

中国科学院水工研究室译丛

波达波夫选集

(第二卷)

水利电力出版社

中国科学院水工研究室译

波 达 波 夫 选 集

(第 二 卷)

中国科学院水工研究室 译

水利电力出版社

1958年6月

出版者的話

环流在和主流垂直的横断面内，引起水流循环并产生输移作用，在工程实践中有广泛的应用价值（治河、进水口防沙、防止港口淤积、浚深渠道、保护桥墩等），在河川水力学理论体系中亦占有重要的地位。

环流的研究，以苏联为最先进，本选集第一、第二两卷的主要部分是原作者在环流方面的贡献，对于苏联水力学者在这方面的成就也有详细的叙述。

本选集共三卷，第三卷的主要内容为“径流调节”，高等教育出版社已于1956年专册出版；第一、二卷均由我社出版。现在首先出版第二卷，以适应目前工作的需要。

波达波夫选集（第二卷）

原 書 名 СОЧИНЕНИЯ ПОТАПОВА (II)
原 著 者 М.В.ПОТАПОВ.
原 出 版 处 СЕЛХОЗГИЗ
原出版年份 1951年
譯 者 中国科学院水工研究室
出 版 者 水利电力出版社（北京西郊科学路二里沟）
北京市书刊出版业营业许可証出字第105号
印 刷 者 水利电力出版社印刷厂（北京西城成方街13号）
发 行 者 新华书店

407千字 插图2页 787×1092 1/25开 19 9/25印张

1958年6月第一版 北京第一次印刷 印数1—1,300

统一书号：15143·153 定价：(11)3.40元

原出版前言

M.B.波达波夫文集第二卷叙述了作者所探討的人造橫向环流法，和該方法在土壤改良及水利技術實踐中应用的結論。

在第二卷中包括下列著作：

1. “水利技術上的新途徑”。在这一著作的前面簡單地叙述了河川水利工程的近代方法，及對它們給出了批判性的分析，也叙述了在明渠中建立环流方法的實質和它在實踐中的应用，說明了在實驗室条件下对这种方法的檢驗，肯定了橫向环流法在實踐中的应用範圍。作者得出按人們的要求可以改变水流流动的思想后，証實了調節水流內部流动对于下列情况有着巨大的意义：例如防止推移質進入引水建築物而流入干渠，設置沉砂池和砂阱，为了提高水流輸砂能力而建設和管理渠道，防止河岸冲刷而進行工作，裁弯取直和加深河道以及防止河底冲刷以改善河道航运等等。在本文的結束語中，M.B.波达波夫也談到了应用人造橫向环流法在實驗室和生產条件下对水力和水利技術進行研究的任务和計劃問題。

2. “用作用于水流水力結構的方法調節水流活动”。在这一著作中說明了几种主要水流流动的簡扼特征，其中也包括內部流动。曾觀察了水流和水池中的环流，研討了应用在調節水情和河情方面的人工控制环流方法。在本文終結处，列有水流和各主要流态的水力結構各要素的表格，在調節水流和河道方面与解决水利工程和土壤改良方面很多实际問題时，这些提綱性的資料可供進一步研究之用。

3. “人造橫向环流法对于水流的調節”。本文是人造橫向环流法在實踐中应用方法的总结。作者对于在水流中建立人工橫向环流，叙述了所需導流裝置的各要素的确定方法，它們計算的方法，以及設計与結構；还簡短地叙述了人工环流法在实际中应用的結論，例如在阿

姆河，錫爾河，庫拉河，阿拉克斯河等河流上，在引水和分水處防止推移質的工作中，在河流上改善引水建築物的各構成部分時，在灌溉系統內調節推移質流時，在灌溉渠道內調節推移質和懸移質時，在防止河岸沖刷和平整河道時等等。

4. “橫向環流法及其在水利技術中的應用”（與 Б.А. 培什金合作寫成）。在本文中作者敘述了螺旋流的要點（И.С. 格羅麥卡和 А.Я. 米洛維奇教授），說明了縱向螺旋流的理論；並敘述了在 ВНИИГиМ, ЦНИИЛесосплава, САНИИРи, ЦНИИРФ* 與其他研究機構的實驗室中，對各種形式的水流中的橫向環流所進行的研究的結果。本文還敘述了一些曾在野外作過的人造環流法的試驗研究。這些試驗是在阿姆河下游，穆干渠，達治克斯坦，蘇爾漢河谷地，阿姆河谷地中游地區，費爾干渠道，錫爾河，楚河，片支河，涅魯薩河，以及伏爾加河等不同地區進行的。其次又描寫了與人造橫向環流的一般性質以及調節環流中的懸移質有關的實驗室的和理論的研究結果，闡明了幾種利用了人工控制橫向環流原理而工作的新型建築物的特點。

5. “關於河床彎道上的液體運動問題”。作者簡略地分析了在河床彎道上現有的水流運動理論，並敘述了一系列理論性的新見解。他又根據 Н.Е. 茹科夫斯基教授關於在水流彎曲處決定橫向速度的學說，進一步修正了計算關係式。並指出了在這方面進一步作理論性和實驗性研究的途徑。

6. “矩形斷面直綫明渠中液體的螺旋運動”。本文根據 И.С. 格羅麥卡與 А.Я. 米洛維奇教授的初始資料，對水流中的螺旋流現象進行了理論分析，推導了縱向螺旋流的理論，同時也導入了橫向環流的計算要素，橫流能量的失散以及縱向螺旋流均勻衰減的假說。

7. “河川水流中環流的特殊情況——螺旋流”。本文的內容是格羅麥卡和米洛維奇教授對螺旋流所進行的理論分析，環流的基本方程和補充方程的推導，將螺旋流看作是環流的一種特殊情況。確定了橫向水流的計算要素與縱向速度的分布無關。

* 譯者注：原文見附錄四。

8. “懸移質在环流中的运动”。根据 H.E. 茹科夫斯基教授在“关于積雪与河流淤積”*一文中所述的理論，对于确定关系式來決定环流懸浮能力和輸砂能力作了理論上的論証。所得关系式对于灌溉渠道、沉砂池及其他需要調節泥沙情况的河道建筑物的設計和管理方法的拟定有很大的意义。

9. “环流方程式的特解和紊流結構”。作者觀察了紊流結構，并对水流中的动能，粘滯力所作的功与水流的輸砂能力等問題作出了理論解答，这些問題对于組織實驗室和現場上的河川水利工程实验都有着非常巨大的意义。

10. “圓管中的环流”。（与 B.A. 培什金合作寫成）。本文研討了圓管中的螺旋流理論并導入了主要計算要素來決定圓管的断面。作者指出有可能在圓管中利用环流提高水流的輸砂能力，这在設計水管，吸虹管，冲刷廊道等建筑物时都有很大的意义。

11. “寬闊水流中的次生（感应）环流”。本文研討了水流中發生次生流的問題和由此而產生的主流与次生流各要素間的定量关系問題。本文对平均脉动速度值和紊动粘滯系数也作了計算，并利用实验資料來驗證所得到的关系式，在研究河流和渠道的寬闊河床中所發生的环流时，这种关系式具有很重要的意义。

12. “均匀河川水流中环流發生的条件”（本文为报告提綱；第一次公布），用此提綱的形式叙述了定形渠中恆定均匀粘性水流运动的基本方程式；研究了次生环流的發生問題等。

13. “明渠水流中的橫向环流及其研究任务”。本文叙述了河川水利工程中的現有方法与人工橫向环流法；对于研究情况作了簡短的評述，并指出了橫向环流今后的研究任务。

第二卷是由 E.A. 扎馬林院士，M.И. 馬尔采里教授与 A.H. 依万諾夫技術科学副博士編輯出版的。

B.A. 沙烏綿技術科学博士曾对本書作了一些內容上的补充。

* 譯者注：原文为 “О снежных заносах и заиления рек”。

目 錄

I	水利技术上的新途徑（明渠中的橫向环流及其在水利技术上的应用）	
	1. 河川水利工程的近代方法	(12)
	2. 新方法的本質	(21)
	3. 方法的初步試驗性檢驗	(28)
	4. 方法的应用範圍	(34)
	5. 研究的任务和計劃	(42)
	6. 結論	(49)
II	用影响水流水力結構的方法調节水流	
	緒言	(52)
	A 平均速度場	(56)
	I 平均流速	(56)
	II 縱向流速在断面中的分布	(61)
	III 水流和水池中的环流	(63)
	IV 水流的不均匀性	(76)
	V 水流的流綫結構	(77)
	VI 源場与匯場	(78)
	B 不恆定流	(80)
	B 水流的紊动	(83)
	Г 水流的边界層	(84)
	Д 明渠表面水膜	(85)
	水流水力結構各要素概略表	(86)
III	利用人造橫向环流的方法調整水流	
	緒言	(91)
	I 導流系統的类型和基本要素	(95)
	1. 水流的人为分層和導流系統	(95)
	2. 導流板在平面上的形狀	(97)

3. 單個導流板的要素	(100)
4. 橫向導流系統的要素	(103)
5. 斜向導流系統。欄阻綫	(104)
6. 欄阻綫的要素	(106)
7. 雙重的和內部的導流系統	(108)
II 導流系統的結構	(109)
8. 對導流板結構的一般要求	(109)
9. 木樑、木樁和欄槎上的導流板	(111)
10. 底部導流板	(113)
11. 便橋上的導流板	(114)
12. 冬季導流板	(116)
13. 漂浮式導流系統的主要構件和工作條件	(116)
14. 木筏上和浮筒上的導流系統	(121)
15. 用浮筒導流板做成的導流系統	(123)
16. 浮筒導流板的結構	(124)
17. 漂浮導流系統的穩定性	(127)
18. 漂浮導流系統的分段	(130)
III 橫向環流法的實際應用	(131)
A 在引水和配水時防止推移質的入侵	(131)
19. 導流系統的主要尺寸	(131)
20. 河流上引水條件的改善	(134)
21. 灌溉渠系內部推移質流的調節	(136)
22. 導流系統和懸移質	(136)
B 河岸的保護與河道的整治	(137)
23. 水流軸綫的取直	(137)
24. 防止河岸沖刷	(140)
25. 河底的軸心沖刷	(143)
B 改善航運和浮運條件	(145)
26. 河床中淺溝槽的開挖	(145)
27. 防止淺溝槽的淤塞	(149)
28. 改善航運條件的其他措施	(154)
Г 應用橫向環流法的其他領域	(152)
29. 防止河流進水建築物的淤塞	(152)
30. 防止橋墩的淘刷	(153)
31. 防止水流的分層現象	(154)
32. 提高輸泥管的輸砂能力	(154)

IV 横向环流法及其在水利技术中的应用(1932~1946年研究的总结)

I 横向环流一般特性的实验室研究(157)

1. 纵向螺旋水流运动学(157)
2. 横向环流的能量散失(163)
3. 导流板的形式与尺寸(164)
4. 导流系统的基本类型(165)
5. 水流对导流系统的作用力(171)
6. 螺旋流的输砂能力(172)
7. 不均匀流中的横向环流(172)
8. 今后的研究任务(174)

II 横向环流法实际应用方面的实验室研究(175)

1. ВНИИГИМ 对人工造床的研究(175)
2. ЦНИИЛесосплава 对浮运河道造床的研究(183)
3. 关于改善河道通航条件的研究(186)
4. ВНИИГИМ 关于无壩引水时防止推移质的研究(192)
5. ВНИИГИМ 关于有壩引水时防止推移质的研究(201)

III 横向环流法的野外生产试验研究(203)

1. 有壩引水时用横向环流法防止推移质入侵的生产性试验研究(203)
2. 无壩引水时用横向环流法防止推移质入侵的生产性试验研究(205)
3. 灌溉系统内部配水时防止推移质入侵的生产性试验研究(217)
4. 横向环流法在防止河岸冲刷与平整河道方面的试验性应用(222)
5. 使河床产生轴心冲刷时方法的试验性应用(231)
6. 改善浅槽段通航条件的试验研究(237)
7. 导流系统结构的探讨和试验性结构(248)
8. 横向环流法在生产应用方面进一步研究的问题(251)

IV 新的研究(255)

1. 横向环流一般性质的实验室和理论研究(255)
2. 根据这一方法在生产实践中的应用而进行的实验室研究(260)

V 关于河床弯道上的液体运动问题

VI 矩形断面直线明渠中液体的螺旋运动

I 研究的任务(316)

II 理想不可压缩液体的恒定流动及其特殊情况(317)

III 均匀螺旋运动方程式(323)

IV 均匀螺旋流的运动学(327)

V	均匀螺旋运动和試驗	(331)
VI	縱向螺旋运动方程式	(335)
VII	縱向螺旋流的运动学。試驗驗證	(340)
VIII	縱向螺旋流中的压力分布	(344)
IX	橫向环流能量的失散	(348)
X	內部粘性所引起的能量損失	(349)
XI	“周界摩擦”所引起的能量損失	(353)
XII	橫向环流能量失散的試驗資料	(357)
XIII	均匀衰减縱向螺旋流	(362)
XIV	水流中具有常速度的均匀螺旋运动	(368)
XV	結論	(369)
VII	河川水流中环流的特殊情况——螺旋流	
I	問題發展概況	(372)
II	环流基本方程式	(373)
III	环流补充方程式	(375)
IV	环流的特殊情况——螺旋运动	(376)
V	沿断面縱向流速的均匀分布	(377)
VI	环流能量的失散	(377)
VII	悬移質在环流中的运动	
IX	环流方程式的特解和紊流結構	
	前言	(394)
I	所研究問題的本質	(394)
II	方程式 $(\Delta + k^2)\psi = 0$ 及其在环流理論中的应用	(395)
III	用于正三角形和正六边形網的基本方程式的解	(397)
IV	动能及其分布	(401)
V	粘滯力所作的功	(402)
VI	水流的輸砂能力	(405)
VII	正三角形体系內的环流	(408)
X	圓管中的环流	
XI	寬闊水流中的次生(感应)环流	
I	現象的本質和研究的任务	(429)
II	初始概念及基本計算式	(430)
III	基本方程式的近似積分	(434)

A	簡化基本方程式	(435)
B	利用有限差分的近似解	(436)
IV	平均脈动速度值和紊流粘滯系数	(437)
V	数字計算举例	(439)
VI	計算关系式的試驗驗證	(440)
XII	“河川均匀水流中环流發生的条件”的报告提綱	
XIII	明渠水流中的橫向环流及其研究任务	
I	河川水利工程的現有方法	(454)
II	人造橫向环流法	(457)
III	橫向环流研究的情况及今后的研究任务	(460)
附錄一	中俄技術名詞对照表	(464)
附錄二	中俄人名对照表	(478)
附錄三	中俄河名、地名对照表	(481)
附錄四	苏联水利机构中俄縮寫名全名对照表	(483)

I

**水利技術上的新途徑(明渠中的橫向環流
及其在水利技術上的應用)**

“……理論若不和革命實踐聯繫起來，就會變成無對象的理論，同樣，實踐若不以革命理論為指南，就會變成盲目的實踐。”

И. 斯大林

1. 河川水利工程的近代方法

地面水流的水利工程的主要任務可以歸結為有目的控制水流和河床間的相互作用；河床可能是天然的（河流），也可能是水工建築物（渠道）。這種控制的必要性在於這種相互作用經常會引起嚴重的後果，值得每一個水利工作者加以注意，例如：

河流和渠道兩岸及底部的沖刷，經常會引起田地、建築物和房屋的毀壞。

在河床的某些地方，泥沙堆積而形成淺灘、淺槽段和沙洲時，對於航運將發生嚴重的妨礙。

河道的曲率增大，加之泥沙淤積，將會減低其宣泄能力，使河灘沼澤化，增加洪水的嚴重性。

在水工建築物處的泥沙淤積，例如在引水建築物處的淤積，將會破壞後者的作用。

泥沙深入到灌溉、水力、航運和其他渠道中時，將引起淤積和宣泄能力的減弱等。

為了和上述現象作鬥爭，目前存在着兩條基本的途徑。第一條途徑是直接的途徑，純粹是對於河床的機械作用：在河床中發生沖刷時，用非沖刷護岸加固；而當河床中發生淤積時，就用機械把淤積物清除（控泥）。由於這種方法實施的困難和工程費的昂貴，很早就迫

使水利工作者去尋找第二條途徑來調節水流和河床間的相互作用。這條途徑是利用水流本身的冲刷、輸移和淤積泥沙的能力。這時必須按兩個基本方向着手：減弱水流對河床某些地方的冲刷作用，或者是相反地加強這種作用，不使泥沙有所淤積，或清除過去淤積的泥沙（或者是挖掉河床內可能被冲刷的土層）。

顯然，第二條途徑中潛伏着極大的發展可能性，這是由於水流在一定的條件下，對於河床的作用會是非常強烈的。同時也非常明顯，為了利用這種巨大的可能性，首先應該很清楚地了解水流本身的流體動力性質，並利用這些性質，在水流中建立一定的流動情況（造成一定大小和一定方向的速度），以達到所要求的水利效益。

近代水利技術方法是以怎樣的一種水力圖畫作為基礎的呢？主要是液體的平行流綫運動的圖畫，水流的速度（當紊流時是平均值）一般都互相平行，且與水流軸綫也平行，也就是說，與水流斷面相垂直。

首先，純粹從水力學方面來看，正是這樣一種運動研究得最徹底。平均速度與坡度間的關係，以及與幾何斷面某些要素間的關係，可以認為已經完全確定了，目前正在不斷地積累材料以便從定量方面修正此關係式；至於過水斷面中的速度分布情況及其影響因素都已經研究得很清楚。不均勻流問題在巴赫麥捷夫教授、巴甫洛夫斯基院士和其他學者的著作中已經敘述得很詳盡。最後關於紊動情況下液體運動的內部機構方面，在 M.A. 魏利坎諾夫和其他學者的著作中也研究到了一定的深度。

其次，正是在這一種水流現象上奠定了河川泥沙運動的近代理論基礎，這個理論在很多作者的著作中都有敘述。它也是廣泛水利技術實踐和水工結構物計算方法的基礎。因而，為了維持必要的航運深度，廣泛地採用着所謂“束水工程”，這種工程是由縱向結構物或橫向結構物組成，它們的作用在於減小過水斷面，使水流有足夠大的流速來帶走泥沙。這種方法（在裁彎取直和清除河床的同時），在改善作為排水系統中的容水區的河流時，也廣泛地應用着，同時，其最後目的是在於最大地加深河道和降低水位。防止河底和河岸冲刷的方法，是

减小冲刷地区的流速，即远移所谓“主流綫”。为了达到这种远移的目的也采用縱向和橫向結構物（導流堤，丁壩，橫牆，潛丁壩等），它們在冲刷地帶造成滯水区。在冲刷地帶用裝置透水橫向結構物，擋板，沉浸樹木等人工方法增加河床粗糙程度也可以达到同样的結果。所有这些方法均能减少流速和在河岸或河底冲刷处淤積泥沙。在引水建築物处防止泥沙淤積时經常采用平整和束水等工程，使水流在經過引水口后在河中剩余的流量，有足够的流速挟帶泥沙。当引水百分比很大时，單用这一方法还是不够的，为了达到必要的流速，必須設法造成水位的集中降落，即建造攔水建築物（壅水壩）。最后，还可以指出，許多其他水工建築物都是根据水流平行流綫运动和推移質受縱向速度作用的理論進行計算的；这里亦包括防止渠道的淤積，防止沉砂池和砂阱中泥沙的沉淀，以及沉淀泥沙的冲洗等問題。

上列極不完全的叙述，已包括了近代水利技術（我們所研究的河川水利工程）的当前任务和實踐方法中的很大部分，因此我們可以說，平行流綫运动的圖画仍然是近代水利技術的主要基礎。

但是在水力学和水利技術上都顯明地指出第二种运动形式，它表現得不是像液体平移运动那么突出，但是事实上，它对于推移質的运动和河道橫断面的形成都起着很大的作用。我們的意思就是指水流橫断面中的液体运动，由于水流的連續性，这种运动一定沿封閉的道路發生，也就是有着循环的特性。和水流的平移运动合在一起，这种循环就使运动像螺旋一样。應該指出，液体的这种橫向环流的性質、对它控制的运动規律，我們几乎还完全不知道，甚至它發生的原因，在某些情况下也沒有清楚的和一致公認的看法。

在对称断面的直綫河道中，橫向环流看來只能在一定的条件下才可能存在，或者就是存在的話，也表現得很弱。按照 H.C. 列利亞夫斯基工程师的觀察，在河流的直綫区域中这种环流具有如圖 1 所表示的那种形式。同样性質的双重环流在洛西耶夫斯基教授和其他学者的實驗室情況下也曾觀察到。發生这种現象是由



圖 1

于河中心的縱向流速較大，因此河中心的水位比兩岸水位低的緣故，在水位降落期間，各種現象特別明顯，其所引起的橫流，在表面是水流從河岸流向中心，隨之而來的是底部水流有相反的方向。

水流在平面上彎曲處的橫向環流有着一種根本不同而特別明顯的性質（圖 2）。對河道中的這種現象，列利亞夫斯基工程師最先進行了詳細的研究，他在 1894 年第六次國際河運會議上作了這方面的報告。同時列利亞夫斯基工程師整理出並在會議上發表了整套河道的平整工程系統，關於這一點我們在下面再講。按照列利亞夫斯基工程師的觀察，在河流彎曲處發生二種橫流；表面的（折沖的）從凸岸向凹岸，而河底的則有相反方向。因此河床向右轉時發生反時針向的環流，而向左轉時環流順時針向。

從本世紀開始出現了一系列的理論和實驗工作，一直繼續到現在，其中可以舉出者有：Н. Е. 茹科夫斯基，А. Я. 米洛維奇，М. А. 迭明捷夫等人的作品。研

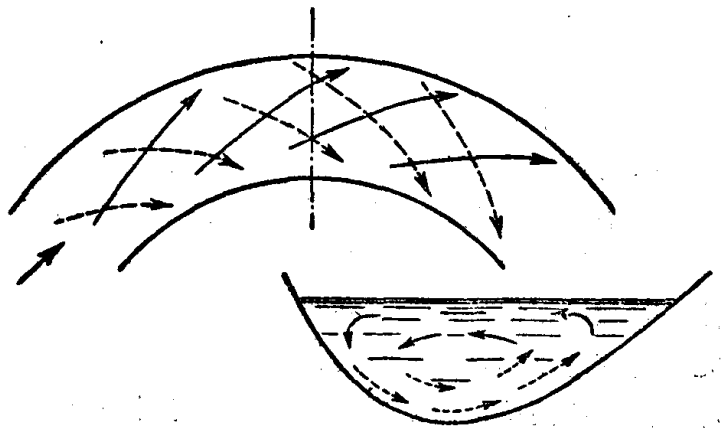


圖 2

究工作對於水和氣體都進行過，綜合這些工作，可以看到現象本質的一綫曙光。然而到現在為止，我們還沒有關於水流在平面上彎曲時發生橫向環流的清晰的定義和一般公認的理論。同樣也缺乏決定這些現象的定量規律。

按照研究者們的解釋，發生橫向環流的原因可以用存在下面兩種情況來說明：1）通過彎道時作用在質點上的離心力，和 2）在與水流迴轉軸平行的同一直綫上的各質點有不同的平移（縱向）速度，速度之所以不同是由于在水流底部存在着阻滯的影響。在明渠水流中這種現象可以歸結為如下幾點（圖 3）：質點 a 上作用着離心力 $f_a = \frac{mv_a^2}{r}$ ，質

点 b 上作用着离心力 $f_b = \frac{mv_b^2}{r}$, 因为 $v_a > v_b$ (按照速度沿垂线的分布圖) 那末 $f_a > f_b$, 因此横向速度在 b 点要比在 a 点来得小, 在这种情况下, 水流断面中不可避免地会产生沿顺时针方向的横向环流, 这时, 曲率半径愈小, 则环流愈强。

现在我們來看一看水流横向环流与造床的关系。首先应该指出, 关于河床在弯曲处的河貌* 特点, 很久前就有記載, 并且有一般公認的定义, 此定义可以用下列各点來作簡短的說明:

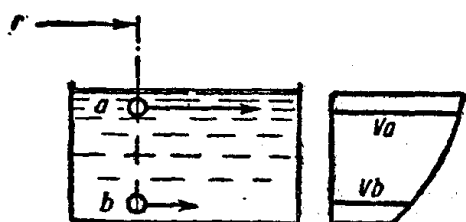


圖 3

1. 最大的深度处在凹岸, 淺灘則在凸岸。
2. 河流弯曲度愈大, 則深度愈大, 淺灘愈顯著。
3. 最大的深度和最突出的淺灘不是分布在曲線的頂点, 而是在从頂点順流往下的地方。
4. 河流弯曲曲綫愈圓滑, 那末它的縱剖面愈規則。

最早对河槽上的这种現象進行詳細研究的, 是我國工程師 H.C. 列利亞夫斯基, 前面所談到的在 1894 年第六次國際會議上的報告中, 他已經叙述了他的理論。在此报告中列利亞夫斯基用直接的观察結果完全肯定地指出, 表面(冲折的)不帶泥沙的水流在凹岸处向下流动, 冲刷凹岸和河底, 像挖出它所需要的材料一样。而这一材料被底部水流推向凸岸, 并在該处淤積而造成淺灘。就这样, 在列利亞夫斯基的著作中非常明白地說明了水力运动的圖画、泥沙情况和造床特点的內在联系。

列利亞夫斯基工程師沒有在这問題的流体动力学方面進行研究, 也沒有給水流横向环流这一概念下明确的定义。然而, 假如根据合于邏輯的推断, 这个环流的强度随弯曲水流長度而增加(在一定的範圍內)与随曲率半径减小而增大, 則就可能对造床規律和横向环流的基本性質完全平行地加以闡述。事实上, 横向环流也一定会决定下列現

* 譯者注: 原文为 морфология.