

# 数字山地垂直带谱及其体系的探索

张百平,姚永慧,莫申国,谭娅

(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101)

**摘要:**本文总结了传统山地垂直带研究的脉络及存在的问题;构建了山地垂直带谱数据结构,实现了垂直带谱数字化与可视化;提出了垂直带谱的三级体系:以基带区分一级带谱,以特征垂直带区分二级带谱,以垂直带组合结构、优势垂直带及垂直高度及宽度区分三级带谱;归纳出垂直带谱的5种生态类型:1.与区域气候相联系的顶极带谱;2.与主要山地相联系的基本带谱;3.与特殊地生态现象相联系的过渡/特殊带谱;4.与人类干扰相联系的扰动带谱;5.与强烈人类活动相联系的次生带谱。

**关键词:**地学信息图谱;数字垂直带谱;垂直带谱体系

中图分类号:P90

文献标识码:A

## 1 山地垂直带(谱)研究概述

山地最基本的特征就是气候随海拔增高而变化导致植被、土壤及整个自然地理综合体的垂直分异,形成能反映山地自然特点的具有一定排列顺序和结构的垂直带谱。山地垂直带研究可以追溯到十九世纪德国地理与博物学家洪堡德对南美安第斯山的观察和研究。多年来山地垂直带研究是传统自然地理学研究的重要内容及研究山地最基本的方法。我国南北跨越几乎所有的类型温度带,东西穿越湿润森林到极干旱荒漠的所有干湿景观,特别是拥有世界上最广阔的高山及世界上独一无二的青藏高原,生态环境极为复杂多变,因而发育了世界上最为丰富多彩的山地垂直带。山地垂直带研究因而成为我国地学和植物学界一直关注的重要内容。20世纪30年代,人们开始对全球主要山地相似垂直带的空间分布规律进行比较,特别是雪线及森林上下限的全球比较<sup>[1]</sup>。60年代以来特别注重研究垂直带与水平地带的关系,概括出湿润森林地区和干旱草原荒漠地区两种垂直带区域变化模式,并确立了“垂直带结构的地带性原则”,即垂直带性从属于水平带性。20世纪70年代地理学计量革命,人们开始对垂直带空间分布与水热条件的定量关系进行分析<sup>[2~4]</sup>。德国景观生态学创始人 Carl Troll 强调了

山地三维垂直带的重要性的意义<sup>[1]</sup>;侯学煜先生比较全面地勾画出我国山地植被的分布格局及生态法则,还强调植被三维地带的“相对性”,以防止人们把三维地带规律绝对化<sup>[5~7]</sup>。张新时概括了中国山地植被垂直带的7个基本生态地理类型,还根据青藏高原植被三维变化的特点提出了青藏高原特有的“高原地带性”<sup>[8,9]</sup>。姜恕则考虑了高原植被地带与毗邻地区的衔接、过渡与联系,认为“横空出世的高原植被地带不是独立于全国和亚洲中部植被系统之外的独特体系”<sup>[10]</sup>。本文称之为“反高原地带性”。王秀红提出了“层带”的概念,并用三维的方法表达青藏高原高寒草甸的空间分布趋势<sup>[11]</sup>。垂直带的表达也随着野外作业的增加,从单个山段一种类型到多个类型组合,再到整个山体的连续表达,并开始根据基带、优势带、特征带、垂直带组合垂直带谱进行结构分类<sup>[12~14]</sup>。山地(植被)垂直带研究成为我国地学及生态学界历久而常新的论题。

传统的自然地理学家/植被生态学家将垂直带谱及系列直接画在纸上,垂直带图无法变动,可视性差,特别是无法进行多系列带谱分析。对于山地垂直带谱的深层结构,对于垂直带谱结构的细微变化所反映的山地环境复杂性以及不同垂直带谱之间的内在联系都难以进行有力度的分析和研究。总之,传统山地垂直带的表达和研究仍然处于比较直观的阶段。虽具有图形思维的功能,但缺乏数字化

收稿日期:2002-10-02。

基金项目:中国科学院地理科学与资源研究所领域前沿项目(CX10G-D00-09)资助成果。

作者简介:张百平(1963-),男(汉族),中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室创新基地研究员、博士生导师。主要从事山地生态与GIS研究。

特性;掌握的山地垂直带谱的数量也不够充分,特别是缺乏统一的分类级别体系,带谱规律性难以完整系统地概括。这些都影响了它的区域推论功能,使垂直带谱研究一直停留在传统地理研究的水平上。因而,要在山地垂直带谱研究方面有所突破,就必须实现带谱的标准化和数字化。这是山地研究和地球信息科学面临的重要挑战之一。

## 2 数字山地带谱

地学信息图谱(Geo-info-spectrum)是我国著名地图学与遥感学家陈述彭院士提出的现代地学概念和研究方法。它是计算机化的地学图谱,是空间时代与信息时代的产物。地学信息图谱的特征包括:(a)图形思维模式;(b)全数字化;(c)动态模拟分析。到目前为止,已经对它的定义、概念、分类、研究方法等作了多方位的研究<sup>[14-17]</sup>。但地学信息图谱作为全新的研究方法和思想体系仍处于探索阶段。本文作者根据多年的研究工作从山地垂直带谱的角度对地学信息图谱进行探索研究。

地学信息图谱的表现形式可以分成空间信息图谱、时间信息图谱及时空信息图谱。地学现象/对象的空间图谱除了数字化和图性思维模式之外,还必须具有分类的标准化和体系的完整性。山地垂直带谱结构能反映山地的基本特征,对它的分析研究是揭示山地环境结构的基本模型方法,也是传统地学的经典范式之一。无论是单个垂直带谱(从山地边沿到山顶)还是多个带谱系列都特别具有“谱”的特性,可以理解为空间信息图谱。因而从垂直带谱的角度探讨地学信息图谱研究的理论与方法,能够促进和丰富地学信息图谱的研究;同时从地学信息图谱的角度分析山地垂直带谱又能够促进山地垂直带谱的研究。

全数字化是地学信息图谱的三大特征之一。为了进行山地垂直带信息图谱的研究,必须首先解决垂直带谱的数字化问题。我们的研究工作揭示,垂直带谱数字化的关键是构建垂直带谱数据结构及建立垂直带谱数据表。为了实现数据与数字图的动态联系,必须进行数据变换,将垂直带的上下限高度

相减,得到垂直带的宽度。其次是确定各垂直带的排序问题,要求将所有垂直带进行排列,其原则是排出的序列包含并适合每一个带谱,不允许出现垂直带倒置现象。如果某一垂直带在特定带谱中不出现,则数值为零。如此构建的垂直带谱数据表就可以利用 Excel 或 ArcView 图表向导中的堆积柱形图生成要表达的山地垂直带谱系列。以横断山为例构建垂直带数据表(见表1),得到相应的数字垂直带谱图(图1)。此种方法能够将垂直带数据与带谱图有机地连接在一个系统之中,可以实现垂直带谱的二维数字化,大大增强了带谱的可视性;更重要的是,该方法可以将全国甚至全世界的山地垂直带谱纳入一个数据系统,并可进行各种组合和规律分析。

## 3 垂直带谱体系

山地垂直带及带谱研究过去存在诸多问题。例如:(1)垂直自然带与植被带混淆:两者在多数情况下是一致的,但有时不一致;(2)垂直带与垂直亚带(垂直带内部分异)混淆;(3)不同自然地带内名称相同的垂直带性质可能有较大差异;同一山地可能具有不同的垂直带数据。这些都起因于对垂直带概念理解的不同、对山地植被调查详尽程度不同。澄清和解决的根本途径就是给山地垂直带一个明确的定义,即解决山地垂直带标准化问题。

### 3.1 基带的标准化

基带就是山体所处的水平自然地带。它是决定垂直带谱结构最重要的因素。自然地带是地表重要的区划单位,反映地表自然分异的基本规律。地表每一个自然地带内发育基带相同的带谱。根据《中国综合自然区划》的定义,每一个自然地带包括可以代表自然界水平分异特性的土类和植被群系纲。黄秉维先生的《中国综合自然区划》将全国区分出28个自然地带<sup>[18]</sup>。本文将其中青藏高原的5个自然地带用后来更详细的研究结果取代,即采用郑度先生1979年的结论<sup>[19]</sup>——8个自然地带。高原由于本身的广度(250万 km<sup>2</sup>),自东南向西北依此发育了山地森林/灌丛地带,高寒草甸地带,高寒草原地带,

高寒荒漠地带。这种地带格局在世界上是独一无二的。高原的垂直带就是在这种地带格局基础上发育的,也是基带。因而在理论上中国具有 31 个标准基带。

另外,在青藏高原的边缘山地,如横断山、昆仑山等地,由于特殊的生态现象发育了干热谷地灌丛及高海拔山地荒漠,它们构成特殊的或过渡的基带类型。

表 1 山地垂直带谱数据结构及数据表的构建(以横断山脉为例)(m)

Table 1 Data structure of altitudinal belts for Hengduan Mts. (m)

山地名	地面高度	热带雨林	河谷稀树草地	季雨林	干热河谷灌丛	常绿阔叶林	常绿针叶林	针落阔混交林	针阔混交林	暗针叶林	灌丛/草甸	亚冰雪带	冰雪带
南糯山	500	500	0	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0
哀牢山	500	0	600	600	0	700	0	737	0	0	0	0	0
玉龙雪山	1600	0	0	0	600	0	700	0	300	600	400	400	1000
贡嘎山	1100	0	0	0	300	700	0	400	500	800	900	300	2556
四姑娘山	900	0	0	0	0	700	0	500	600	1100	500	700	1250
雪宝顶	2400	0	0	0	0	0	0	0	800	500	400	600	900

### 3.2 山地垂直带标准化

为了保持水平地带与垂直地带的一致性,山地垂直带也应采用相同的定义:即垂直带包括可以代表山地垂直分异特性的土类和植被群系纲。采用这样的严格定义,就把垂直地带规范为“垂直自然地带”。如此可以避免上述很多问题,同时分析水平地带与垂直地带的关系就有了共同的平台。

### 3.3 垂直带谱体系

在山地垂直带数字化和标准化基础上就可以探讨垂直带谱体系的建立问题。由于纬向地带性、经向地带性和垂直地带性的共同作用,不同地区、不同山体甚至相同山体的不同地段和坡向发育了不同的垂直带谱。如前所述,张新时将我国山地垂直带谱归纳为 7 个基本生态地理类型<sup>[8]</sup>;刘华训分析了我国水平地带与垂直地带关系后进而归纳了 14 个基于地带性的带谱类型<sup>[2]</sup>。郑度、张百平对喀喇昆仑山-昆仑山区的垂直带谱进行过结构分类<sup>[12~14]</sup>。我们的研究认为,山地垂直带谱与其他地理现象一样,在不同尺度上有不同的表现,可以对它们进行分级并形成完整的等级分类体系。

#### 3.3.1 第一级垂直带谱——“带谱系列”

根据山地垂直带的地带性原则,垂直带谱的性质主要取决于基带类型。因而,基带类型构成垂直带谱分类的一级因素,即首先根据水平自然地带(基带)类型将垂直带谱进行区分。由上述可知,我国有 31 个基本带谱系列和若干特殊带谱系列。

#### 3.3.2 第二级垂直带谱——“带谱群组”

基带相同的带谱,由于所处地理位置和区域气

候的差异,垂直带组合、垂直带数量等可能会有很大不同。其中那些具有环境标识的垂直带(如干旱山区的森林带、高山草甸带,横断山区的干旱谷地灌丛/草原等)特别能反映所在山区环境的特点。这些垂直带可以称之为“特征垂直带”。根据特征垂直带的有无或发育程度可以将一个带谱系列分成若干“带谱群组”,即二级垂直带谱。昆仑山北坡垂直带谱集中反映了二级带谱的结构变化(图 2)。基带同为暖温带荒漠,带谱 1 含有山地森林(草原)带,带谱 2 缺少山地森林(草原)带,但仍具有高山草甸带;带谱 3 缺少森林带和草甸,但具有山地草原带和高山草原;带谱 4 中山地森林带、草甸带及草原带全部消失。在暖温带荒漠大谱系列中,就可以区分出中干旱带谱群组、干旱带谱群组、超干旱带谱群组和极干旱带谱群组<sup>[12]</sup>。二级带谱之间的差异主要反映自然地带内水分条件的地域分异格局。昆仑山北坡四个带谱群组揭示出山地森林及高山草甸带的依此消失,反映中高山区自然环境自西向东逐渐变干的总体趋势。

#### 3.3.3 第三级带谱——“带谱类型”

具有相同的垂直带数量和组合,但优势垂直带(宽度最大的垂直带)或相同垂直带的上下界限有差异。天山北坡可以作为典型的例子。这里所有垂直带谱属于一个带谱类型,都只具有四个垂直分带(山地森林、高山草甸、山地草原、山地荒漠),垂直带数量和带谱结构完全一样,但各分带的上下界限高度、垂直幅度都有差异。这反映区域局部因素以及人类活动的共同作用。

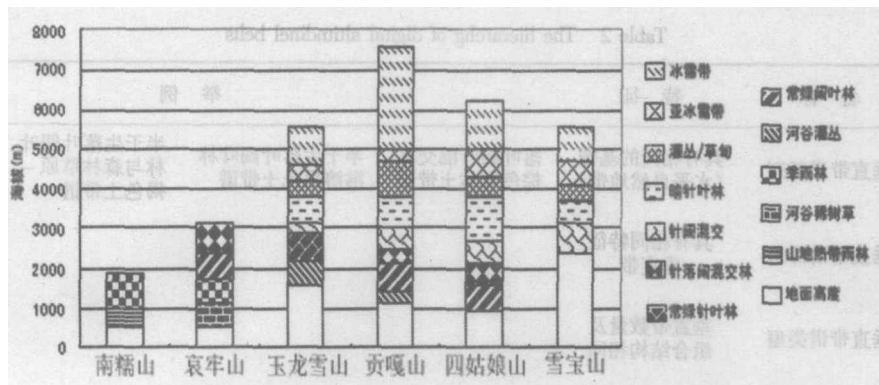


图1 横断山脉数字垂直带谱

Fig.1 Digital spectra of altitudinal belts in the Hengduan Mts.

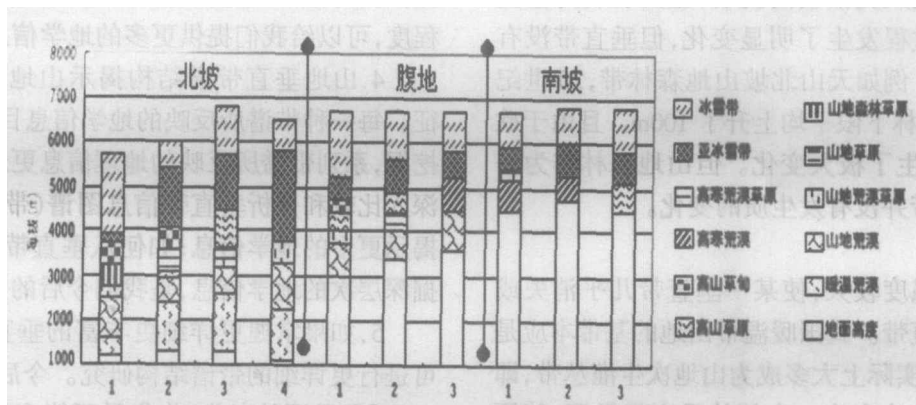


图2 昆仑山数字垂直带谱

Fig.2 Digital altitudinal belt spectra in Kurlun Mts.

山地垂直带谱系统结构可以归纳为表2。二级和三级带谱在不同自然地带内分化的表现可能有很大的差异,只能根据具体情况进行分析。

#### 4 垂直带谱的生态分类

山地是由若干垂直带有机组成的巨型复杂生态系统。在自然因素和人类活动共同作用下,它们都发生了不同程度的生态变化。为了全面认识山地垂直带谱的性质,作者将山地垂直带谱作为一个整体,对它们进行生态分类。根据我们对中国垂直带谱的分析,可以区分出五种生态类型:

##### 4.1 顶极垂直带谱

指任何一个自然地带内有足够高度的山地上发育的垂直带最丰富、结构最完整的带谱。根据这一定义,自然地带内可能已经发育了顶极带谱,也可能由于缺乏高山而没有发育。顶极带谱的概念与顶极

群落的概念相似,前者与一定的自然地带和山体高度相联系,后者与一定的气候条件相联系。顶极带谱的概念提供了一定自然地带内潜在的带谱结构,能够作为分析和研究地带内各种带谱的标准参照系。

##### 4.2 基本垂直带谱

正常发育在相应于水平地带内的垂直带谱。与全国31个自然地带对应,理论上应有31个系列,包括在青藏高原上发育的高原地带性上的高寒垂直带谱。

##### 4.3 过渡/特殊垂直带谱

特殊的地生态现象产生的带谱类型。例如,横断山区存在特有的干旱河谷现象,从而在基带之下发育了河谷灌丛带(图1);昆仑山腹地发育了以山地荒漠为基带的垂直带谱(图2),它可以看成是暖温带荒漠带谱向青藏高原高寒荒漠带谱过渡的带谱类型。因而,如果包括过渡/特殊垂直带谱,我国的一级带谱就要超过31个。

表 2 山地数字垂直带谱的等级体系  
Table 2 The hierarchy of digital altitudinal belts

带谱等级	名称	特征	举例
一级垂直带谱	垂直带谱系列	具有相同的基带 (水平自然地带)	落叶阔叶混交林 棕色森林土带谱 半干生落叶阔叶林 淋溶褐色土带谱 半干生落叶阔叶林 林与森林草原- 褐色土带谱 干草原-黑 垆土带谱
二级垂直带谱	垂直带谱群组	具有相同特征 垂直带	
三级垂直带谱	垂直带谱类型	垂直带数量及 组合结构相同	
山地垂直带谱的 宏观控制条件	自然区/温度带	控制大气候条件	中国东部季风区/暖温带

#### 4.4 扰动垂直带谱

垂直带受到人类活动的扰动,主要表现为垂直带界限及生态过程发生了明显变化,但垂直带没有发生质的变化。例如天山北坡山地森林带,20 世纪 50 年代以来,森林下限平均上升了 100m。且由于砍伐,森林生态发生了极大变化。但山地森林作为一个完整的垂直带并没有发生质的变化。

#### 4.5 次生带谱

人类活动强度较大,使某一垂直带几乎消失或产生了新的垂直带。我国暖温带山地的基带本应是落叶阔叶林,但实际上大多成为山地次生灌丛带,即山体底部人为地改变为一个新的垂直带类型,使原有的带谱结构发生了巨大变化。次生带谱反映了最严重的人类干扰活动。

顶极带谱实质上是理想的垂直带谱;基本垂直带谱及过渡/特殊垂直带谱是自然界一般规律和局部规律的反映;扰动带谱和次生带谱反映人类活动对山地环境结构的影响程度。实际上纯粹的基本带谱都不同程度地受到人类活动的影响。即使界限没有变动,生态过程也必定受到了干扰。

### 5 结论与讨论

1. 山地垂直带谱数据表的创建可以将全国所有山地垂直带谱纳入统一的数字化与可视化体系之中,进而可以进行全面的定量分析。

2. 我国有 31 个基本带谱系列。带谱体系可以分成三级:带谱系列,带谱群组和带谱类型。根据生态状态,山地垂直带谱可以分成顶极带谱、基本带谱、过渡/特殊带谱、扰动带谱和次生带谱。

3. 在一定的地域单位内,山地垂直带具有一定的排列顺序。如果出现异常,可以肯定是特殊地生

态现象作用的结果。另外,比较垂直带谱的结构变化,可以在某种程度上揭示人类活动对自然的改变程度,可以给我们提供更多的地学信息。

4. 山地垂直带谱结构揭示山地环境的内在特征。每一种带谱所反映的地学信息目前还未能充分挖掘,系列带谱所反映的地理信息更未能全面挖掘。深入比较和分析垂直带信息图谱(带谱系列),可以揭示更多的地学信息;如何从垂直带结构分析来挖掘深层次的地学信息,是我们今后的重要课题之一。

5. 如果掌握更详细更丰富的垂直带谱系列,就可进行更详细的带谱结构研究。今后需要利用 RS/GIS 手段及野外工作,收集尽可能多的带谱,便于进行山地垂直带信息图谱的深入研究。

6. 山地垂直带谱除了数字结构和体系外,地理位置是必不可少的。建立带谱的地理位置就是将带谱与一定的地理区域进行数字连接。其方法主要有两种:简单的方法是利用 MapInfo 公司为 Microsoft Excel 提供的数据库及格式,能较为简明地实现了这个功能。较为专业的方法是在 GIS 软件(Arcview 或 ArcGIS)里进行二次开发实现带谱与地理位置的数字连接。

7. 山地垂直带客观上是多维的。进行三维垂直带谱研究能够更加深入地揭示山地复杂的多维特征。这是今后山地基础研究工作的一个重要突破点。

#### 参考文献:

- [1] Troll, Carl (ed.). Geocology of the High Mountain Regions of Asia [M]. 1972. Steiner, Wiesbaden.
- [2] 刘华训.我国山地植被的分布规律[J]. 地理学报, 1981, 36(3): 267 ~ 279.
- [3] 牛文元.自然地理新论[M]. 北京:科学出版社, 1981
- [4] 牛文元.自然地带性的理论分析[J]. 地理学报, 1980, 35(4),

- 288 ~ 298.
- [5] 陈昌笃. 侯学煜教授的学术贡献[A]. 见: 植被生态学研究—纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994. 24 ~ 36.
- [6] 侯学煜. 论中国各植被区的山地垂直植被带谱的特征[A]. 见: 中国植物学会三十周年年会论文摘要汇编(中国植物学会)[C]. 1963. 254 ~ 258.
- [7] 侯学煜, 张新时. 中国山地植被垂直分布的规律性[M]. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980. 738 ~ 745.
- [8] 张新时. 中国山地植被垂直带的基本生态地理类型[A]. 见: 植被生态学研究—纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994. 77 ~ 92.
- [9] 张新时. 西藏植被的高原地带性[J]. 植物学报, 1978, 20(2): 140 ~ 149.
- [10] 姜恕. 论青藏高原及其边缘山地的植被地带分异[A]. 见: 植被生态学研究—纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994. 100 ~ 111.
- [11] 王秀红. 青藏高原干旱草甸层带[J]. 山地研究(现《山地学报》), 1997, 15(2): 67 ~ 72.
- [12] Zhang Baiping. Geocology and Sustainable development in the Kunlun Mountains, China[J]. Mountain Research and Development, 1995, 15 (3): 283 ~ 292.
- [13] Du Zheng, Qingsong Zhang & Shaohong Wu (ed.). Mountain Geocology and Sustainable Development of the Tibetan Plateau[M]. 2000. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London.
- [14] 喀喇昆仑山植被垂直带及其地域分异[A]. 见: 植被生态学研究—纪念著名生态学家侯学煜教授[C]. 北京: 科学出版社, 1994. 93 ~ 99.
- [15] 陈述彭. 地学信息图谱探索研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2001.
- [16] 齐清文, 池天河. 地学信息图谱的理论与方法[J]. 地理学报, 2001, 56(增刊): 8 ~ 18.
- [17] 陈述彭, 岳天祥. 地学信息图谱研究及应用[J]. 地理研究, 2000, 19(4).
- [18] 周成虎, 李宝林. 地球空间信息图谱初步探讨[J]. 地理研究, 1998, 17(增刊): 10 ~ 16.
- [19] 黄秉维. 中国综合自然区划[M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [20] 郑度. 青藏高原的自然地带[J]. 地理学报, 1979, 36 (1): 1 ~ 11.

## Digital Spectra of Altitudinal Belts and Their Hierarchical System

ZHANG Bai-ping, YAO Yong-hui, MO Sheng-go, and TAN Ya

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 China)

**Abstract:** This paper constructs a special data structure model for montane altitudinal belt spectra (mabs) and thereby realizes digitalization and visualization of mabs. A three-level hierarchy is drawn from mabs classification; the first level is "spectra series" with same base belt. A total of 31 basic spectra series can be generalized for China; the second level is "spectra group" with same characteristic belts; the third level is "spectrum type" with same altitudinal belt combination and structure. Five ecological types of mabs are also distinguished as follows: (1) climax mabs, related with regional climate, (2) standard mabs, related with main mountains, (3) special/transitional mabs, related with special geocological phenomenon, (4) disturbed mabs, related with human disturbances, and (5) secondary mabs, related with intensive human activities. Digital comparison and analysis of mabs could reveal more geographical information than ever before.

**Key words:** digital altitudinal belts; hierarchical system for altitudinal belt spectra; ecological classification of altitudinal belt spectra