的主污染元素,元素容许值及污染分级标准见表 2。

表 2 个旧地区水系沉积物主污染元素容许值
Tab.2 Permit Value of Main Pollution Elements Containing with in the River System Sedimentary in Gejiu area

污染元素	土壤丰度	污 染 分 级			
		无污染	轻污染	中污染	重污染
As	5		25	60	150
Cd	0.5		0.4	1.0	2.5
Pb	10		250	500	1 000
F	200		1 000	2 000	3 000
U	1		5	10	20
Th	6		30	60	100
Cu	20		100	500	1 000
Zn	50		250	500	1 000
Sn	10		50	100	200

2.2 个旧地区水系沉积物元素污染特征

根据表 2 所确定的分级标准,可以认定个旧地区存在不同元素不同程度的污染,主要污染集中在

个旧一卡房 630 km² 的范围内(图 1),各污染元素污染权重、污染强度列于表 3。

表 3 个旧地区水系污染沉积物主污染元素污染程度
Tab.3 Pollution Level of Main Pollution Elements Containing with in the River System Sedimentary in Gejiu Area

元素	污 染 权 重				$W_{Bmax} / 10^{-6}$	污染强度 最大值/重 污染下限
	无污染	轻污染	中污染	重污染		
As	0.047	0.236	0.234	0.483	6 100	40.7
Cd	0.159	0.383	0.247	0.211	65.2	26.1
Pb	0.400	0.161	0.130	0.310	19 777	19.8
F	0.378	0.400	0.084	0.141	18 800	6.3
U	0.069	0.436	0.470	0.025	31.1	1.6
Th	0.566	0.278	0.122	0.034	179.7	1.8
Cu	0.441	0.371	0.092	0.096	6 046	6.0
Zn	0.326	0.215	0.187	0.271	12 455	12.4
Sn	0.375	0.165	0.113	0.347	7 760	38.8

个旧地区污染具如下特征:

(1)主污染元素大都呈南北向不规则带状展布,重污染区连片集中,北张南缩,向南经苟街直入红河,这为污染的集中治理提供了依据。

(2)从地质地貌上看,这些元素的重污染主要沿(隐伏)花岗岩接触带,已知马拉格、莲花山、老厂和卡房等矿区以及南北走向的主干公路和主干水系分布,这反映了不同污染因素复合作用的结果。

(3)从元素的污染形态看,Sn、Pb、Zn、Cu、Cd 等元素重污染区形态十分相似,套合很好,As 面积稍大,反映出既受成岩成矿作用的影响,也受后天人工采选冶和雨水自然冲刷的作用;F 主要集中在卡房以南地区,主要反映出该元素在表生条件下易于迁移;U、Th 主要受控于花岗质岩浆的成岩作用,主要呈弥漫性分布,集中表现为中轻污染。

(4)以污染权重看,中污染加重污染的元素由大到小可分为 3 个级次:As(0.717)–U(0.495)、Sn(0.460)、Cd(0.458)、Zn(0.458)、Pb(0.440)–F(0.225)、Cu(0.188)、Th(0.156);从污染强度看,元素可分为 3 个层次,As(40.7)、Sn(38.8)、Cd(26.1)、Pb(19.8)、Zn(12.4)–F(6.3)、Cu(6.0)–Th(1.8)、U(1.6)。综合两个指标,可以认定:①污染最为严重的元素为 As(据 2005 年 11 月 1 日 CCTV1《走进科学》栏目报道了个旧矿区患病矿工肺癌组织切片分析结果,As 含量显著偏高,这与笔

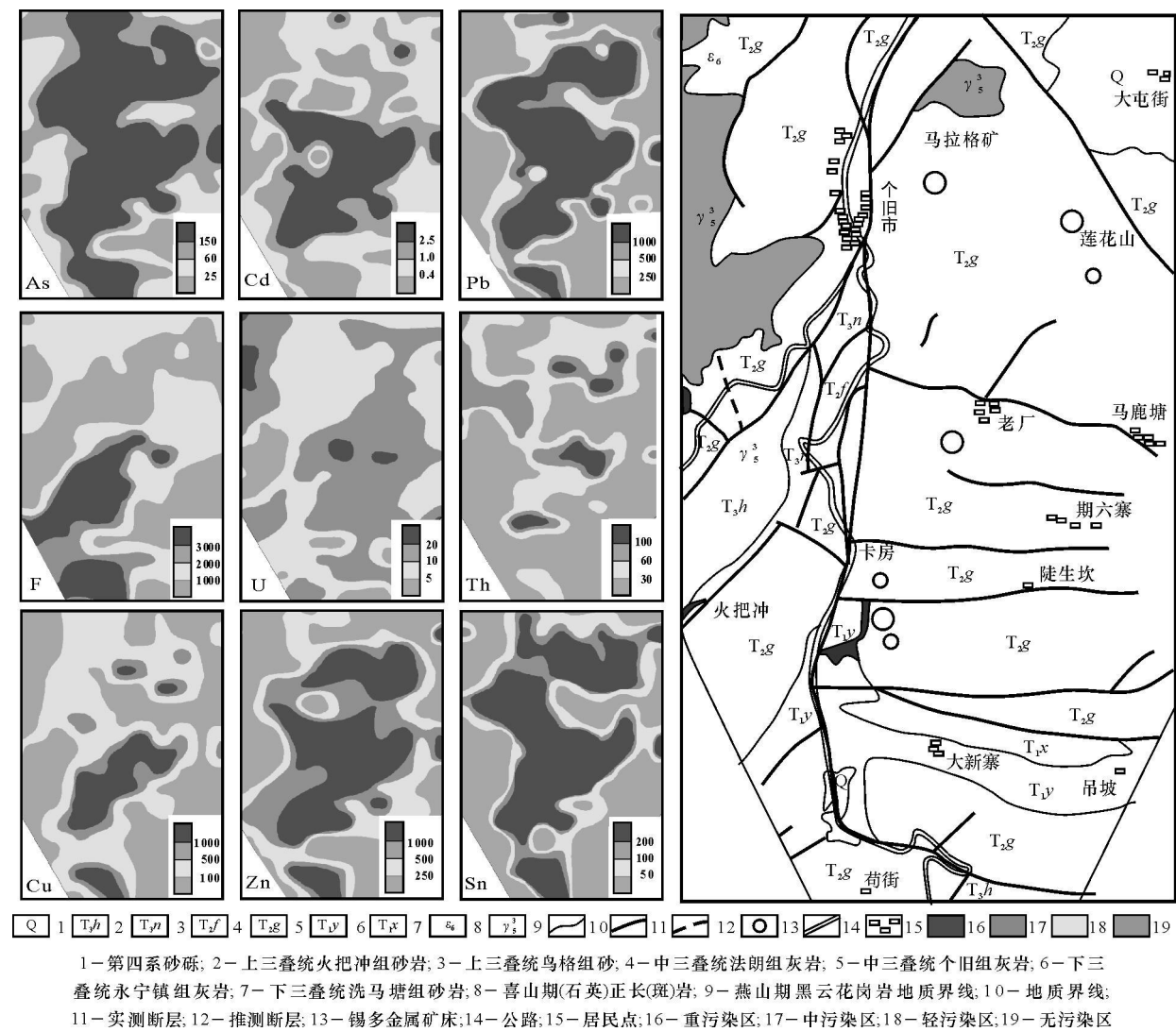


图 1 个旧地区主污染元素污染分布

Fig. 2 Pollution Distribution Map of Mainly Elements in Gejiu Area

者从区域上分析的结果完全一致), 次为 Sn、Cd、Pb、Zn, 再次为 F、Cu、U、Th; ②元素的污染强度高, 污染面积也越大。

(5)Sn、Cu 质量分数最大值在 0.5%以上, Pb、Zn 最大值达 1%~2%, 治污中如能在富集地段加以综合回收, 完全有可能变废为宝, 产生直接的经济效益。

2.3 个旧地区区域地球化学环境污染原因

(1)个旧地区处于越北古陆、康滇古陆和哀劳山古陆之间, 形成半封闭海盆, 接受了巨厚的三叠系碳酸岩和砂泥质岩沉积。根据水系沉积物测量统计结果, 该套地层与金平、河口全区比较明显富集, 各元素质量分数分别为Sn(4.26)、As(3.82)、Bi(3.75)、Pb(3.37)、Sb(2.88)、Ag(2.85)、

W(2.70)、Zn(2.64)、Cu(2.58)、Hg(2.26)、Be(1.82)、Au(1.42), 燕山运动使三叠系岩层发生断褶, 同时伴随强烈的基性-酸性-碱性岩浆的侵入和重要的成矿作用, 形成 Sn、W、Bi、Mo、Pb、Zn、Cu、Ag、Au 等的区域性异常^[16, 28], 为第一环境的污染埋下了祸根。

(2)人类的经济活动如毁林开荒、开山炸石等, 尤其是广泛的采矿活动, 既为人类带来了巨大的经济利益, 也造成了严重的环境污染, 使个旧地区区域地球化学环境进一步恶化。

(3)个旧地区 50 多家不同性质选冶厂的存在, 加上防治污染措施不力, 使个旧地区污水横流, 粉尘弥漫, 酸雨不断, 长此以往, 无疑将导致个旧地区区域人居地球化学环境的灾难性后果。

3 结语

(1)人居环境是指一种局域环境或地区环境,以区别于大区域或地球环境和狭义的居室及其周边环境。主要是指人类活动频繁、人口密度较高的区域性人类居住环境。对于那些无人区如原始森林覆盖区、雪原戈壁荒漠区等应属非人居环境。人居地球化学环境是指区域性的元素地球化学丰缺以及与此相对应的人及人居环境的变异(包括病变)。

(2)可以运用区域化探资料开展人居环境评价,以生物地球化学分类为基础,重点选取经医学地质学、农业地质学和环境科学证明对生物体有影响的一个或多个元素,结合土壤环境质量标准即能较全面地反映一个地区的区域人居环境问题。

(3)只有人居环境中化学元素在地球表面的含量是和谐的,才能谈得上人与自然的和谐发展。虽然化学元素在地壳中的含量差异巨大,生物都具有与生俱来趋利避害的本能,亦即对元素有极大地选择性和较大地适宜区间。运用区域化探资料开展区域人居环境评价无疑是可行的。以云南个旧地区为例,首次运用区域化探资料对该区区域人居环境进行了初步评价。

(4)地球化学工程学提出的“自然修复法”和与分子生物学、基因工程技术相结合的“生物修复技术”,是时代发展对环保技术的需要,对人居环境的改良和改造将起到积极作用,有着广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

[1] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[2] 戴塔根, 刘悟辉, 马国秋. 环境地质学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 1999.

[3] Schuiling R D. Geochemical Engineering: Some Thoughts on a New Research Field[J]. Applied Geochemistry, 1990, 5: 251 - 262.

[4] 吴传璧. 地球化学工程学: 21 世纪的环保产业[J]. 物探与化探, 2002, 26(6): 411 - 421.

[5] 严光生, 谢学锦. 化学定时炸弹与可持续发展[J]. 中国地质, 2001, 28(1): 13 - 18.

[6] 陈 明, 张玲金, 刘晓瑞, 等. 地球化学工程学——为环境治理服务的地球新分支[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 441 - 449.

[7] 施俊法. 化学定时炸弹的克星: 植物修复技术[J]. 国土资源情报, 2001(4): 39 - 42.

[8] 高太忠, 李景印. 土壤重金属污染研究与治理现状[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2), 137 - 140.

[9] 夏星辉, 陈静生. 土壤重金属污染治理方法研究进展[J]. 环境科学, 1997, 18(3): 72 - 76.

[10] 滕彦国, 倪师军, 张成江. 应用于地球化学工程修复水、气、土壤污染的研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001(2): 9 - 14.

[11] 林肇信, 刘天齐, 刘逸龙. 环境保护概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

[12] 谢学锦. 区域化探[M]. 北京: 地质出版社, 1979.

[13] 谢学锦. 区域化探全国扫面工作方法的讨论[J]. 物探与化探, 1979, 1(1): 18 - 26.

[14] 谢学锦, 刘大文, 向运川, 等. 地球化学块体-概念和方法学的研究[J]. 中国地质, 2002, 29(3): 225 - 232.

[15] 奚小环, 张 连. 地质矿产部“八五”期间物探、化探、遥感勘查若干新进展[J]. 物探与化探, 1997, 21(1): 1 - 5.

[16] 云南地矿局区域地质调查队. 1 : 20 万金平幅、河口幅地球化学图说明书(水系沉积物测量)[R]. 云南宜良: 云南地矿局地球物理地球化学勘查队, 1990.

[17] 李 健, 郑春江, 郭希利, 等. 环境背景值数据手册[K]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

[18] 中国环境保护总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[19] 国家环保总局. 土壤环境质量标准[EB/O L]. 1995 - 12 - 06 [2006 - 04 - 14]. <http://www.zhb.gov.cn/eic/650208312909889536/19951206/1023470.html>

[20] 周国华, 朱立新, 马生明. 区域化探资料用于农业增产的开发技术[J]. 地质与勘探, 1998, 34(1): 45 - 49.

[21] 迟清华. 岩石化学元素丰度在地球化学块体研究中的意义[J]. 物探与化探, 2003, 27(6): 428 - 444.

[22] 谈树成, 赵筱青, 薛传东, 等. 云南省个旧市的环境问题与可持续发展[J]. 中国人口、资源与环境, 2000, 10(专刊): 89 - 90.

[23] 个旧环保信息网. 我局的科研项目[EB/O L]. 2005 - 08 - 13 [2006 - 04 - 14]. <http://www.gjebp.gov.cn/ReadNews.asp?NewsID=445>.

[24] 谈树成, 薛传东. 云南个旧城区突出的几个环境地质问题[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1997.

[25] 谈树成, 赵筱青, 薛传东, 等. 云南个旧矿山环境氡污染研究[J]. 云南环境科学, 1998, 17(4): 3 - 5.

[26] 孔 华, 鲁艳红, 张建东, 等. 城市重金属污染研究现状[C] // 戴塔根. 湖南矿物岩石地球化学论丛. 长沙: 中南大学出版社, 2004.

[27] 黄熏德, 吴郁彦. 地球化学找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1986.

[28] 云南省地矿局第二地质大队. 1 : 20 万个旧幅地球化学图说明书(水系沉积物测量)[Z]. 云南宜良: 云南省地矿局地球物理地球化学勘查队, 1992.