



陈曦 总主编

《亚洲中部干旱区生态系统评估与管理》丛书

Series on "Ecosystem Assessment and Management of Arid Region in Central Asia"

RESPONSES OF MOUNTAIN
ECO-ENVIRONMENT TO CLIMATE CHANGE

山地环境生态对 气候变化的响应

陈曦 Д.М. 玛玛提卡洛夫 等 编著



中国环境出版社

陈曦 总主编

《亚洲中部干旱区生态系统评估与管理》丛书

山地环境生态对气候变化的响应

Responses of Mountain Eco-environment to Climate Change

陈曦 Д.М.玛玛提卡洛夫 等 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

山地环境生态对气候变化的响应/陈曦等编著. —北京: 中国环境出版社, 2016.11

(亚洲中部干旱区生态系统评估与管理丛书)

ISBN 978-7-5111-2911-6

I. ①山… II. ①陈… III. ①山地—生态环境—关系—气候变化—研究—吉尔吉斯 IV. ①X321.364②P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 224951 号

出 版 人 王新程
责任编辑 陈金华
助理编辑 宾银平
责任校对 尹 芳
封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (第二分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2016 年 12 月第 1 版
印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 15 插页 3
字 数 356 千字
定 价 128.00 元



【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换



内容简介

本专著试图从大气环流与水循环之间相互关系的角度，揭示气候变化对天山西部山地（吉尔吉斯斯坦）生态系统循环关键过程机理，对气候变化影响关键过程的指标性因子及要素的时空分布、变化过程进行分析和诊断，预估未来气候变化情景下山地生态系统的~~关键过程~~的可能变化及其不确定性。在气候变化背景下，为进一步开展山地生态系统变化情景和资源安全评估提供科学依据。

《亚洲中部干旱区生态系统评估与管理》丛书

编 委 会

总主编：陈 曦

编 委：（按姓氏拼音排序）

包安明 胡汝骥 吉力力·阿不都外力 李 彦 李耀明 罗格平
罗 毅 王亚俊 吴 淼 肖文交 徐俊荣 杨德刚 杨 辽
杨维康 张 弛 张建明 张元明 周宏飞 周可法

Salamat ALAMANOV

David BLANK

Ramazan KUZIEV (P. K. Кузиев)

Ernazar MAHMUDOV

Dyuxin MAMATKANOV

Ahmatkal MEDEU

Xavket RAHIMOV

Kadimbek SAKIYEV

Abudulla SAPAROV (A. C. Сапаров)

Gulnara SITPAYEVA

Rustan USMANOV



序 一

自工业革命以来，以全球变暖为主要特征的全球气候变化问题日益突出，这种变化已经并将继续对自然生态系统和人类社会经济系统产生重大影响，成为人类可持续发展最严峻的挑战之一。中亚位于欧亚大陆的中心，远离海洋，气候干旱，受西风环流、北冰洋高纬气团和印度洋暖湿气流的交错作用，使得该区域温度、湿度变化较大，极端气候事件频发，生态系统脆弱，是全球变化的敏感区域。研究发现，近百年来，中亚区域地表温度呈现加速上升趋势，平均增温 0.74°C ，显著高于全球百年平均值。由此，导致了天山和阿尔泰山区的冰川面积持续减小，近 40 年缩减了 15%~30%，区域水系统、农业系统和生态系统都发生了明显变化。

生态与环境问题一直是中亚各国政府关切的重要问题，中亚生态系统灾变——咸海生态危机更引起了国际社会的高度关注，联合国、上海合作组织以及中国政府都提出了相应的应对计划。2011 年 9 月，上海合作组织峰会发布了联合开展中亚区域生态系统保护的倡议。研究全球气候变化对中亚生态系统的影响和对策，对保障我国和中亚区域的国际生态安全、经贸通道的安全和发展意义重大，并可促进上海合作组织应对气候变化的科技合作。《亚洲中部干旱区生态系统评估与管理》系列专著是国内外 40 多家科研院校百余名科研工作者三年多的研究成果，是上海合作组织成员国第一次大型资源与环境科技合作的研究成果。该系列专著对中亚区域基本气候和自然地理特征、生态系统变化规律

进行了评估，内容丰富，科学性强，在我国尚属首次，具有重要的科学和实用价值，对研究全球气候变化条件下中亚地区生态系统的响应与适应特点，维护该区域生态安全具有重大的科学意义，对建设丝绸之路经济带具有重要的参考价值。

秦大河

2014 年 12 月 4 日



序 二

新疆和中亚是亚欧内陆干旱区的主体，集中了全球 90% 的温带荒漠，是世界上独一无二的巨大温带荒漠生态系统，该区域独特的山地—绿洲—荒漠生态系统格局具有全球意义。亚欧内陆干旱区主要受西风环流以及北冰洋高纬气团、印度洋暖湿气流的影响，形成显著区别于非洲、美洲和大洋洲的水热组合，使其生态系统对全球气候变化响应过程独特而复杂。同时，该区域的植物是中亚植物区系与青藏、蒙古和古地中海的交汇区，对温度、水分变化十分敏感。

中亚区域生态系统十分脆弱，气候变化和人类活动影响极易引起生态系统的变化，甚至发生重大的生态灾难。中亚五国之间以及与新疆之间国际跨界河流交错，生态系统和自然地带相连贯通，局部的生态系统变化亦可导致国际性生态问题。中亚咸海的逐步消亡成为世界著名的区域性跨国生态灾难。近年来，降水和温度的变化导致了该区域生态系统对全球气候变化的响应表现出更大的不确定性和复杂性，极端灾害事件更易发生。因此，深入开展全球气候变化背景下中亚生态系统变化和管理研究，对保障该区域生态安全、促进社会经济的可持续发展具有重大意义。

2012 年我和项目组成员一起考察了中亚的巴尔喀什湖流域和咸海流域，深切感受到中亚国家对生态系统保护和修复的热切期望。《亚洲中部干旱区生态系统评估与管理》系列专著凝聚了哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦众多科学家以及国内 18 家科研院校百余名科技工作者



三年多的研究成果，是国际上首次对这一区域生态系统评估和管理的系统性研究成果。该系列专著对中亚区域气候、植物、动物、土壤、土地覆被变化进行了综合分析和评估，提出了中亚生态系统管理的对策和建议，资料和数据翔实，观点明确，具有重要的科学意义和应用价值，对该区域生物多样性保护、生态系统安全保障和促进上海合作组织生态与环境合作具有重大意义。

傅伯杰

2014年12月5日



前言

中亚位于欧亚大陆腹地，是典型的大陆性干旱气候，占世界干旱区面积的 1/3。地理上广义的中亚地区是指里海以东的亚洲腹地地区，包括中亚五国（哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦）以及中国、蒙古、俄罗斯、阿富汗、伊朗的部分地区。而通常意义上的中亚地区是指上述中亚五国，土地面积约 400 万 km²，人口 5 890 万。

中亚是全球气候变化的敏感地带，全球气候变化对中亚生态与环境产生了重大影响，生态与环境问题一直是中亚各国政府关切和研讨的重要问题，也是历届上海合作组织峰会研究的焦点，全球气候变化导致区域生态与环境问题对中亚社会—经济系统的影响是深远的。研究表明，中亚地区自 20 世纪初以来气温在持续上升，天山和阿尔泰山区的冰川面积持续减小，近 40 年已经缩减 15%~30%，导致了区域水系统、农业系统和生态系统的变化。同时，20 世纪初开始的大规模土地开垦引起的咸海生态危机等生态环境问题，更加剧了该地区生态与资源的竞争局面。因此，研究全球气候变化背景下的中亚地区资源与生态环境问题，对该区域生态环境保护与改善、社会经济的可持续发展意义重大，将为上海合作组织成员国生态保护与资源开发提供科学支持。

2010 年科技部设立的国家国际科技合作项目“中亚地区应对气候变化条件下的生态环境保护与资源管理联合调查与研究”（2010DFA92720）、中国科学院和国家外国专家局设立的创新团队项目“中亚生态系统样带研究”（KZCX2-YW-T09）、联合国开发计划署（UNDP）资助项目“亚洲中部干旱区典型区域应对气候变化的生态系统管理”（0076478），由新疆维吾尔自治区科技厅组织，中国科学院新疆生态与地理研究所牵头，联合了国内 17 家科研院校和中亚国家 26 家单位共同承担。国内 17 家单位，包括新疆大学、新疆农业大学、新疆师范大学、新疆农业科学研究院、新疆林业科学研究院、新疆畜牧科学研究院、新疆社会科学院、中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所、新疆遥感中心、中亚科技经济信息中心、中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院南京地理与湖泊研究所、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院深圳先

进技术研究院、中国科学院遥感应用研究所、浙江大学、兰州大学；中亚国家 26 家，包括哈萨克斯坦土壤与农业化学研究所、哈萨克斯坦植物研究所、哈萨克斯坦动物研究所、哈萨克斯坦地理研究所、哈萨克斯坦林业研究所、哈萨克斯坦国立大学、哈萨克斯坦农业大学；吉尔吉斯斯坦地质研究所、吉尔吉斯斯坦水问题研究所、吉尔吉斯斯坦奥什大学、吉尔吉斯斯坦农业大学、吉尔吉斯斯坦国立大学；乌兹别克斯坦遗传研究所、乌兹别克斯坦土壤研究所、乌兹别克斯坦灌溉与水问题研究所、乌兹别克斯坦植物与动物研究所、乌兹别克斯坦国立大学；塔吉克斯坦地质研究所、塔吉克斯坦植物研究所、塔吉克斯坦动物研究所、塔吉克斯坦国立大学、塔吉克斯坦农业大学、塔吉克斯坦农业科学院、塔吉克斯坦水问题研究所；土库曼斯坦沙漠与动植物研究所、土库曼斯坦国立大学。

经过三年多的合作研究，中国科学家与中亚各国科学家共同完成了前述 3 个项目资助的系列专著的编写，采取项目首席领导下的总主编、卷主编、章主笔负责制，共撰写专著 18 部（中文、英文、俄文）：中亚自然地理、中亚地质地貌、中亚土壤地理、中亚环境概论、中亚植物资源及其利用、中亚野生动物生态现状与保护管理（英文）、中亚生态系统演变与数据挖掘（英文）、中亚干旱生态系统对全球变化响应的模型模拟（英文）、中亚经济地理概论、中亚土地利用与土地覆被变化、气候变化对山地生态系统的影响（中文、俄文）、吉尔吉斯斯坦自然地理（中文、俄文）、哈萨克斯坦土壤与土地资源（中文、俄文）、乌兹别克斯坦水资源及其利用（中文、俄文），每部专著均有数十万字。本系列专著阐明了中亚区域气候、植物、动物、土壤和生态系统变化状况，预测了未来不同情境下生态系统变化趋势，提出了气候变化背景下中亚区域生态系统和自然资源管理的对策。

中亚干旱区资源和生态研究是一项长期的工作，本次出版的系列科学专著是对该区域气候变化下生态保护与资源管理的首次系统阐述，为中亚地区的可持续发展提供了科技支撑。本项研究得到了科技部、中国科学院、新疆维吾尔自治区人民政府的大力支持以及新疆科技厅精心的组织、中外同行的大力协作和全体研究人员的不懈努力，使得这些专著得以问世。这些研究成果是一项集体劳动的结晶，对于各位同仁的奉献，在此一并致谢。

因是首次系统研究中亚资源和环境问题，难免存在不足之处，敬请指正。



2014 年 11 月 28 日



本卷前言

全球气候变化已是不争的事实。政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告指出: 全球平均地表温度在过去的 130 多年 (1880—2010 年) 升高了 0.85°C , 过去的三个 10 年连续比之前自 1850 年以来的任何一个 10 年都偏暖, 观测到的 1951—2010 年全球平均地表温度升高了一半以上, 这些极有可能是由人为温室气体浓度增加和其他人为强迫因素共同造成的。气候变化已被认为是威胁世界环境、人类健康和全球经济可持续发展的最危险的因素之一。气候变化对自然系统和社会的影响巨大, 它将会影响到人类生活的方方面面, 包括农业和工业生产、市政和居民生活等等, 其中 3 个重要的方面就是引起自然生态系统破坏、生物多样性减少、资源环境变化。

山地不仅仅是“无尽财富”的守护者, 而且也是重要的陆地生态系统。天山山系横亘于世界最大的干旱区——亚洲中部干旱区。山的顶点, 水的源头, 生命和谐的源地, 人类幸福生活的家园!

山地蕴藏着丰富的自然资源和能源。山区形成了对人类生存至关重要的自然财富——水资源。流经富饶平原的河流给予了在此地区的生物以生命、人类以生存; 而山地雪冰水资源则是主要的淡水蓄积宝库; 森林灌木或草地是涵养土壤、优化环境的重要因素, 在山区起着至关重要的作用, 继而促进了动植物多样性的保护。山地在地生态系统的形成中扮演着重要角色, 但其本身也是一个脆弱的自然系统, 遭受着自然灾害 (地震、崩塌、雪崩、洪水、融冻和泥石流) 和人类活动的影响。

气候变化是目前和未来人类社会面临共同问题。了解自然变化和人类活动对山地生态系统的影响是国际地球科学发展最为关键的问题, 必须进行深入研究, 天山山地生态系统就是地球上巨大的山地之一。吉尔吉斯斯坦共和国位于天山西部, 国土面积为 19.85 万 km^2 , 山地众多, 山脉纵横, 山地占国土面积的 93%, 近一半国土分布在海拔 3 000 m 以上, 全国平均海拔高度为 2 750 m, 素有“山地之国”称号。本书论述了天山西部吉尔吉斯斯坦山地生态与环境的特征, 评估了气候变化对山地冰川、湖泊、水文与水资源的影响, 阐述了天山西部山地生态系统关键要素的变化过程, 分



析了山地水能资源开发的可行性和必要性,预估了未来气候变化情景下,山地生态系统关键过程的可能变化及其不确定性。同时,对天山西部重要区域楚河流域和伊塞克湖流域的山地系统进行了系统分析。在气候变化背景下,为进一步开展山地生态系统保护和资源安全提供了科学依据。

经过中吉两国科学家的共同努力工作,这部专著的俄文、中文版已先后完成。这两个版本的总体结构和学术思想是统一的,但在其具体的章节内容上有所增减。本书共分5章:第1章系统阐述山地自然环境生态的形成及其基本特征;第2章重点分析了气候变化对山地自然环境特别是水资源的影响评估;第3章针对典型流域对气候变化的响应进行评估;第4章重点讨论典型湖泊水系对气候变化的响应评估;第5章对山地生态系统潜在水能资源进行利用评估。吴淼、贺晶晶、郝韵、岳萍、王艳丽、吾云别列克等完成了俄文、中文版文字转换间的语句修饰。葛拥晓、阿布都米吉提·阿布力克木组成的技术小组对书中图、表等做了卓有成效的工作。以上同志为完成本专著提供了保障,在此表示衷心的感谢。全书由胡汝骥、王亚俊和葛拥晓同志编辑、统稿,最后由陈曦和 Д.М.玛玛提卡洛夫审定。

本书是在科技部国际合作项目“中亚地区应对气候变化条件下的生态环境保护与资源管理联合调查与研究”(2010DFA92720)和中国科学院、国家外国专家局创新团队项目“中亚生态系统样带研究”(KZCX2-YW-T09)及联合国 UNDP 资助项目“亚洲中部干旱区典型区域应对气候变化的生态系统管理”(0076478)的支持下完成的。感谢科技部、中国科学院和国家外国专家局、联合国 UNDP 及新疆维吾尔自治区科学技术厅的大力支持。中国科学院新疆生态与地理研究所从事中亚研究的同事们在本书写作过程中都给予了热情支持和帮助,中国环境出版社的同志们承担本书出版任务,尽心竭力使本书得以圆满问世。在此,敬致衷心的感谢!

由于时间仓促,书中不妥之处,敬请指正。

编 者

2016年5月6日



目录

第 1 章 山地环境生态地理特征	1
1.1 地质构造与地貌	2
1.2 气候环境与资源	9
1.3 水文水资源及其利用	28
1.4 山地土壤特征	70
1.5 生物及其环境背景	75
参考文献	81
第 2 章 气候变化对山地生态系统的影响	84
2.1 山地气候变化的趋势	84
2.2 楚河流域气候变化	92
2.3 伊塞克湖流域的气候变化	107
2.4 山地水环境对气候变化的响应	116
2.5 冰川对气候变化的响应	140
参考文献	150
第 3 章 楚河流域生态系统特征	152
3.1 地质与地貌	152
3.2 气候环境	154
3.3 水系与冰川	159
3.4 生物环境与景观类型	164
参考文献	171
第 4 章 伊塞克湖流域生态系统特征	173
4.1 伊塞克湖的研究	173
4.2 地质与地貌	174
4.3 流域土壤环境	175
4.4 流域生态环境特点	177

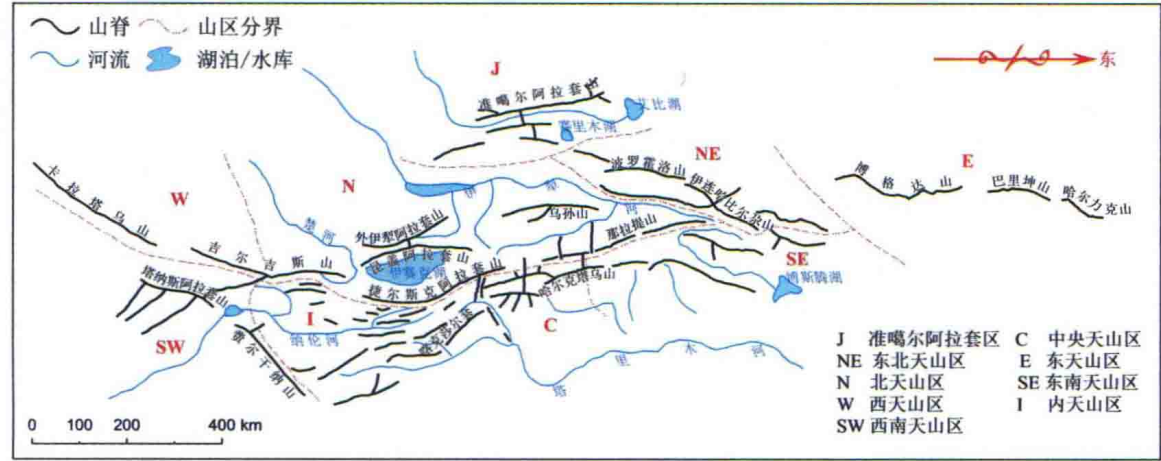


4.5 流域水文与水资源变化趋势.....	189
参考文献.....	216
第 5 章 山地潜在水能资源利用评估	218
5.1 山地河湖水能资源.....	218
5.2 潜在水力资源利用评估.....	219
参考文献.....	224

第 1 章 山地环境生态地理特征

天山山脉位于欧亚大陆腹地，是世界最大的干旱区——亚洲中部干旱区的脊梁。天山山脉以南为卡拉库姆盆地（沙漠）、塔里木盆地和河西走廊，以北为哈萨克丘陵、准噶尔盆地和南蒙古低山丘陵，向西隐没于图兰低地，或渐变为哈萨克丘陵，东端在蒙古境内变为戈壁荒漠。在中国境内，阿尔金山和祁连山与其毗邻；在中亚地区，帕米尔与天山遥相呼应。总体上看，天山山脉西宽东窄，呈近东西向延伸，横贯中亚诸国，从乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦等国，向东通过中国新疆中部，甘肃省北部（河西走廊）和内蒙古自治区西部，终结于蒙古国西南部的戈壁天山，绵延近 4 000 km，其最高峰为位于中国境内的托木尔峰，海拔 7 436 m（胡汝骥，2004；李锦轶等，2006）。

与总体近东西延伸形成鲜明对比的是，组成天山山脉的山系分别呈现为向南南西凸出的弧形（中亚地区）、北东东走向的 S 形波状弯曲（阿赖山—哈尔克山—霍拉山）和近东西走向的波状弯曲（博格达山—哈尔力克山）。阿赖山—哈尔克山—霍拉山为连续性完好的延伸最长的线性山系，而其北侧的山系和盆地则呈雁行式相间排列，向南东汇聚收敛，它们构成天山山脉西段巨型的帚状样式。库尔勒市以东、吐（鲁番）哈（密）盆地以南的东天山和北天山地区为荒漠戈壁和低山丘陵（图 1-1）。在中国新疆西部国境线附近，山系继续呈北东东走向，中国境内天山山脉中的盆地都呈现为长轴近东西走向的菱形。这一复杂的内部地貌特征反映出天山山脉地壳结构和地质的复杂性。





从地质构造角度看,天山山脉是由古生代陆缘增生—碰撞造山作用和新生代晚期陆内造山作用形成的。在该山脉中,赋存有丰富的能源和矿产资源,以及大陆地壳形成演化的大量重要信息。长期以来,对于天山山脉究竟包括哪些山系,该区地壳结构如何,不同山系之间存在着什么样的内在联系,该山脉是如何形成与演化的,该区自然资源和能源的时空分布规律等重大问题,在科学界一直存在不同的认识。吉尔吉斯斯坦位于天山西部,国土面积的95%为海拔1 000 m以上的山地,地理位置优越,试图以此地区为重点揭开天山山脉神秘的面纱,查明并开发利用自然资源与能源,使其更好地为人类生存繁衍服务。

吉尔吉斯斯坦(Kyrgyzstan)全称为“吉尔吉斯共和国”(Kyrgyz Republic),位于欧亚大陆腹地,中亚的东北部,地理位置处于 $69^{\circ}15'\sim 89^{\circ}13'E$ 、 $39^{\circ}10'\sim 43^{\circ}15'N$,东西长925 km,南北宽453.9 km,国境线总长4 508 km,中国和吉尔吉斯斯坦的边界线通常被认为是1 100多km。吉尔吉斯斯坦境内多山,北面和东北面接哈萨克斯坦,南邻塔吉克斯坦,西南毗连乌兹别克斯坦,东南和东面与中国接壤(共同边界1 100多km)(图1-2)。

吉尔吉斯斯坦境内多山地,垂直海拔落差很大(从142 m到7 439 m),全国平均海拔为2 750 m,其中1/2的地区海拔为1 000~3 000 m,1/3的地区海拔为3 000~4 000 m,因此素有“山地之国”之称。全国海拔均在500 m以上,天山山脉西段盘踞境内东北部,西南部为帕米尔-阿赖山脉。高山常年积雪,多冰川。山地之间有伊塞克湖盆地、楚河谷地等。低地仅占土地总面积的15%,主要分布在西南部的费尔干纳盆地和北部楚河谷地,塔拉斯河谷地一带。海拔1 500 m以下的山洼地多为季节性牧场。

1.1 地质构造与地貌

天山山地生态系统具有丰富的、形成于所有的地质年代的地貌多样性和复杂的地质构造。

吉尔吉斯斯坦几乎全部国土均位于天山范围内,只有西南部分属于帕米尔-阿赖山系。超过3/4的国土分布在海拔1 500~3 500 m,其中部分超过海拔6 000~7 000 m。最高峰是胜利峰,海拔7 439 m。吉尔吉斯斯坦为典型的山地地形,总体呈分割状山脉系统特征,这些山脉多为从东向西沿纬度方向分布,山间为面积、海拔高度不一的谷地和盆地(图1-3)^①(Исаев Д.И., и др., 1964; Кузьмиченок В.А., 2003)。

从巨大的汗腾格里山脉中心向西分出3条主要弧形分支:北线、中部弧线和南线(图1-4)。

北向分支的山脉主要有:外伊犁(Заилий)、昆格-阿拉套(Кунгей-Ала-Тоо)、吉尔吉斯(Кыргыз)和塔拉斯(Талас)等山脉,从其中部分出苏萨梅尔(Суу-Самыр)、朱姆加尔(Джумгал)、卡奇科尔(Кочкор)和伊塞克湖盆地。

^①Горы Кыргызстана. - МИГ. Бишкек, 2000. - 465 с.