

俄罗斯水文发展简史

葛维亚¹, 戴长雷², 陈昌春^{3*}

¹长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

²黑龙江大学水利电力学院, 黑龙江 哈尔滨

³南京信息工程大学地理科学学院, 江苏 南京

收稿日期: 2022年3月4日; 录用日期: 2022年4月7日; 发布日期: 2022年4月29日

摘要

作者通过深入查阅大量俄文版水文原著文献, 全方位介绍了俄罗斯水文科学的产生, 100余年水文测验、预报、分析、研究、教育等的发展历史, 以及新中国成立初期中俄两国水文科技交流合作的过程。俄罗斯水文学科对我国该学科的建立、应用和发展具有重要的影响, 本文从内容广度和深度来看, 尚属国内鲜见, 具有学科比较和认知价值。

关键词

水文, 发展, 历史, 俄罗斯

A Brief History of Hydrological Development in Russia

Weiya Ge¹, Changlei Dai², Changchun Chen^{3*}

¹Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

²School of Hydraulic and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin Heilongjiang

³School of Geographic Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 4th, 2022; accepted: Apr. 7th, 2022; published: Apr. 29th, 2022

Abstract

Through an in-depth review of a large number of original hydrological literature in Russian, the emergence of Russian hydrological science, the development of hydrometry, hydrological forecasting, analysis, research, education, etc. over more than 100 years are comprehensively introduced. The national com-

作者简介: 葛维亚(1934-), 男, 黑龙江齐齐哈尔市人, 博士, 正高级工程师, 主要从事水文水资源分析研究, Email: geweiya@hotmail.com

*通讯作者: 陈昌春(1963-), 男, 江苏盐城市人, 博士, 副教授, 主要从事水文学及水文水利史研究, Email: changchunc@nuist.edu.cn

文章引用: 葛维亚, 戴长雷, 陈昌春. 俄罗斯水文发展简史[J]. 水资源研究, 2022, 11(2): 138-150.

DOI: 10.12677/jwrr.2022.112015

munication and cooperation in hydrological science and engineering fields between China and Russia in the early days of the founding of China are also described. Russian plays an important role in the establishment, application, and development of this hydrology discipline in China. This article is rare in terms of the breadth and depth of the content and can provide valuable inferences for discipline comparison and cognition.

Keywords

Hydrology, Development, History, Russia

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

作者在一个较长的时间里,深入查阅了4本俄文版水文原著、32篇俄文版论文及少量中文相关资料后写出,其中32篇论文系从所过目的90多篇俄文版论文中挑出深度阅读。本文从内容广度和深度来看,尚属国内鲜见,全方位介绍了俄罗斯水文科学的产生,以及水文测验、预报、分析、研究、推广和服务的发展过程,也介绍了俄罗斯水文及气象主管部门、技术部门、水文气象站网、水文教育等的设立与变迁,以及与中国水文发展的关系等。可供有关水文主管机构、高校科研单位、水文以及其他涉水业务部门参考。限于篇幅,文末仅列出最重要的参考文献。

2. 近代俄罗斯水文科学的形成

通观俄罗斯水文气象发展史,首先会得到一个初步印象,俄罗斯古代水文气象知识的积累,不仅与天气灾害,河流防洪有关,也与相当繁忙的航行业务和国民经济各部门用水有关,这一切均要求对水文气象作基本观察和研究。因而人类古代编年史,便出现许多天气和水文记录,在河流防灾除害中,发挥了重要作用[1]。

俄罗斯从13世纪起,开始对水文气象作基本观察。著名的俄罗斯气候学家M.A.沃钩列劳指出,诺夫哥罗德地区编年史的天气记录中,丰富的气象元素出现是可以理解的,因为该市的贸易完全靠河流进行,河流中水量的增减,取决于天气,它对诺夫哥罗德居民的福祉产生重要影响。

1640年B.Φ.瓦络尼亚在荷兰出版的《普通地理》一书[1]。这部作品在两个特殊章节里阐述了与水文的有关问题,在俄国引起共鸣。书中指出,1641年最古老的洪水标记是在奥卡地区农庄附近被发现的。

18世纪初叶,俄罗斯在各学科取得的成绩,其中包括了水文气象工作的重大进步,为科学院的成立奠定基础。1725年12月在Φ.x.麦耶尔院士主持下,首次开始用仪器观测包含西伯利亚地区在内的气象要素[1]。17与18世纪工农业利用河流的水量更多,人们在开发利用中,开始有计划地观察与探索河流水量变化的水文规律。

水文与气象的发展一直是密切联系互相促进的,苏联气候学和气象学的创始人之一A.N.沃叶意柯夫,同时也被称为是该国第一位水文学家,1884年在他的名著《世界气候与俄国气候》一书中,首次提出河川是气候的产物这一科学论断,指出,河道是水流冲出来的,而水流是降水所供给的,因此研究水文学必须首先研究作为水文要素且是气象要素之一的降水现象[1]。水文与气象相联系的媒介是降水与蒸发。1911年水文学家Э.М.奥里杰柯普在他的《河川流域表面蒸发》一书中,进一步发展和改进了A.N.沃叶意柯夫关于河川含水量与气候之间的关系的原理,他在研究了西欧地区50处河川流域的年平均雨量与年平均蒸发量的资料之后指出,不使用径流的直接观测资料,而只根据降水量及其它气象要素资料,计算各种不同流域的蒸发量和径流量是有可能的[2]。

3. 水文测验与管理

3.1. 水文测验

据 1903 年 1 月统计, 在俄罗斯欧亚内河航道上, 有 527 个测站, 其中一类测站 265 个, 二类测站 262 个。1904 年在两个地点安装了自动水文记录仪和测光仪[2]。俄罗斯水文要素测量采用了航测、巡测及自动定点观测三种方法。1901~1910 年俄罗斯对河川流量测验进行了研究。1903~1904 年基于在维亚佐夫斯卡亚水文站测验的经验, 朱可夫斯基提出了“关于测量大型明渠中水流速度和流量的方法”[2]。1907 年以来, 俄罗斯著名水文学家 N.P.鲁兹列夫斯基等人对阿穆尔河(黑龙江)航道以及远东河流进行大量的工作[2]。1912 年前后, 水文站流量测验进步很大, 已经开始测量测流断面各垂线的水深, 浮标测流更加完善。同时开始绘制水位 - 流量关系曲线, 以水位推算流量。同时在水位站采集水样进行水化学分析。D.A.索科洛夫斯基与 D.L.寇谢林在水文的理论、方法和实践方面, 做出了许多重大贡献, 推动了俄罗斯水文学的发展[2]。

俄罗斯水文气象观测工作是遵循《水文气象站规范》进行的, 而指导基本水文站网观测工作的, 是其中三个分册, 即第二卷第二分册的“测站的水文观测”, 第六卷第一分册的“大中河流的水文观测和工作”, 第六卷第二分册的“小河流的水文观测和工作”, 此三分册在 50 年代再版。随着水文测验技术、设备和测量方法的发展, 对此三分册又作修改并于 1997 至 1998 年期间出版相应的新规范[2]。俄罗斯水文测验发展很快, 1983 年进行了动船法测流试验, 从涅瓦河水文站测试的数据, 与常规的流速 - 面积测流法比较, 误差为 1%~13%; 电波流速仪测流, 1984 年即已研制成样机并做野外试验, 并与常规流速仪比较, 误差仅为 3.6%。

20 世纪 50 年代末 60 年代初, 为了加快水利工程建设和综合利用水资源的速度, 要求大量增加水文调查工作, 同时保证调查资料质量, 缩短调查时间。要达到该目的, 传统水文测验方法往往是无能为力的, 特别在俄罗斯北部、东北部如西伯利亚及远东等广大地区, 面临地域辽阔, 生活基地距离测流断面很远及人员不足等困难。为此, 中央运输建筑工程科学研究所研制了第一套完整的航空水文测验方法, 即浮标航测法[2]。

卫星作为一种遥感探测器的特殊载体, 可以获得整个大气物理与地球表面水文、气象参数分布的系列情报。1974 年建成了为天气和水文预报服务的卫星观测系统, 《MeTeop-3》(流星-3)型卫星, 专事收集水文气象资料, 据 1987 年统计, 在莫斯科、新西伯利亚、哈巴罗夫斯克和塔什干分设 4 个接收中心, 负责接收处理有关数据, 并向国家水文气象和自然环境监督委员会所属各机构及有关政府部门提供卫星资料[2]。

从卫星资料接收处理总中心和区域卫星资料接收处理中心, 可以获得低、中分辨率的自然资源情报(复制底和照片)、水文气象资料(海面温度和下垫面辐射温度图片)以及各种数字形式记录情报[2]。迄今, 俄罗斯的自动化水文资料系统逐步发展, 从一个个目标不同而独立分散的系统, 经扩充完善, 最后形成一个完整的系统, 包括观测与记录子系统、资料整编子系统、存储与检索子系统(即水文数据库)、数据分析与计算子系统、数据输出与发布子系统。这个庞大的系统大大推动了水文气象的研究与服务事业的发展。

3.2. 站网规划与水文管理

水文工作的另一重点即全国水文站网规划, 在水文分析与计算精度要求下, 提出了基本水文站网布设的直线原则和区域原则, 将站网分为基本站、专用站、临时站三种[3]。基本站又分为三类, 第一类为基本水情站, 是为进行水文情报和水资源研究所需要的测站, 对一个最优基本水情站来说, 小河流站数不少于总站数的 50%~70%; 第二类为基本预报站, 对水文预报提供有关资料; 第三类为基本水管理站, 为水资源管理目的而专设, 主要为航运、水库运行、灌溉及大工业中心服务。所有站网全部划归国家水文机构, 受其统一管理或监督。俄罗斯颁布的“站网规划原则的几个问题”中指出: 就一个地区来说, 可根据人类活动对径流影响程度, 定期对站网进行调整。如分为无人活动影响, 影响小的比较容易还原的地区测站, 以及影响很大, 改变了河川径流, 而且已经无法还原的地区测站。而后一种情况的测站, 实际上已属于水管理站网所有。

一战以前,为农业发展需要,农林部土地改进司下面专设水文科,在一些小河流上建立了小规模的水位观测站。在苏联以前的俄国,水文工作各隶属于航运部、交通部、农业部下面几个部门,分散零星而缺乏系统。十月革命胜利不久,约在1919至1920年期间,苏联欧洲部分有1072个水文气象站停止了观测,西伯利亚地区有461个测站无法维护[3]。1921年6月,苏维埃政府颁布了由列宁签署的法令,组建俄罗斯水文气象局,首先编制了河流水利资源参考手册。1921至1929年苏联各加盟共和国也先后建立了类似机构。1929年8月俄罗斯水文气象局改为苏联水文气象局,1933年又改为苏联水文气象总局,统一管理全国水文气象工作。

1936年开始以水文年鉴方式刊印逐年水文资料[3]。之后又绘制了各种水文特征值的等值线图,方便服务于中小型水利水电工程的规划设计。1931至1940年编制了俄罗斯第一部水册,刊印的资料只有地表水特性与水资源有关的资料,1973刊发第二部水册,包含地表水有关资料[3]。1977年重新编制水册工作,正式组建具有现代手段的水册自动化信息系统,电子计算机在其中发挥了巨大的作用。1985年第一期俄罗斯水册自动化信息系统交付使用后,向前迈进了一大步,但收集的资料仍不够齐全,第二期水册内容充实了很多。

俄罗斯的水文观测组织基本上可分为三类,第一类为负责地表水观测的国家水文气象和自然环境监督委员会所属站网;第二类为负责地下水观测统计的地质部所属站网;第三类为负责水利设施中水体观测统计的水利部所属站网。这三类水文站网在业务上统一接受国家水资源系统的指导,形成了庞大的多功能信息系统[3]。

1941年6月,水文气象总局已经拥有3947个气象站,190个探空站,240个航空气象站,4463个水文观测站。这一时期,水文气象总局拥有3万名水文气象工作者,其中受过水文气象高等教育的人为3500人,占职工的12%。据1986年统计,俄罗斯基本站网河流观测站6306处,湖泊水库观测站784处,俄罗斯江河水文基本站网密度为3350 km²/处[3]。

1978年3月,苏联水文气象总局改组为苏联水文气象和自然环境监督委员会,成为组织和领导全国水文气象和自然环境监督工作的主要机构[3]。与以前比较,其业务方针、组织机构等各方面都发生了相应的变化。它的业务方针是收集自然环境情报,并用这些情报向国民经济各部门提供服务,以减少由不利水文气象条件造成的损失,克服人类活动对周围自然环境的不利影响,以及有目的地改造自然环境。它的主要任务是:组织全国自然环境状况观测和监督活动;监督执行水域和空域保护法,最大程度提高工业中心和其他城市对地域和空域的利用效率;向国民经济各部门提供当前和未来自然环境状况的情报与产生灾害性的水文气象现预报资料;通过水利资源调查来统计水利资源开发利用的数据;建立自然环境资料库。

3.3. 水文科学研究实验站

1933年着手建立了瓦尔达依水文科学研究实验站[3]。主要任务是,研究天然条件下和人类活动影响下水文现象的物理机制以及各种水文要素之间的相互联系;研究现时水文学理论和应用中有待认识和解决的问题;检验已有的理论和方法。实验研究内容可分为径流形成过程的研究,包括降水、蒸散发、降雨径流关系、径流过程、土壤水及地下水动态的研究;为环境保护服务的水化学平衡和植物生态实验研究;为水资源评价、农田、森林、草原、都市建设和水土保持、不同自然地理条件和人类活动影响下的水文规律的实验研究;干旱半干旱地区、灌溉地区、内陆河川地区以及某些特殊地区(如岩溶、冰川、冻土地区)和特殊径流形式(如泥石流)的水文实验研究等。各种水文要素的测验方法和仪器设备研究也是重要内容。以上各种类型的水文实验研究,主要通过自然和人工模拟进行,前者如代表性流域、实验流域、各种试验场等;后者如人造的集水区、人工坡面等,两者相辅相成。例如在径流实验中,由代表流域作长期系统观测,又由实验流域作有控制的对比,不断反复试验,有时仍难以达到目的,还必须利用相似原理,建立单一的径流试验场、蒸发实验、人工模型等,在野外或实验室内,用可以控制的人工降雨或人工气候条件,对个别水文因素作进一步的实验和分析。1956年瓦尔达依实验站又承担了放射性元素及雷达在水文上应用研究。这些任务在瓦尔达依实验取得成功后,提出了水文测验中应用雷达技术的两种方法,即提出了利用调频连续波和脉冲体制的应用原理进行水位测量。在流量测量方面,

总结了点流速测量、断面测量等雷达的施测和计算方法。到 1988 年为止,俄罗斯水量平衡为主的水文实验站,共有 15 个,其中以瓦尔达依水文实验站最大,观测项目最全,是全苏野外水文实验研究中心。水文实验站的资料在研究径流形成、水文计算及水文预报方法、河道侵蚀、水的透明度及含沙量、人类活动对水文规律影响等方面都发挥了重要作用。由此可见,要解决现代水文学的问题,必须以新技术装备实验站。

受瓦尔达依水文实验站的启发,我国水文实验研究始于 20 世纪 50 年代,首先从径流试验开始,逐步配套完善,最著名的有安徽滁州水文实验基地、四川凯江水文实验基地和四川峨嵋大型室内水文实验系统。

4. 水文水利分析计算

4.1. 水文分析计算

20 世纪 30 年代始,苏联对于大流域和小流域河流的设计洪水,分别采用频率分析计算和合理化公式(即我国加以改进后的推理公式)以及由降水量通过产汇流方法加以解决[4]。其中 A.П.阿列克谢耶夫在洪水理论、技术以及计算方法的研究和应用方面,贡献突出[4]。俄罗斯一向沿用统计法估计设计洪水,并以设计洪水过程线作为大中型水库防洪安全设计的依据。水文学家 C.H.克里茨基与 M.φ.明凯里在 20 世纪 30 年代提出了 K-M 分布,认为,河川径流特征值一般不会降到零,更不会小于零,故应以零为下限。又考虑到部分俄罗斯河流的 $C_s/C_v < 2$ (C_s 为洪峰偏态系数, C_v 为洪峰变差系数),如采用 P-III 型,则下限小于零,不甚合理。于是,他们从 $C_s/C_v = 2$ 的 P-III 型频率曲线出发,经过幂函数转换得到新的洪峰频率曲线[4]。俄罗斯在水文研究方面,这个时期仍然是以研究洪水计算为主,并且由于河川水力学的发展,在径流理论方面也获得了新进展。例如雄立康藉夫、斯立布内等水文学家均在洪水理论方面有着卓越的贡献,在洪水和径流计算应用方面,提出了一套有效的方法[4]。

基流分割是推求净雨的重要方法,也是水文计算中的难点之一[4]。20 世纪 30 年代,俄罗斯对基流分割进行探索,但一直以来在其概念与方法上都缺乏统一的标准。基流一般指来源于地下水或地面入渗形成的地下径流。目前,主流的基流分割方法中的所谓基流,由本次降雨形成的地下径流和深层基流两部分组成。在对多年流量过程进行基流分割时,水平线分割法一般选取多个水文年为代表年份,逐年绘制逐日平均流量过程线,以枯季(3 个月)月均流量的最小值作为基准,进行基流分割;斜直线分割法是在逐日平均流量过程线上,找到洪峰起涨点与退水段转折点(又称拐点),将两点以直线相连。对于凌汛期及多次洪水过程,需作分段分割,斜直线以下为汛期基流量,与枯季径流量相加为河川基流量。一般来说,洪峰起涨点较明显和容易确定,而退水段拐点则需借助预先制作的综合退水曲线进行判别。综合退水曲线的制作是摘录、点绘一组无降水影响河川径流的退水曲线,水平移动退水曲线,使各个退水段尾部重合,绘制这组退水曲线的外包线即为综合退水曲线。综合退水曲线的手工作图制作较复杂,计算费时效率低。许多学者已用计算机来辅助分割基流。

1935 年 M.A.韦利卡诺夫从连续方程出发,在等流时线概念的基础上导出径流成因公式。该公式表达了流域线性汇流系统中流域入流、汇流(以汇流曲线推求)、流域出口断面流量三者间的定量关系,综合反映了产汇流过程的有机组合[4]。

水文学的地理方向源出于俄罗斯,已有百年历史。M.N.里沃维奇所著《俄罗斯水文学地理方向》出现于 19 世纪,同时期很多学者也相继提出地理水文的有关成果[4]。水文学的地理方向标志有三,揭示土壤在水文过程中的重要作用;建立和应用六要素水平平衡方程;发现径流和水平衡地理分区规律[4]。1936 年前后,俄罗斯水文学的奠基人 B.Г.格鲁什科夫首次从自然地理各要素的相互联系和制约中去探讨水文现象过程中的因果关系和时空变化规律[4]。国立日丹诺夫大学教授 Л.К.达维多夫撰写的《苏联当代水文地理》,分两卷于 1953 年和 1955 年由国立列宁格勒大学出版社出版[4]。1958 年中译本合两卷成 1 册,约 27 万字,由中国科学出版社出版。

4.2. 水利计算

水利属公益事业兼具生产和服务特性,其经济效益受体制、地区、部门、价格政策、居民消费利益等制约,

在水利工程建设和管理应用中, 出现许多难以解决的矛盾、纠纷。俄国最早开始注意这一现象, 集中一批专家进行研究, 认为此属水利经济范畴的问题, 必须科学合理对待, 图求以最小的投资获得最大的经济和社会效益。为此, 水利经济计算技术自 19 世纪末期开始发展, 但在较长时间内多归附于应用水文学与工程水力学。后来在 20 世纪中叶形成了一门专门学科, 推动了径流调节理论的发展。这方面较有代表性的专著是 1952 年出版的由 C.H. 克里茨基与 M.φ. 明凯里合著的《水利计算》[5]。2014 年公布了新的《水利工程水利计算规范》[5]。此后, 由于应用数学、计算机技术以及相关学科的迅速发展, 又在计算理论和实践上取得新成就, 主要为进一步完善了径流调节理论; 引入并广泛应用以径流调节、经济分析为基础的系统分析方法; 提出了水库、河道非恒定流及泥沙运动计算的新解法, 包括应用一维明渠非恒定流计算, 求解水库调洪、水库回水和河道洪水演进等问题; 应用二、三维水流运动模型, 求解环境水力学、感潮河段及河网水力学、河流动力学等其他复杂问题[5]。

上述成果, 在 20 世纪 50 年代引入我国后, 仍称为水利计算, 其主要内容为: 综合考虑各方面提出的用水、发电、防洪、防凌、排涝、航运、漂木、养殖、卫生和环境保护等要求, 结合工程具体条件, 选择可能的方案与相应的洪水调节、径流调节方式及采取的有效措施, 作为计算的基础; 进行各方案的径流调节计算、水库调洪计算、水能计算、水库回水计算和洪水演进计算; 分析工程建成后上下游水位、流量情势的变化; 阐明工程效益和多年运行特征; 分析工程对环境、生态的影响, 并对不利影响提出可能的处理措施; 进行各方案的技术经济评价, 确定工程规模及其主要参数与特征值。当工程上下游或同一供水、供电系统中有已建和拟建工程时, 需同时对有关工程联合运行方式和规模、参数的影响等问题进行研究; 拟定工程的运行方式, 作为工程兴建后制定运行规程及实际运用的依据[5]。

4.3. 河流泥沙运动

河流泥沙研究主要是认识水流中泥沙运动和河床演变的规律, 学科体系始建于 20 世纪。1971 年起, 开始组织河床变化过程的专项观测, 侧重研究河流泥沙运动的力学与数学基本理论[6]。对河床过程(Русловойпроцесс)的研究就是对河床动力学和河床演变的研究, 包括泥沙沉降特性与起动特性、悬移质与推移质运动规律、水流挟沙力、泥沙运动统计理论、异重流理论等。此类教科书多命名为《河流动力学》[6]。泥沙运动理论特别是底沙(即推移)运动理论, 和流体力学特别是环流及旋流理论, 推动了河道演变过程及河道治理在理论研究上的发展。泥沙的起动是河床动力学研究的主要课题, 泥沙的起动具有随机性, 这是由于床面颗粒的大小、形状和排列千变万化以及水流脉动作用的结果, 研究证明, 床面颗粒开始运动的临界力, 和水流作用在床面上的冲刷力都具有一定统计分布规律。俄罗斯在水流挟沙力的研究上, 更是成果丰硕, 确立了四种不同的研究方向[6]:

1) 经验性的或半经验性的水流挟沙力公式。即通过室内水槽试验或根据野外实测资料, 以经验半经验性的方法, 推导水流挟沙力的公式或计算方法。前者以梅叶彼德为主要代表, 后者以柯尔倍的工作最值得重视。

2) 把泥沙运动看成是随机过程。早在 20 世纪 30 年代, 爱因斯坦就把概率论的概念引入对泥沙运动的研究, 从而推导出水流挟沙力公式—床沙质函数。但是, 该研究方法除了在苏联得到一些反响以外, 在西方国家一直未受到应有重视。20 世纪 70 年代以来, 由于在泥沙扩散问题的研究中需要用到示迹剂, 而示迹颗粒的运动过程则可以更好地用随机过程来说明, 采用这种方法已得出不少重要成果, 才引起世界同行的重视。

3) 从一般物理学概念出发。泥沙运动作为一个物理过程, 自应遵循一般物理学的规律。泥沙运动需要的能量归根结底来自水流的势能。在从势能转化为动能的过程中, 又牵涉到一个效率问题, 正如水电站从水流的势能转化为电能的过程中, 也有一个效率的问题。从这些原理出发, 拜格诺建立了挟沙能力公式。

4) 从相似律及量纲分析考虑。根据影响泥沙运动的各种因素, 通过量纲分析, 可以建立起不同形式的无量纲参数间的关系。事实上, 通过这种分析, 可以看出很多挟沙能力公式间的一致性。目前公认比较可靠的恩格隆—汉森公式, 也是考虑了相似的要求而建立起来的, 其结构形式与拜格诺公式有相似之处。

对于河床和河漫滩变形的研究, M.A. 维利卡诺夫、B.H. 网格洛夫等十几位科学家, 经研究后提出了有关河

床过程总规律的研究结论[6]。在 1975 年至 1980 年和 1981 年至 1985 年期间,有关水文地貌理论、方法和应用方面的发展的河床过程研究,分为三个阶段,第一阶段,在 H.E.康德拉季耶夫等人研究基础上,分析河床过程的因果关系;第二阶段,进行河床过程的观测与试验;第三阶段,制订标准化规范。在水文学的探索过程中,对河槽演变的研究是揭示河流流量变化、河流水势变化与研究流域自然地理演变的基础。2013 年俄罗斯科学院远东分院水生态研究所副所长阿雷克谢·尼古拉耶维奇·马奇诺夫教授出版了《河岸与河床地貌的形成》一书,详细地介绍了阿穆尔河干流部分河槽演变过程和其影响因素分析[6]。该书从东亚的地区特征出发,对黑龙江河床地貌的形成与河槽演变过程作了详细的说明,对黑龙江河槽演变的研究具有一定的参考价值。

5. 水文预报

早在 20 世纪以前,俄国就发现了水文预报对国民经济的重要性和在技术上的可能性。1881 年,卓越的俄罗斯学者 A.H.沃耶依科夫,在他的“俄罗斯的河流”报告中最先发表了春汛值预报的设想[7]。1919 至 1929 年间,水文研究工作由各个部门独立进行,发布预报的地区及次数有限。但是由于这时期 B.H.列别捷夫、A.B.奥格耶夫斯基等关于与水文预报有关的著作刊布,奠定了春汛期预报方法的基础,对于该时期及以后的水文预报发展具有重大的意义[7]。1941 年开始实施的水文预报准确性统计与评定方法,提高了预报精度和预见期,对于改进水文预报服务具有极其重要价值[7]。1943 年以前几年,水文预报已有显著发展,预报种类包括融雪径流预报、暴雨洪水预报、枯水预报、年径流及其季、月、旬预报、多年水情变化预报、冰情预报等 9 个项目。每年公布 6.5 万次以上的预报。1930 至 1943 年,由于工农业和运输等发展的需要,为提高服务效率,水文气象研究机构和水文预报服务机构合并一起。俄罗斯水文预报服务系统,由全国各地水文气象与自然环境监督局组成,向地方政府提供水文预报,水文情报网由约 4000 个水文和水位站组成。1985 年俄罗斯为 520 条河流沿岸的 1000 个城镇发布了最高洪水水位预报。农业方面,提供水量预报为农田灌溉服务。分析俄罗斯长期径流预报的精度可得到,在草原和森林草原地区,预报精度较高。从整个预报精度来看,80%的预报误差小于实测值的 20% [7]。

由于水文气象时空分布的复杂性,从而在研究预报方法时,把流域和河槽的各种过程简化,大致可分为几类,第一类根据水动力学制定预报方法;第二类根据径流形成规律制定预报方法;这类方法可用图解方法表示,也可建数学模型;第三类是春汛预报方法;第四类是冰情短期预报方法;第五类根据大气环流,进行长期预报方法。在短期预报方面,Г.П.加里宁所创的以河流槽蓄为基础的预报方法,起了重大的作用[7]。在这一时期,A.B.奥格耶夫斯基提出和完善了他的径流成因理论。由于 B.H.库捷林、A.H.苏波金、M.H.古列雅契等人的研究,枯水径流形成的理论大大向前推进了一步,这就为枯水径流预报奠定了基础[7]。近年来,正在根据天气和气象条件的不同性质,进行河流水量预报方法研究,П.А.推捷里斯提出的气压循环支配期的特征,在预报中日益获得广泛的应用。二维降雨径流模型由 E.r.波波夫和 H.A.特鲁比欣于上世纪 80 年代初提出,模型分为产流模型和汇流模型两部分与以前相比,预报精度提高很多。

二战后,俄罗斯对缺乏水文资料地区水文计算和水文预报作为重点课题加以攻关,提供了由雨量间接推算方法、等值线图方法等技术途径,广泛用于水利工程的规划和设计[7]。1983 年颁布的有关《计算水文特性的建筑规范和法规》吸取了设计与科研经验,提出了提高水文特性计算的精度和可靠性课题。《气象与水文》杂志在 1949 年刊发了第 1 期创刊号,其中发表了 D.A.索科洛夫斯基的重要论文《河川径流及其计算方法的综述》。

俄罗斯对春汛洪峰作长期预报的初次尝试,可追溯至 20 世纪 20 年代,由于缺乏科学知识和观测资料,这类预报的可能性受到了限制。随着灌溉的发展,水电站的建设以及为控制径流量而修建的水库,提出了季节性径流长期预报的迫切要求。重要的是要预报出春汛洪峰流量、径流总量、时程分布,其中对于尚无控制的河流洪峰期的预报提出更高的要求。根据国家有关计划,20 世纪 30 年代开始使其走向正规。1953 年亚且夫斯基发表了《河冰形成对两岸的影响》。1980 年,俄罗斯水文气象研究中心著名水文学者 E.G.波波夫出版了专著《融雪径流预报的理论问题》,对 60 年来苏联的融雪径流预报,系统总结了有关季节性融雪径流长期预报的理论,

提出了实用的预报方法[7]。他认为,在冬季降水以冰雪的形态积聚的北部地区和山区,暖季消融是河流补给主要来源之一。在山区集水区内,消融期延至数月,结果使河流高水期拉长。

水文预报的准确度依赖于天气预报。俄罗斯关于数值天气预报研究方面,主要集中在两方面,即区域性和全球性。在苏联水文气象中心,从1981至1985年天气预报的成果中可以看出,采用流体动力学的涡旋热力扩散系数方法开展数值天气预报,相比以前发生了质的巨变。1985年开始,流体动力学天气预报业务成果可以改进各地区的短期预报。研究指出,在全球大气数值天气预报研究推广期间,随着大气科学的进步和计算机技术的应用,预报时效不断提高。1981年~1985年与1976年~1980年相比,俄罗斯数值天气预报进步显著,运用新模式的区域预报,24 h气压场预报成功率提高了10%~15%,72 h的半球预报成功率提高9%~14% [7]。

6. 沼泽、湖泊、森林、冰川水文及水化学

6.1. 沼泽水文

1893年关于沼泽的水文问题被重视起来,有人提出,沼泽对玻利西亚地区第聂伯河排水工程的水量产生了不利影响。俄罗斯对沼泽深入系统的研究始于近代,是世界上对沼泽研究最多的国家。俄罗斯学者加尔金娜(Б. А. Гаргина)应用大量航片研究沼泽的演变类型:伊万诺夫(К. Е. Иванов)著有《沼泽水文学》(1953年)和《森林区沼泽水文学概论及沼泽地段的水情计算》(1957年)等专著[8]。西伯利亚地区沼泽面积很大,其沼泽区堆积了地球全部泥炭的40%。按沼泽土壤中水的来源可分为低位沼泽(富营养沼泽)、高位沼泽(寡营养沼泽)、中位沼泽(中营养沼泽);按植被生长情况又可分为草本沼泽、泥炭沼泽和木本沼泽。草本沼泽是典型的低位沼泽,类型多、分布广,常年积水或土壤透湿,以苔草及禾本科植物占优势,几乎全为多年生植物,很多植物具根状茎,常交织很厚的草根层或浮毡层,如芦苇和一些苔草沼泽;泥炭沼泽又称高位沼泽,主要分布在俄罗斯北方针叶林带。沼泽具有湿润气候、净化环境的功能,也具有调节径流的作用,其影响主要是使河流流经沼泽段径流量(水位)季节变化变小,流速变慢,对其下游也有一定影响。但也有一些没有治理的沼泽地区,扩大了地表蒸腾蒸发,加剧了土地干旱化、盐渍化和风沙化程度,导致区域环境恶化。使湿地蓄水防旱的功能降低,洪峰流量增加,旱涝灾害频率加大[8]。

6.2. 湖泊水文

贝加尔湖位于西西伯利亚南部,湖泊总容积23.6万亿 m^3 ,最深处达1637 m(2015年),是世界第一深湖,也是亚欧大陆最大淡水湖[9]。俄国学者对贝加尔湖1900年以来水位变化及其原因深入研究后明确指出,湖水位变化是湖泊水文过程和水量平衡的动态反映,是湖泊生态环境的重要影响因素。在自然变化与人类活动的双重影响下,过去100多年,湖水位表现出较大的年内、年际变化。湖水位变化与入湖径流量变化密切相关,而与贝加尔湖最大支流色楞格河的径流量变化较为一致。气候变暖带来的气温上升和降水减少使得入湖径流量减少,导致水位下降。人类活动对水位变化影响表现在两个方面:一方面,全球变暖条件下,耕地面积增大和灌溉用水增加使得贝加尔湖流域用水增加,入湖径流量减少,导致湖水位下降;另一方面,1958年伊尔库茨克水电站投运后,贝加尔湖水位变化受到了安加拉河水位的顶托影响,降低了湖水位下降速度。在下游水电站调控影响下,贝加尔湖年平均水位升高,年内水位波动幅度增加,年最低和最高水位出现日期推迟。地处全球气候与环境变化敏感区的贝加尔湖,其水位变化对湖泊及周边生态环境影响显著。因此,在全球气候变化背景下,探究贝加尔湖的水位变化及影响因素对保护当地生态环境具有重要意义[9]。

6.3. 森林水文

森林与水的相互关系是水文学领域极为重要的研究内容。1905年俄罗斯水文局开展的森林对河川径流影响的讨论中存在两种截然不同的观点,绝大多数学者从观测和研究结果认为,森林对河川径流能起意想不到的调

节作用,增加了干旱枯水期的水量和河川流量,降低了汛期洪峰流量与洪水总量。森林变化对水文循环的影响也必须考虑森林砍伐与恢复对水文情势影响的两个方面。森林变化对流域蒸发的影响,决定了流域的土壤水文特性,这是认识森林对水文影响的关键。著名水文学家杜库洽也夫研究森林水文学迄今已满 67 年,65 年的水文观测(始于 1957 年)证实了杜库洽也夫的营造防护林带可以防旱的观点,是俄罗斯也是欧洲唯一、又是最早的长期试验,其结论具有极高的科学与实践价值[10]。林带风速较草原上降低 40%~50%,雪水储藏量也较草原增加 3 倍。护田林带的营造在 64 年左右能减少地表径流(其程度取决于集水区植林面积)。辽阔草原上季水量流走 60%~62% (某些年份流走 96%),但在带状肥沃地区,植林面积仅 6% 的情况下,雨水仅流走 35%,较前者小 43%,如植林面积占 18%,仅流走雨水 14%,较前者小 75%。林带内土凝吸水力极大,在未施行草田轮作制的田间(1937~1941), 1 m^2 吸水 21 L,林带吸水 387 L,几乎大 20 倍。草田轮作制的田间(1941~1948), 1 m^2 吸水 59 L,林带吸水量取决于林带的宽度,平均为 296~600 L。根据 65 年以来的试验得出的多年地下水位变化曲线,曲线呈铃形,最低点为干旱年,最高点为湿润年,客观反映出当地的气候特征。多年水位不因林带而降低,但仍有变化,据调查,1892 年水位为 178.66 m,多年平均水位为 180.55 m,最干旱的 1946 年的水位为 180.35 m,总的来说水位提高了。并由此得出了水位周期变化规律,周期为 11.2 年,这与其他自然周期,特别与太阳活动周期相同,这使得预测地下水位的变化成为可能。林带内水位下降情况逐渐变慢,每周期内最高水位下降周期,初为 3 年,以后为 6 年、10 年、12 年。这说明水份的变化,给带状肥沃地区的改良创造了极为有利的条件[10]。

6.4. 冰川水文

俄罗斯在冰川学的研究中,不断应用新技术,促进了物理冰川学的发展。如研究冰盖深钻孔中的冰岩芯,为恢复古气候提供了可靠依据,并发展了同位素冰川学;应用雷达技术测量冰盖厚度;卫星影像对冰雪的监测;遥测技术记录冰川范围和时间等[11]。1920 年以后随着俄罗斯经济特别是贸易的迅速发展,河流航运的重要性被提上日程。政府要求集中精力研究河流冰冻问题,就河流结冰理论以及各年年内结冰规律、结冰开始时间、开河时间的规律性及其机制等课题进行攻关,取得了很多成果。

关于河流冰情研究,绝对不能不提到一位传奇学者道列奥尼德·德米特里耶维奇·道尔古辛教授。他既是俄国最著名的冰情研究权威,又是新中国冰川研究的“启蒙者”[11]。1937 年他毕业于莫斯科教育学院地理系,后考入莫斯科国立大学地理学院读研究生 3 年。道尔古辛教授在前苏联的冰川学业务中,始终活跃在勘察和分析研究各阶段,成果丰硕,影响极大。二战期间他中断手中工作,毅然参加苏联红军,拿起武器反击德国侵略者,因战功卓著而荣获卫国战争一级勋章及“英勇”奖章。1958~1959 年,根据中苏两国科学院协议,道尔古辛教授参加了由中国组织的冰川考察队,指导祁连山和天山的冰川和积雪研究,并帮助培训了中国的冰川学人才。

6.5. 水化学

水化学是近数十年兴起的水文重要分支学科,俄罗斯及一些科学技术比较发达的国家,已取得了显著的成就[12]。苏联水文气象局在 1936 到 1938 年间,开始在全国主要河流上,进行长期定位水化学观测。1938 年苏联科学院水化学研究所正式成立,出版了水化学学术期刊。河流水化学研究中,水质分析以及测定技术是其基本内容。不仅分析河水、地下水、湖水、矿泉水,还要分析雨雪水、土壤水等众多方面,另外还要分析水中的主要离子和溶解气体。近年来还特别强调生物原生质、微量元素、放射性元素以及污染有毒物质的分析。苏联时期有不少水化学家,专门从事水质分析测定技术方面的研究,并取得了一定的成就,多次出版天然水分析方法论文集。H.Г.费申柯、H.B.波奇柯夫、A.П.布拉夫斯基等人对齐姆良、卡霍夫、古比雪夫等水库的研究表明,水库的含盐量并非是一直增加的,它随水库调节具有周期性的变化,因而认为拟定合理的调节方案,可以人为控制水质变化。俄罗斯从 1976 年开始,发布地表水水质年鉴,从 1983 年起出版水质手册。

7. 水平衡与水循环

7.1. 水平衡分析计算

水平衡定量揭示和反映了自然界水循环规律和气候因素与下垫面相互作用的结果,同热量平衡一起,是研究流域水文气象规律的物理基础,也是科学评价水资源的理论和基本的计算方法依据。近几十年来,俄罗斯对水平衡作了广泛的研究。20世纪40年代以来,就研究范围而言,有世界范围、北半球和各种流域水平衡。就地貌条件而论,有山区、平原区水平衡,就水体而论,有海洋、河川、湖泊、沼泽、冰川等不同水体水平衡。以时段长短而论,有多年、年、汛期、非汛期、季、月、旬、日乃至瞬时的水平衡。其中弗·叶·沃多格列夫斯基和奥·伊·克利斯托夫斯基,根据研究面积的大小与复杂程度及农耕地的多少,对水库和湖泊等各种不同的水量平衡关系进行了卓有成效的研究[13]。水平衡有关成果广泛应用于以下几个方面:分析水资源以及人类活动对水循环的影响;拟定径流计算与水文预报方法;拟定农业气象和农田灌溉预报方法并进行分析计算;建立水量平衡与河川径流形成的数学模式。

德列伊也尔、契尔诺卡耶夫等根据水量平衡要素图对1400个流域资料计算,揭示了北半球水平衡的特点及规律。Г.Я.卡拉琴科、Г.М.尼古拉耶娃利用气象资料,对热带地区水平衡研究后指出,地区自然景观与气候、地形、土壤、植被、水文地质结构关系密切。俄罗斯科学院地理研究所制作了数理方程系统和水资源结构图,揭示了水、土壤、大气之间的相互关系。Г.И.列夫切克提出了根据水量平衡方程确定灌溉回归水的数量[13]。

7.2. 水循环

水循环是自然界中水的广泛运动形态,也是地球上最基本,最活跃的自然现象,它深刻影响着全球地理环境、生态平衡,并且影响着水资源开发利用。对自然的水文过程来说,水循环是千变万化的水文现象根源[13]。产生水循环的外因是太阳辐射和地球吸引力,内因是水的三态物理变化。水循环是联系大气水、地表水、地下水 and 生态水的纽带,其变化深刻影响着全球水资源系统。根据苏联学者弗·格·格鲁什科夫首先认识并提出的地球上天然水的统一性理论,就可以计算出地球上各种水体更换的周期(更换一次所用的时间)。调查研究发现,大气中的水分只占全球水循环系统中总水量的1.53%,但它却是全球水循环中最活跃的部分。苏联学者М.И.布德科通过对全球陆地的周期律分析,研究了地理综合体内的物理过程指出,大气循环的能量,主要是由水循环过程中汽化潜热的转化所提供的。通过计算表明,如果大气圈中的水汽含量比现在减少一半,地球表面的降水量明显减少,蒸发量增大,河川径流变枯。水循环的强弱及其路径,直接影响到各地的天气过程,甚至决定地区的气候基本特征[13]。土壤入渗是地面水转化为可被植物吸收利用水分的唯一途径,决定着土壤水有效存蓄程度,因而可以看出,降水落入地面后,扣除地面入渗、蒸发和植物截留,剩余部分就产生坡面漫流,汇入到河流又形成河川径流。土壤入渗理论发展至今,已有100多年历史。18世纪后,俄国水文部门对自然界水循环的研究研究收获了很多成果。20世纪50~60年代,以俄罗斯A.A.颇因为代表的学者,在土壤入渗研究方面取得很多成果,并影响了中国早期对土壤入渗的探讨。20世纪50年代中期至60年代中期,俄罗斯科学家从土壤水分运动基本方程出发,导出了以A.A.罗戴为代表的形态学水分研究观点和方法,受到国内外关注[13]。

1974年俄罗斯水文气象出版社出版了一部《世界水量平衡与地球水源》学术著作,其中附有世界水量平衡图和获自世界100多个国家的资料,总结了俄罗斯科学家根据“国际水文十年”(1964~1974年)计划所开展的活动[13]。据计算,每年以雨、雪、霜、雹等形式,降到地球上的总水量为55万 km^3 ,比迄今计算的数字多出40%,为地球上每年的水源“补充”了相当于45个地中海容量的淡水。对地球上各种水详细调查后估计,地球上总贮水量为13.86亿 km^3 ,其中96%以上集中在海洋。这个数字比早先计算的少0.32亿 km^3 。并指出,近年来,世界上大洋总水位提高了8~10cm。地球淡水贮存量相当于0.35亿 km^3 ,2/3以上集中在两极地区的冰盖之中。甚至生物包含的所谓“生物水”看来也并不算少,竟有0.112亿 km^3 。目前人类每年能够从地球总贮水量中使用的,

仅仅是地面水循环中回收的水源，总共有 4.7 万 km³，其中 1/3 在亚洲，1/4 在南美洲，只有 7% 在欧洲。

8. 水文高等教育及学术交流

8.1. 水文高等教育

1922 年高级技术学院在俄罗斯首次开设了水文专业课程，1923 年出现了第一本水文教科书[14]。1930 年成立了水文气象学院，下设水文系，讲授的课程包括水文测验、水文化学、河海地形、普通水文学、河川水文学、湖泊水文学、海洋水文学、地下水文学、沼泽水文学、水文预报等。

俄罗斯水文气象教育在世界上处于领先地位，高级水文人才培养工作已有极长的历史。在俄罗斯有两所著名的水文高等学府，即列宁格勒水文气象学院和敖德萨水文气象学院。1930 年以列宁格勒水文气象学院为基础建立了最有名的俄罗斯国立水文气象大学，是世界上第一个水文气象方面的高等学府。90 多年来，大学培养了超过 2 万多名专业人才。大学下设 5 个主要科系，即气象系、水文系、海洋系、生态和环境物理系、经济和人文系。本科学历 4 年，毕业后授予学士学位；硕士研究生，学历 2 年；科学副博士研究生，学历 3 年，以大量阅读文献，了解俄罗斯当前先进研究成果，进行专业课题的研究；科学博士研究生，学历 3 年，进行更高级的专业课题研究[14]。在俄国还有很多水文气象中等专业学校。

20 世纪 30 年代受地理水文的影响，苏联逐渐形成一门水文基础学科《陆地水文学》，研究的主要对象是大陆地表水，重点是河流水文学，主要内容包括河流与流域的主要特征；探索河川径流形成过程的基本规律；分析影响河川径流的基本因素；研究河流水情变化的基本特点；研究河流泥沙运动与河床演变的一般特性；探讨水循环、水平衡的基础知识；探讨湖泊、水库、沼泽、冰川、河口等水体的水文特征。苏联奥基耶夫斯基 1954 年出版的《陆地水文学》被翻译成中文，作为我国大学第一批水文专业本科的教材，起到了水文启蒙的作用[14]。

20 世纪 50 年代起，苏联在伏尔加河、顿河、鄂毕河、叶尼塞河、第聂伯河上修建了许多大坝、运河和水电站。水文高校与研究机构基于俄罗斯水文 100 多年的长期实践与探索，成功总结了这些工程在规划、设计、施工和运管各阶段采用的水文气象各方面的知识和经验，凝练了计算思路与方法，逐步编写了一系列水文气象领域的教科书[15]。其中包括“自然地理”、“水文地理”、“气象学”、“天气学”、“气候学”、“陆地水文”、“河川径流计算”、“水利经济计算”、“动能经济”等学科。可喜的是，自 1953 年始，这些学科有计划的引入我国，经过几年施教与应用，尤其是受到美国 R.K.林斯雷、M.A.寇乐、J.L.H.保罗赫斯 1958 年出版的《工程水文学》的影响(此书有 1981 年中译本)，大约在 1960 年以后，我国结合水利建设的丰富经验，产生了具有中国特色的《工程水文学》一书，深受水利界欢迎，再版数次。

8.2. 水文学学术交流

召开全俄罗斯水文代表大会是最直接有效的高级水文学术交流方式[15]。1924 年 5 月召开了第一届大会，宣读 304 份报告，报告涉及陆地水文学、海洋学、地下水，水文地质、水生物学、水力学等领域。第二届于 1928 年 4 月召开，会上听取了 343 个报告，对径流计算方面的研究，其中包括河流水位参数方法予以很大关注。对进一步发展水文控制网、水文测验方法、建立水册和出版水文整编资料等给予了足够的重视，并提出筹建瓦尔达依水文实验站。第三届于 1957 年 10 月召开，会上听取了 427 个报告，主要讨论陆地水文学问题，期间组织展出 1341 件展品；通过了进一步发展野外和试验室工作的决议，并建议对设计中使用的水文情况各要素的计算方法进行检查与核准。第四届于 1973 年 10 月召开，会上听取了 471 个报告。大会交流了水平衡与径流计算、水利中的水文问题、水文预报、地表水与地下水电相互作用、湖泊、水库与河口水文学、水质及其保护的科学基础、河床过程、水文测验和水文计算、水文物理等课题。大会决议中，特别强调预测水和在水平衡领域开展研究的必要性。对于在天然和试验室条件下研究模拟的理论与方法问题予以了极大的重视。第五届于 1986 年 10 月召开。这次大会宣读了 11 个总报告，小组会宣读了 530 个报告，其中涉及水资源和水平衡、水文观测系

统和水册、水利设施的水文论证、水质和水保的科学基础、水文计算的理论与方法、水文预报和危险水文现象预测、湖泊与水库水文、河川过程和泥沙[15]。

1961年4月在布达佩斯召开的水文预报国际会议上,听取并讨论了苏联加里宁基于不稳定流近似计算的径流预报等5个主要报告。加里宁的预报方法得到与会者称赞,并广泛被东欧一些国家采用。2014年7月在圣彼得堡举行的第七届全俄气象大会,涵盖气象基础科研、气象及气候变化对水文、环境,植被等影响的研究等10个科目,同时纪念俄罗斯联邦水文气象和环境监测局成立180周年。1951~1952年在水文学界就俄罗斯水文科学发展方向的问题引起过争论,最后达到一致的看法是,综合性的水文研究既不排斥地理方向,也不排斥地球物理和工程水文方向;要探索工程修建后造成的水文情势改变;理论分析与水文实验并举;努力研究与推广水文测验、资料整编及水文计算方面的新技术[15]。

如同俄罗斯国立水文气象大学的学术地位,创立于1919年10月的俄罗斯国立水文研究所(ПГН)也是最著名的水文专业研究机构。全所共有1000余人,拥有一批相当有影响的科学家,从事水文、水工及水文仪器装备等的研究。该所设有20多个研究室,2个水文仪器生产和试验基地。涉及水文所有领域,其中有江河水文、湖泊水文、海洋水文、地下水文、沼泽水文,水文测验、水文物理、水流理论等。先后改为苏联国立水文研究所、列宁格勒苏联国立水文研究所,因在二战中有功,被命名为苏联红旗国立水文研究所,1992年又改为俄罗斯国立水文研究所,其基本任务是:研究陆地水文现象及其形成过程;研究水文情势和水平衡,完善对河流、湖泊、水库、沼泽等水情、冰情、水化学及其他要素的调查、计算、预报的理论与方法;制定水文调查和水文站网规划及科学研究规划;收集整理并储存全俄水文资料;国际合作等[16]。

中俄水文的规模化科技交流始于上世纪50年代,留苏回国学者把所学水文知识与科技带回中国,在水文站网规划与建设、水文测验与资料整编、水文计算、水文预报、水文实验站建立等方面发挥了“穿针引线”的作用[16]。一批苏联水文水利专家1960年以前来中国支援建设,传播了新技术,带来了丰富经验,提供了先进设备,并为中国培养了一批人才。1991年后,两国在水文水资源领域继续交往,如俄罗斯国立水文研究所与南京水利水文自动化研究所实现互访并签订友好合作协定,推介动船法测流、电波流速仪和雷达冰厚仪三种仪器系统的研制过程以及与国际上同类型仪器的比较等。

我们也不能忘记当年来华的苏联专家格罗什科夫教授,1955至1957年间,受邀专程赴华东水利学院(现为河海大学)水文系开办高级在职人员研习班,就水文各种新理论,新技术,新方法进行研讨。研习班成员囊括国内20余位业务精英,同时格罗什科夫还在华东水院年轻教师中选拔4位青年才俊作为他的研究生。这些高端人才以后大都成为高校、科研机构和设计单位的著名领军人物。饮水思源,前事不忘,后事之师!

9. 现代水文学科的动向

1986年俄罗斯出版了《世界冰雪资源图册》,在制定该图册过程中,苏联科学院地理研究所使用了一种特殊的系统方法,可以确定不同纬度带上绘制冰雪系统图的制图原则,由此获得了全球不同地区季节和多年冰雪资料。1987到2004年俄罗斯提出的水文重要成果,包括水文气象和自然资源卫星资料的接收与服务(1987)、俄罗斯河川航空水文测验(1988)、地下水动态的研究(1989)、俄罗斯的水文观测技术及设备(1991)、俄罗斯冻土带开发引起的地质环境的变化(1991)、水文学发展回顾及展望(2004)等。2018年10月俄罗斯出版《国内水文学家》一书,同时出版《20世纪的国内水文专家,历史河传记描述》,即将推出中译版发行。

2019年俄罗斯联邦水文气象与环境监测局发布全国环境现状与污染概况,指出地球大气中温室气体浓度持续增长,俄各观测站所测CO₂含量达到新的峰值。大气中CO₂浓度增加带有人为性质,与能源和工业设施排放有关。气候变化专家认为,大气中CO₂含量增长加快了全球变暖的速度,促进了气候变化。概况中指出:“2019年CO₂浓度继续攀升,再创新高。捷里别尔卡和季克西地区CO₂年均值为4.143亿单位,1年之内分别提高了320万个单位和300万个单位”。概况还认为,大气中另一种温室气体CH₄的含量也在增加,“2009年至2019

年期间 CH₄ 的浓度增加了 607 亿个单位”。俄罗斯与世界科学家一道在跟踪观察的同时，也在深入研究。

10. 结语

本文全方位介绍了俄罗斯水文科学的产生，100 余年水文测验、预报、分析、研究、教育等的发展历史，以及新中国成立初期中俄两国水科技交流合作的过程。俄罗斯水文学科对我国该学科的建立、应用和发展具有重要的影响，本文据此具有学科比较和认知价值。回首以往，中国水文发展过程，就是开始于向俄罗斯学习的过程，20 世纪 50~60 年代，学习跟进，70~80 年代实践发展，90 年代以后突飞猛进，局部领先，在世界占有一席之地。这一段发展历史，值得永远铭记！

参考文献

- [1] АКАДЕМИЯ НАУК СССР. Нис тутум историну естествознания и технику. И.А. ФЕДОСЕЕВ РАЗВИТИЕ ГИДРОЛОГИИ СУШ В РОССИИ И ЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР Москва, 1960.
- [2] Обзор советских гидрологических Технические характеристики О.Н.Болишук 《Инженерная гидрология》, 1981.
- [3] Советская Вальдаиская Гидрологическая научно-исследовательская экспериментальная станция Советский национальный институт гидрологии 《Инженерная гидрология》, 1991.
- [4] 《Развитие гидрологии в России за 70 лет》 М.И. Stanov Гидрологический издательский дом, 2015.
- [5] Советская современная гидрогеография" Л.К. Давыдов Географическое издательство, 1953.
- [6] История гидрологии России АА СокоВ 《метеорология и Гидрология》, 1986.
- [7] Прогресс в численной прогнозировании погоды в Советском гидрологическом метеорологическом центре Г.П. курба 《метеорология и Гидрология》, 1987.
- [8] Советская лесная водная литература м.А. Дукив 《метеорология и Гидрология》, 1965.
- [9] чеба советского водного баланса Ф.Е.вдглеский 《метеорология и Гидрология》, 1986.
- [10] Советское гидрологическое развитие В ведение Советский национальный институт гидрологии 《Инженерная гидрология》, 1986.
- [11] Советская гидрологическая метеорология и спутник природных ресурсов и приема Советского института гидрологии 《метеорология и Гидрология》, 1988.
- [12] Научно-исследовательские достижения в советской песчаной проблеме Sanda Л.В.ЛОТОПОВ 《Инженерная гидрология》, 1965.
- [13] Применение радиоактивных элементов и радара в гидрологическом измерении Waldaya экспериментальная станция 《Инженерная гидрология》, 1983.
- [14] Мировой водный бамбик и источник воды Земли» Советская академия советского 《метеорология и Гидрология》, 1975.
- [15] 《Формирование берегов рек и русловых форм рельефа》 А.П. Алексей Николаевич Мачинов Водонепроницаемый издательский дом, 2013.
- [16] ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ Е. Г. Попов 《метеорология и Гидрология》, 1979 06.