

山区水力资源的 研究和利用

苏联 C. B. 克洛包夫著

水利电力出版社

С. В. КЛОПОВ
ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
РЕСУРСОВ ГОРНЫХ РАЙОНОВ
ИЗД. АН СССР МОСКВА 1952

山区水力资源的研究和利用
根据苏联科学院出版社1952年莫斯科版翻译
周 鹏等译

1141S293

水利电力出版社出版(北京西郊科学路二里湾)
北京市书刊出版业营业登记证出字第105号
水利电力出版社印刷厂排印 新华书店发行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 4印张 * 87千字
1958年9月北京第1版
1958年9月北京第1次印刷(0001—2,950册)
统一书号: 15143·953 定价(第10类) 10.60元

校閱者序言

科学技术副博士 C.B.克洛包夫所著“山区水力資源的研究和利用”一書是作者多年来研究山区水力資源特点的成果。

本書系根据大量各种不同的实际材料所写成。書中根据山河逕流水能利用的观点，对山河流域的自然条件进行了分析；以及为了发展国民經济的动力基地，确定出最有效地利用山河水能的条件和原則。作者曾研究了並按照新方法提出了山河水力資源的一些計算問題，書中特別注意到山河水力发电厂出力季調节的問題和高山地帶小河流水能利用的問題。

作者論述了：为了建立山区的地方动力基地，有效开发高山地帶小河流河口梯段的可能性，以及利用高山湖泊（冰成湖）和高山地帶逕流建筑有調节的中型水力发电厂的合理性。書中研究了建造河谷水庫的条件；根据河谷水庫与堵塞型湖泊的比較，証明可以应用人工堵塞来建造拦河坝。書中对水文計算的一些問題亦进行了分析，並提供了一些关于山河流域的逕流和泥沙的計算公式。

本書內的結論和綜合材料，系作者本人多年来参加苏联科学院綜合考察队及边区和中央設計勘察机关的工作中所收集的。

C.B.克洛包夫的研究指出，在最低限度利用火力发电厂的条件下，有可能保証山区国民經济的可靠的和經济的动力供应。

目 錄

校閱者序言

第一章 山区河流水能利用的特点和意义	3
1. 山区电力平衡的特点	3
2. 大山河和小山河的特征对山河的研究程度和 对其利用的情况	6
3. 山河的自然地理特点和动能特点	9
4. 山河水力资源的特点及其估算方法	21
第二章 山区河流水能开发的基本方式	46
1. 山区河流开发方式的典型型式	46
2. 关于规划设计、水文计算和山河水力发电厂建筑方 法的几个问题	51
3. 山河水能开发的基本方式	70
4. 高山地带小河流河口梯段的水能利用	74
5. 小型水力发电厂是偏僻山区的主要动力基地	77
第三章 利用高山地带逕流以调节山区河流的能量	78
1. 山河水力发电厂的能量调节条件	78
2. 利用山湖盆地进行高山地带逕流的季调节	85
3. 利用坡地排水和在小山溪上筑坝来集中高山地带逕流	88
4. 利用本身多余的季节能量抽水蓄能	89
5. 超高水头的利用	91
6. 冰成湖旁的调节水力发电厂的效益	92
結 論	96
参考文献	99

第一章 山区河流水能利用的特点和意义

1. 山区电力平衡的特点

自然历史、經濟和地理等因素决定着苏联山区国民經济結構的特点。一般山区山麓的特征通常是发展高产量的农业，这样的农业是与食品工业企业密不可分的。在山区地带发展着采矿工业。用以放牧牲口的高山上的草地是畜牧业最富有的飼料基地。在山区內紧张地采伐着各种名贵的木材（山毛榉、銀松、杉松、落叶松和其他木材）。在南部山区的大片土地上长滿着果木林，而河谷地带种植着果树和葡萄。有些山区对修建人民疗养院和发展疗养事业具有重要的意义。

許多山河拥有巨大的蘊藏容量。开发山区河流水能时，最主要的綜合利用通常是：灌溉山麓土地、浮运木材和利用逕流調节来防洪。

农业是山区和山麓区动力的主要用戶之一。随着在山区河流、溪澗和灌溉渠上大批建設水力发电厂，最繁重的劳动过程得以不断地机械化和电气化，因而农业亦就不断地发展。

最大的村庄常常座落在山麓地方。而在山谷各地方村庄常常分散成一簇簇的房屋群，这些房屋群沿着河流成带状地伸展着，貫穿其間的峡谷也难以把村庄隔开。在山坡上和在高山地帶小河流河谷上，散佈着单独的农場和生产力不大的企业。高山地帶牧場区內的某些山区居住地（如夏季居民、野營帐篷等）具有流动的性质，往往在冬季时迁移至別处。

由于山区的困难条件建立远距离輸送少量电力的輸电綫，往往是不合算的，因此，假如較大的山麓和某些山区居民区可以由容量較大的发电厂供給电力的話，那么較小的山区居民区、农場和企业的电力，就应当由小型的、通常是单独的发电厂供給。

利用灌溉渠道跌水处的水能，对山麓地带的农业电气化具有重大

的意义。跌水处的水力发电厂可以供给田间作业电气化、灌溉抽水、人工降雨、抽吸井水、用竖井抽水来防止盐渍土时所需的夏季峰荷电力。这样，利用跌水处的水能就可以扩大耕种面积。森林工业用的水力动力装置亦是属于农村动力站的一类。

矿山、冶金和化学等工业是属于山区的第二类水电用户。这一类企业与分散的农村居住地不同，它要求大量的集中的出力，并不断地供电，某些工业还需要不断地供应蒸气。

属于另一类的山区电力用户有：疗养地、疗养所、旅行地区、登山运动野营和其他等等，有时它们集中成为较大的居住地，但有时却单独地一簇簇地零星分散在山上。对于后一种情况而言，应当由较小的发电厂供电，因为要把它们联合起来统一供电通常是不可能的。

山麓地带的城市和工业企业需要很大的出力，它们刺激着山河水能利用的发展。

电气化运输(铁路的、无轨的和索道的)也是山区电力大量消耗者之一。

山区电力用户的可能类型可以按照出力的大小和电厂的分布地区来进行分类，可制成下列粗略的分类表(表1)。

具有很多河流的山区，其国民经济发展的基础应当以水电为主，但是直到目前为止，在有些山区的电力平衡中，水电的作用仍然不大。

可以举出某山区的例子来说明不合理地发展山区动力的情况。虽然在这个山区内水力发电厂装机容量的比重是相当大的，但是由于这些水力发电厂的调节性能不好，因而不能保证担负全部负荷。这个山区有着先进的农业、发展着的矿山工业和地方工业、大量的疗养事业和电气化运输。

在这个地区动力发展的某一阶段中，负荷分配的比重为：

无调节中型水力发电厂.....70%

中小型火力发电厂(用外来的固体或液体燃料).....30%

在冬季时，无调节水力发电厂的出力会大大地降低，水力发电厂只能供给所需发电量的35~40%。

表 1

山区水力发电厂电能的主要用户

水电用户	主要的分佈地区	用电季节和所需出力数	可能的动力来源
1. 农业和林业			
大集体农庄和村落	山麓地带, 間或在主 要山谷地带	全年数百和数千瓩	小水力发电厂或电力系统 的变电所
不大的山村和集体农 庄	山谷地带	全年数十瓩	小水力发电厂和水力机 械装置
农場和农产品加工厂	山谷和高山地帶牧区	数个或数十瓩 (主要为 夏季用电)	小水力发电厂和水力机 械装置、微小水力发电 厂
需要灌溉的耕地 (水 泵供水和人工降 雨)	山麓地带	数百和数千瓩 (夏季用 电)	灌溉渠道跌水处的水力 发电厂
木材加工和木材工厂	山麓和山区地带	全年数十和数百瓩	小水力发电厂和水力机 械装置, 以及利用废 木材的火力发电厂

2. 采矿、冶金和化学工业

矿山、矿井、探料場	山谷和山麓地带	全年內 (有时候为季 度) 数百、数千和数 万瓩的均匀用电	小型和中型水力发电 厂, 电力系统的变电 所, 水力机械装置
探矿作业	同 上	数十和数百瓩的不同季 节用电	小型水力发电厂
冶金、石油、化学工 业	山麓地带、山谷	全年 (有时候为季度) 数万和数十万瓩	中型和大型水力发电厂

3. 城市和市政事业

市政事业、工业、城 市交通、生活用电	山麓地带, 間或在主 山谷地带	全年数千和数千瓩; 冬 季时負荷最大	不大的和中型的水力发电 厂
-----------------------	--------------------	-----------------------	------------------

4. 疗养地、休养所等

大疗养地	主山谷	全年內数百和数千瓩的 均匀用电, 有时候夏 季負荷为最大	小型和中型水力发电 厂, 电力系统的变电 所
单独的休养所	山谷和高山地帶山谷	数十及数个瓩 (主要为 夏季用电)	小型水力发电厂和微小 水力发电厂
登山运动野营、遊覽 区、科学站和山地 救护站等	同 上	同 上	同 上

5. 电气化运输

铁路、无轨和铁索道 运输	山麓、山谷和山道地 段	数百、数千和数万瓩； 全年内均匀用电，具 有瞬时突变尖峰负荷	不大的和中型的水力 发电厂，电力系统 的变电所
-----------------	----------------	--------------------------------------	-------------------------------

进一步发展这个地区的动力计划，首先应以扩建原有的和建設新的火力发电厂作为基础，而不建設有調节水力发电厂。计划参加到电力系统的水力发电厂的比重，夏季仅佔总容量的 20~25%，冬季为 5~10%。

其后又曾經决定，由柴油发电厂輸送不足出力到几百公里以外的地方去。其实在这种情况下，只要在由高山地带补給的河流上，建造各种不同类型的水力发电厂(其中包括有調节水力发电厂)，就能順利地就地取得所需出力。

2. 大山河和小山河的特征对山河的研究程度 和对其利用的情况

把河流分为大河流和小河流，現有的这种分法是不能認為有着足够論据的。根据国民經济不同部門的要求，各个作者从不同的角度来确定“大”河流和“小”河流的特征。在区分山河等級时应考虑下列的情况：

1. 对水流湍急的山河而言，水力发电是逕流利用的主要方面。
 2. 在某些情形下利用山河逕流来进行灌溉，較之利用逕流来发电具有更重要的意义，特别是在农业发展区和气候乾燥区。
 3. 有时候利用山河来进行浮运木材有着很大的意义。
 4. 自然条件下的山河，只有在极个别情况下利用来通航。
 5. 在山河条件下利用河流逕流来供水、养魚和其他等通常具有次要的意义。
 6. 在所有的情况下，山河的逕流調节都具有重大的意义。
- 計及上述这些情况后，小山河的特征才可能确定出来。

山河具有下列条件时可以認為是小山河：

1. 每公里水流的单位出力不大。例如中水年最小旬平均出力小于

1千瓩；而对冰川补给的河流来说，则每公里年平均出力约5~6千瓩；

2. 利用逕流作地方性的灌溉；
3. 不能(或难于)进行浮运木材和不可能通航；
4. 利用逕流作地方性的给水。

可以认为山河的单位出力(与流域的自然条件，即与流量和落差有关)是决定小山河特征的主要的具体数值。

河谷的性质和河床的坡度是山河主要的自然地理特征。当坡度大于0.005~0.010时，河流通常具有急湍的水流(系与河流的流量和河床表面的形状有关)。

往往由于地质条件，河床的坡度会急剧地改变，因而山河相邻河段的单位出力可能相差得很大。有时候流量很小的河流在单位能量方面却比逕流很大的河流来得更大。

例如，某一山河的支流，虽其逕流仅为山河的1/5~1/6，但在其河口段处的年平均单位出力却是此山河大部份河段所具有出力的3倍。又如另一山河的支流，其流量为山河的1/10，为本流域干流的1/100，但其在河口段处的年平均单位出力都较上述两条河流的所有河段大得多。

经验证明，开发小山河水能时，建造调节逕流的水库的条件往往是不好的。这种情形迫使在设计水力发电厂时，不得不特别注意研究高保证率的流量，在估算河流有效工业出力时，主要采用最小流量。本书采用的最小流量是最小旬平均流量。

山河的研究证明了出力不大的水力发电厂(在山区条件下，通常为隧洞型或混合型)的引水建筑物的平均长度不超过4~5公里。冰川补给的小山河上的水力发电厂的最小旬平均出力可能达到4~5千瓩，而其年平均出力可达到20~30千瓩。这些水力发电厂与所采用的设计流量有关，可能是小型电厂，亦可能是中型电厂(>5千瓩)。

从大河流的上游一直到最小旬平均出力将超过1.0瓩/公里的河段，或者是逕流的利用不仅限于当地用户的河段，都应列为小山河。根据我们所规定的小山河特征，高加索、外高加索、中亚细亚、哈萨克、阿尔泰、萨扬和苏联其他山区内的很多河流都应列为小山河。

小山河和大山河的水力資源都能够很有效地被利用。只要建筑較短的引水建筑物和低坝就能得到很高的水头；因而在流量不大和在引水道断面相当小的条件下就能集中大量的出力，这就降低了山河水力发电厂的造价（与平原河流水力发电厂的造价相比較）。

設計資料表明：山河上每一装机瓩的造价有时仅为平原河流上同样出力的每一装机瓩的造价的 $1/2 \sim 1/3$ 。

为了建造大水库，需要建造高坝，由于建造高坝的复杂性，使得山河水力发电厂的調节水库的单位造价大大地增加了。不过这些水力发电厂的造价应由下游各級受到水库調节效益影响的所有水力发电厂来分摊。

建造在山河的陡峭瀑布处、装机容量的保証率高的較小水力发电厂，是最便宜的水力发电厂。

山河高水头水力发电厂的主要缺点有时是：建造压力水管需要耗費大量的优質金属和水力发电厂离开居民中心点太远。

在山区只要所观测到的逕流模数值是相当大，那么甚至在流域面积很小的河流上亦可以建造相当大的水力发电厂。例如，某些高山地区的逕流模数可以达到每1公里²上50升/秒，甚至100升/秒；而在平原地区內，局部地方的逕流模数还不到3~5升/秒。因此，山区的流域面积可能比平原区的流域面积小20~25倍，但它們所具有的逕流量（水量）可能是相同的。

由于山区的水头高和逕流模数具有很大的数值，因此这些地区蘊藏着很好的水力資源。某些山河的每1公里²流域面积上的单位年平均出力能够达到数百瓩，而在苏联的一些大平原河流流域上，很少超过20到30瓩。

山河水力資源的性質是随着山河补給类型的不同而異。以冰川为主要补給的河流，在河流的上游和中游具有最大的容量。

苏联有計劃地进行山河的研究和水能利用，基本上是在斯大林五年計劃的年份里开始的。在革命前，仅仅对很少的山河进行了研究，而且这些山河的水能利用並不是主要的任务；只有在极个别的情况下是为了建設水力发电厂而勘测山河。而且这些山河的水能利用，几乎

都是局限于小水力磨坊和有限的一些工厂的水力动力装置。革命前在俄国的山区，总共只建造了几个小的水力发电厂。革命前大部份关于山河的设计勘测资料已告遗失，而所保存下来的资料，大部份已失去实际意义。

在革命后的初期，对山河水力资源的研究具有重点研究的性质。在1930~1931年，水力发电建设局和水力发电设计院开始对河流进行全盘的研究，以后由水力发电设计院继续这个工作。研究任务包括了设计河流水能利用的布置方式和选择建造水力发电厂的河段。在伟大的卫国战争开始前，对主要山区的水力资源几乎都已研究过了，但是，对不同的流域而言，所获得材料的详尽程度却并不一样。

作出水能利用的布置方式、流域的许多水能开发设计以及大小河流个别河段的许多水能开发设计都是水能研究的成果。由于儘可能将个别的水力发电厂合併成较大的水力发电厂的趋势，最初就导致了忽视小型水力发电厂(小于5千瓩)的倾向，以及对次要的和小山河不进行水能布置方式的工作。但这个缺陷已部分地为地区农业电气化规划所弥补。

在开始研究山河的时期，对工程地质研究注意得不够；而对地形测量有时候却过分的不必要的仔细；例如，大水庫的河谷用1:5000和1:2500的比例尺去测绘，其实只需要1:10000，甚至1:25000的比例尺就已满足要求了。

虽然近十年来，开发山河建设小型水力发电厂已开始发挥应有的作用，但是对山河的逕流，特别是对高山地带的山河逕流，仍然研究得十分不够，因而在设计这些河流上的水力发电厂时，常常不得不采用相似法和概指类比法。

3. 山河的自然地理特点和动能特点

根据补给的性质(冰川的、降水的、地下的、混合的)，根据集水面积的性质(多岩地、牧地、森林地)，根据地形条件及其河谷区的居民密度，以及根据离需电中心的距离，可以将山区河流分成许多典型的类别。这些因素中有一些影响着河流逕流和河流纵剖面，並因而亦

就影响着河流的蕴藏出力；而另一些因素则影响着合理的河流开发方式的选择。

具有高山补给的山河（或在某地区内是冰川补给的山河）是高加索、中亚细亚、阿尔泰和萨扬等山区的主要能源。

山河河源处的冰川是相当于万年的蓄水池，能起很大的逕流调节作用（系与具有春汛大洪峰的、以降水为补给的平原河流相比较）。但是在另一方面，降水补给或混合补给的山河逕流在一年中的分佈，有时候却比冰川补给的山河逕流来得更均匀。因为冰川补给的山河在炎热的夏季月份（六月～八月）会出现洪峰，此时流过的逕流量超过全年逕流量的50%，这样的山河没有春季洪峰。降水补给的山河通常在一年内具有二次到三次或更多的洪水，这些小河同样没有春季洪峰。高山坡地上积雪的缓慢融化和丰富的地下水是这些河流的主要调节因素。

按照Б.Д.柴依柯夫的分类，在大部份上述类型的山区中，主要的水量系由每年温暖时期出现洪汛的河流带来。

在绝对高程不大的某些山区里，大半是具有春汛和秋季小洪水的



图1 山脊的永久积雪和冰雪

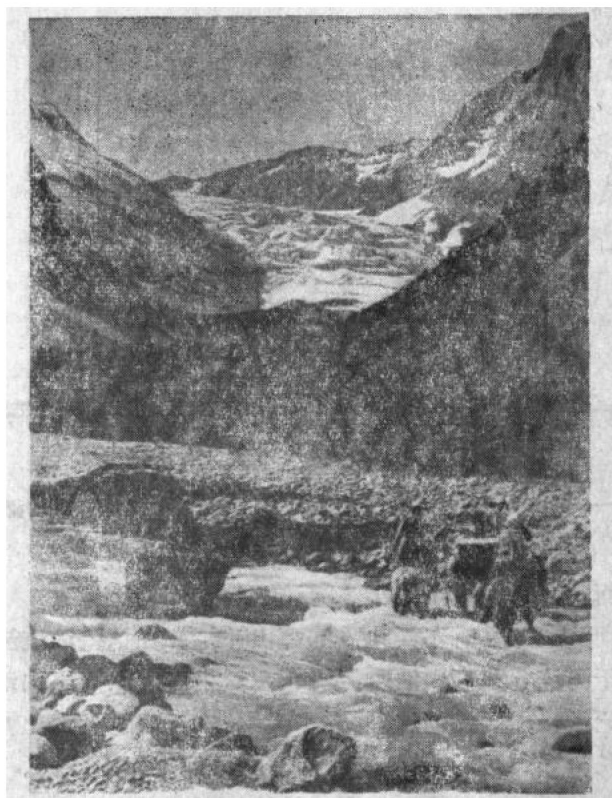


图2 河谷冰川和冰川补给的河流上游

高山补给的河流逕流；或者是具有很大的春汛的河流逕流，按其流量过程綫的类型來說，是接近于平原河流的。在濕潤的山区里，大部份的逕流系由洪水性河流带来的。

图3表示前两种类型的山河逕流分佈特性和平原河流的逕流分佈特性。

表2中列有不同类型的山河特性示例。河流1~3在每年温暖时期出現洪汛，其逕流月分佈系随着冰川和地下水补给比重的差異而有所不同。河流1的流域受到巨大的冰川作用，同时地下水补给所佔比重也很大，这些都是形成寒冷月份里仍然具有較大和均匀的流量的原因。在河流3的流域上，冰川作用最小，地下水补给亦少，由于这些

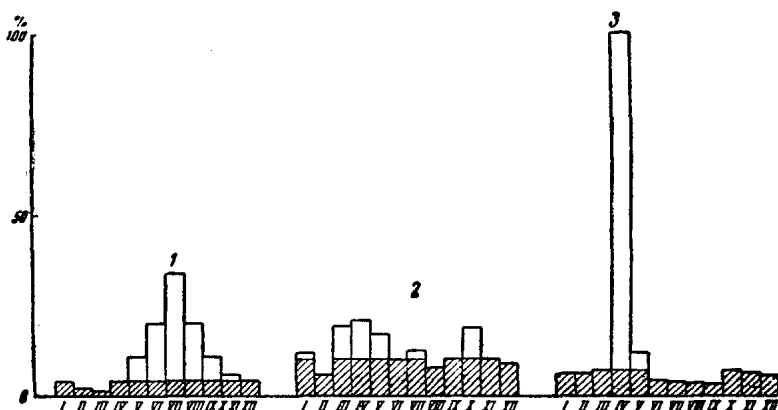


图3 各种不同类型河流的流量过程綫

1—以高山冰川为主要补給的河流；2—以降雨为主要补給的河流；

3—以降雪为主要补給的河流。

原因，因而秋冬季流量很小。河流2則介乎两者之間。

春汛河流4和5具有不同比重的高山补給。在这些河流流域上沒有冰川。由于河流5在高山地段的流域面积相当大，而高山地段上的积雪融化得比較慢，因此河流5的春季洪水与河流4的洪水比較起来，持續時間要長得多。同时，河流5还有着較好的地下水补給。

河流6位于相当溫暖和濕潤气候的地区，具有洪水河流的性質，每季的逕流量亦分佈得最均匀。河流6的流域上沒有冰川。

表2 具有不同补給各典型山河的逕流特性

河 流	月 逕 流 (%)												最大和最 小月平均 流量之比	
	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月		
每年温暖时期出 現洪汛和具有不 同比重的冰川及 地下补給的河流	1	3.1	2.6	3.1	3.6	9.6	19.0	20.5	15.5	8.9	6.0	4.3	3.8	7.9
春汛河流	2	2.6	1.3	1.1	1.7	6.2	13.5	23.4	23.4	13.0	6.7	4.2	2.9	21.3
洪水性河流	3	0.8	0.8	1.0	1.3	4.7	13.3	26.0	22.2	18.6	5.8	4.0	1.5	32.5
	4	1.6	1.5	1.8	2.4	19.7	14.0	10.2	6.9	6.3	4.4	3.3	1.9	19.0
	5	4.8	3.7	4.4	10.1	12.2	19.0	12.7	8.0	8.8	7.4	4.3	4.6	5.1
	6	8.7	3.0	12.2	13.9	6.5	6.3	9.0	4.4	6.6	12.8	6.2	11.4	4.6

山河冬季情况的特点是有大量的屑冰和底冰，这使水力发电厂的运行发生困难。

高山地带河流的河源时常分佈在超过海平面3000米高程以上；河流的长度不超过几十公里(图4)。

高山地段的河谷常为碎石所堆积，並具有很大的坡度，流经其上的水，常形成一大条鎖練似的瀑布(图5)。高山地带河床的平均坡度时常超过 0.1 很多。逕流系数很大的、为松散山岩破碎物所复盖的山坡陡崖和无林坡地是形成泥石流急流的原因。在古老巨大冰川的活动区，当冰川后退后(河流的上部份)通常就留着寬广的冰川谷(由山谷冰川运动所成的槽谷)，冰川谷的底部由冰碛土所复盖，在冰碛土上冲刷



图4 高山地带小河流



图5 高山地带河流的上游

成狭窄的現代河床。有时候在这些盆地上，冰川所融化下来的水形成冰磧-堰塞湖。

在高山地带河流流域上同时存在着其他类型的湖泊——冰成湖，冰成湖的湖盆是由于冰块对陡峭山坡的侵蝕作用而形成的，其面积和深度有时可达到很大的数值。冰成湖散佈在大的高地上(图6)。

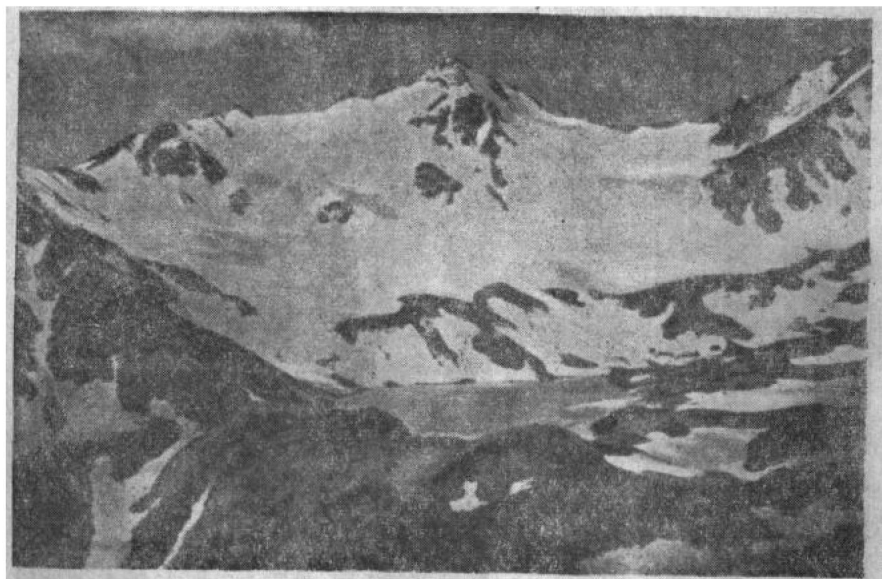


图6 冰成湖

高山地带河流的河谷通常是在非常坚硬的火成岩层或在变质岩层中冲刷而成的。

冰川补给的高山地带小河流的特征，是有着陡峭的河口梯段。陡峭的河口梯段是由于主山河流域的古代巨大的冰川作用(对主山河河谷不断加深的冰川作用)而形成的。

假如高山地带河流的河口梯段是在森林地区的话，由于山坡冲刷的结果，倒下来的树木常常会将河床堵塞。

发源于山岭上的主山河，可能以冰川逕流为补给，亦可能只以降水和地下水为补给，但是以混合补给的山河为最多。主山河与高山地带河流的主要区别，是前者有着相当大的水量和长度，河流纵剖面比

較定型，並且其流域所处的絕對高程亦比較低。主山河的长度能够達到几百公里。

主山河的集水流域表面上往往被复着木質植物，这些木質植物在无人地区和潮濕地区特別发达。主山河河谷地質条件是以复杂性著称的：河源处主要是火成岩和变質岩，順流往下是从古代到近代不同地質时代的沉积岩（图 7）。当这些河流流經坚硬岩层地带时，就会构成巨大的落差。这可以在泥石堆积区（泥石是由兩側狹谷冲刷下来的）看到。

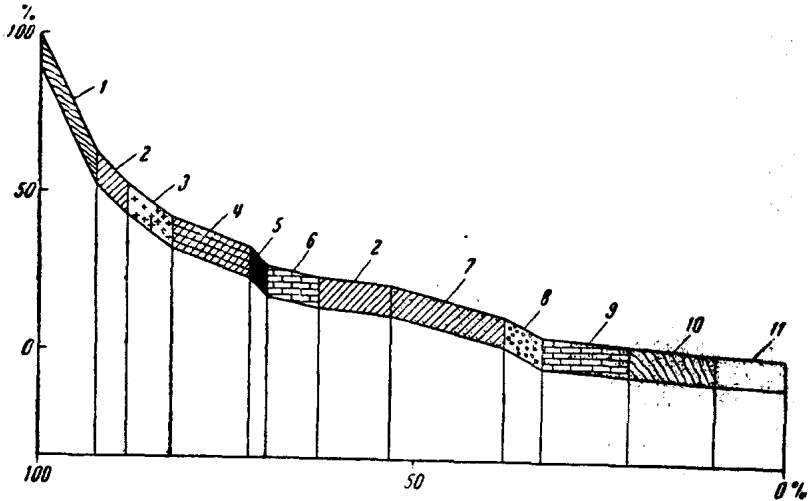


图 7 主山河的地形-地質縱剖面示例

1—冰川；2—古生代頁岩；3—花崗閃長岩；4—志留紀頁岩；5—玄武岩；6—古生代石灰岩；7—泥盆紀沙岩；8—泥盆紀礫岩；9—侏羅紀石灰岩；10—侏羅紀頁岩；11—第四紀礫岩。

在有縫隙的破碎岩层（主要为沉积岩）的狹谷地区，經常可以看到巨大的堵塞，堵住河流而形成巨大的湖泊。有时候这些湖泊的深度可达几百米，而其湖面可达几十平方公里。

寬闊的河谷和狹險的狹谷成珠串狀的相間，也是由于地質的原因。主山河縱剖面的典型形状与拋物綫（河源处的曲綫很陡）很相似。主山河在河源和中游具有較陡坡度（时常类似于高山地带河流的坡度），但其下游的平均坡度是相当小的，只有千分之几。图 8 为主山河的一个例子。