Die Donau und ihr Einzugsgebiet – Eine hydrologische Monographie
Folgeband I

SCHWEBSTOFF- UND GESCHIEBEREGIME DER DONAU

Дунай и его бассейн – Гидрологическая монография
Дополнительный том I

РЕЖИМ ВЗВЕШЕННЫХ И ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ РЕКИ ДУНАЙ

Regionale Zusammenarbeit der Donauländer im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms der UNESCO
1993
Региональное сотрудничество придунайских стран в рамках Международной Гидрологической Программы ЮНЕСКО

Die Donau und ihr Einzugsgebiet – Eine hydrologische Monographie
Folgeband I

SCHWEBSTOFF- UND GESCHIEBEREGIME DER DONAU

Дунай и его бассейн – Гидрологическая монография
Дополнительный том I

РЕЖИМ ВЗВЕШЕННЫХ И ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ РЕКИ ДУНАЙ

Regionale Zusammenarbeit der Donauländer im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms der UNESCO
1993
Региональное сотрудничество придунайских стран в рамках Международной Гидрологической Программы ЮНЕСКО

Im vorliegenden Folgeband I der Donaumonographie werden die Benennungen und Grenzen der Staaten entsprechend dem Stand 1988 (dem Jahr der Aufstellung des Arbeitsplanes für den Folgeband) gebraucht. In den Bildern und Tabellen werden die geographischen Namen, der Einfachheit zuliebe, nur mit lateinischen Buchstaben geschrieben.

В данном допольнительном томе I. Гидрологической монографии р. Дунай названия государств и их границы приведены соответсвенно сотоянию 1988 года (в данном году по существу был составлен материал). В целях упрощения подготовления материала на рисунках и в таблицах географические названия даются только с латинскими буквами.

ISBN: 963 511 109 6

RÓMAI Kiadói és Nyomdaipari RT.

INHALT – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

Seite – Страница – Page

Vorwort – Введение – Introduction 5

Verzeichnis der Autoren – Список авторов 9

Auszug – Резюме – Abstract 13

0. ENTSTEHUNGSGESCHICHTE DES VORLIEGENDEN BANDES – ИСТОРИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ДАННОГО ТОМА 15

1. SCHWEBSTOFFREGIME DER DONAU VON 1956 BIS 1985 – РЕЖИМ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ Р. ДУНАЙ В ПЕРИОД 1956–1985 ГГ. 20

1. 1. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffracht der einzelnen Stationen – Изменение годового количества наносов по станциям 20

1. 2. Anthropogene Beeinflussungen des Schwebstoffregimes – Антропогенное влияние на режим взвешенных наносов 28

1. 3. Jahresgang der Schwebstofffracht – Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов 37

1. 4. Längschnittmäßige Verteilung der Schwebstofffracht in einigen ausgewählten Jahren – Изменение стока взвешенных наносов вдоль реки в нескольких выбранных годах 38

1. 5. Veränderungen der Kornverteilung des Schwebstoffes – Изменение гранулометрического состава взвешенных наносов 48

1. 6. Die Schwebstofffrachten der Zubringer – Сток взвешенных наносов притоков 52

1. 7. Beschreibung der eingesetzten Methoden zur Schwebstoffmessung – Описание способов измерения взвешенных наносов 56

2. GESCHIEBEREGIME DER DONAU VON 1956 BIS 1985 – РЕЖИМ ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ Р. ДУНАЙ В ПЕРИОД 1956–1985 ГГ. 60

2. 1. Gang der jährlichen Geschiebefrachten – Изменение годового объема влекомых наносов 60

2. 2. Anthropogene Einflüsse auf das Geschieberegime – Антропогенное влияние на режим влекомых наносов 62

2. 3. Veränderungen der Kornverteilung des Geschiebes – Изменение гранулометрического состава влекомых наносов 65

3. KORNVERTEILUNG DES STROMBETTMATERIALS DER DONAU –ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУСЛОВОГО МАТЕРИАЛА Р. ДУНАЙ 68

4. AUSBLICK – ПЕРСПЕКТИВЫ – OUTLOOK 70

Verzeichnis der angewandten Symbole – Список символов – List of applied symbols 73

Literatur – Список литературы – References 74

Zitierte Werke – Литературные источники – Quoted references 74

Sonstige einschlägige Werke – Другие работы по теме – Other relevant references 75

Verzeichnis der Tabellen – Список таблиц – List of tables 79

Verzeichnis der Bilder – Список рисунков – List of figures 80

VORWORT – ВВЕДЕНИЕ – FOREWORD

Vorwort

Im Rahmen der internationalen Wasserprogramme der UNESCO hat die regionale Zusammenarbeit von je her eine besondere Bedeutung gehabt. Derartige Zusammenarbeiten gehen bereits auf die Internationale Hydrologische Dekade (1965–1974) zurück. Benachbarte Länder haben sich damals durch ihre Nationalkomitees bereit gefunden, gemeinsam hydrologische Vorhaben in länderübergreifenden Flußeinzugsgebieten oder gemeinsam interessierende hydrologische und wasserwirtschaftliche Probleme zu bearbeiten. Mit Beginn des Internationalen Hydrologischen Programms der UNESCO (IHP), 1975, wurde diese Zusammenarbeit fortgeführt und teilweise sogar intensiviert.

Die regionale Zusammenarbeit hat wertvolle Ergebnisse hervorgebracht: Im Jahre 1978 veröffentlichte die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), die auch im Rahmen des IHP tätig ist, eine Monographie über die Hydrologie des Rheingebietes. Acht Jahre später erfolgte die Herausgabe der Monographie über die Hydrologie des Donaugebietes in der deutschen Fassung durch die damaligen acht Donauanliegerstaaten. Eine viersprachige zusammenfassende Ausgabe sowie die russische Version der umfassenden Donaumonographie folgten etwas später.

Die Rheinanliegerstaaten haben nach Herausgabe der Monographie ihre Zusammenarbeit mit der Bearbeitung wichtiger hydrologischer Fragen, die von gemeinsamem Interesse waren, im Rahmen des IHP fortgesetzt. Eine Reihe von Publikationen wurde inzwischen veröffentlicht.

Die Donauländer haben ebenfalls nach Fertigstellung der Monographie beschlossen, ihre Zusammenarbeit im Rahmen des IHP fortzusetzen. Die Vertreter der Nationalkomitees der damaligen acht Donauanliegerstaten Deutschland, Österreich, Tschechoslowakei, Ungarn, Jugoslawien, Rumänien, Bulgarien, Sowjetunion einigten sich 1988 zunächst auf vier Themen mit entsprechenden Projektbearbeitern:

1. Geschiebe- und Schwebstoffregime der Donau und ihrer wichtigeren Zubringer (Dr. Rákóczi, Ungarn)
2. Temperatur- ud Eisregime der Donau und ihrer wichtigeren Zubringer (Dr. Stančíková, Tschechoslowakei)
3. Langfristige Schwankungen des Niederschlags im Donaueinzugsgebiet (Dr. Behr, Österreich)
4. Hochwasserkoinzidenz der Donau mit ihren wichtigeren Zubringern (Prof. Dr. Prohaska, Jugoslawien)

Das deutsche Nationalkomitee für das IHP hat von 1987 bis 1992 die Koordinierung der Zusammenarbeit der Donauländer auf Expertenebene vorgenommen.

Mit dem nun vorliegenden Band über „Das Schwebstoff- und Geschieberegime der Donau" wird das erste Ergebnis der Zusammenarbeit nach Herausgabe der Monographie veröffentlicht.

Die Bearbeitung des Projektes begann 1988. In der Zwischenzeit haben sich in der früheren Sowjetunion, dem ehemaligen Jugoslawien und in der Tschechoslowakei auch in dem Einzugsgebiet der Donau neue Staaten gebildet. Die Auswahl der Meßstationen sowie die Konzeption des Projektes basieren jedoch auf dem Zustand und dem Grenzverlauf, wie er 1988 und in den ersten Jahren der Projektbearbeitung gültig war.

Die Arbeitssprachen bei der Zusammenarbeit der Donauländer im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms sind Deutsch und Russisch. Die Herausgeber legen diesen Folgeband I daher zweisprachig mit einigen Ergänzungen auf Englisch, vor.

Der Koordinator möchte an dieser Stelle der UNESCO danken, daß sie mit dem bewährten Dach des Internationalen Hydrologischen Programms ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt hat, das eine erfolgreiche Zusammenarbeit ermöglichte.

Alle genannten bisherigen Donaustaaten haben durch Daten- und Informationslieferung Anteil an der Bearbeitung des Projektes. Das ungarische IHP-Nationalkomitee und vor allem der Projektbearbeiter und Autor der vorliegenden Arbeit, Herr Dr. Rákóczi, haben die Bearbeitung zum Abschluß gebracht. Das Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI), Budapest, hat den Druck und die Herausgabe dieses Bandes mit Unterstützung des deutschen IHP-Nationalkomitees besorgt. Allen Beteiligten sei für ihren Einsatz gedankt.

Ich bin zuversichtlich, daß die Ergebnisse der anderen genannten Projekte in dieser begonnenen Reihe ebenfalls in Kürze veröffentlicht werden können.

Koblenz, im Januar 1993

K. Hofius

Professor Dr. K. Hofius
Koordinator der hydrologischen Zusammenarbeit der Donauländer

Введение

В рамках международных гидрологических программ UNESCO передовое значение принадлежит всегда региональному сотрудничеству. Первый импульс к сотрудничеству в области гидрологии исходил (в 1965–1974 гг.) от международной гидрологической декады. В этот период Национальные комитеты придунайских стран заключили соглашение о совместном выполнении гидрологических мероприятий в водных бассейнах, пересекающих межгосударственные границы, и о решении всех интересующих гидрологических и водохозяйственных проблем. С началом Международной гидрологической Программы (МГП) UNESCO в 1975 г. сотрудничество продолжалось и стало еще более интенсивным.

Региональное сотрудничество привело к следующим ценным результатам: В 1978 г. Международная комиссия по гидрологии Рейнского бассейна, принимая активное участие в МГП, опубликовала монографию о гидрологии Рейнского бассейна. Восемь лет назад восемью придунайскими странами была издана монография о гидрологии Дунайского бассейна на немецком языке. В последствии были опубликованы четыр-хэязычное издание и русский вариант обширной Дунайской монографии.

После издания Монографии прирейнске страны в рамках МГП продолжали сотрудничество в разработке важных гидрологических вопросов, имеющих общие интересы. В последствии вышел в свет ряд дополнительных публикаций.

После завершения Монографии, также придунайские страны приняли решение продолжить сотрудничество в рамках МГП. Представители Национальных комитетов существующих в то время восьми придунайских государств: Германия, Австрия, Чехословакия, Болгария, Югославия, Румыния, Советский Союз и Венгрия, в 1988-ом году заключили соглашение о разработке четырех тем и назначили соответственных руководителей.

1. Режим взвешенных и влекомых наносов реки Дунай и её важнейших притоков
   Венгрия (д-р Ракоци)
2. Термический и ледовый режим Дуная и её важнейших притоков
   Чехословакия (д-р инж. Станчикова)
3. Многолетние колебания атмосферных осадков в бассейне Дуная
   Австрия (д-р Бэр)
4. Совпадение паводков на реке Дунай и ее важнейших притоках
   Югославия (проф. д-р Прохаска)

Координация сотрудничества экспертов придунайских стран с 1987 по 1992 гг. была выполнена Национальным комитетом Германии.

После выпуска Монографии в 1986-ом году издание настоящего дополнительного тома Монографии по теме „Режим взвешенных и влекомых наносов реки Дунай и ее важнейших притоков" представляет первый достигнутый результат сотрудничества придунайских государств.

Работы по данной проекту начались в 1988-ом году. С тех пор новые государства формировались в бассейне Дуная на территории бывшей Югославии, Советского Союза и Чехословакии. Несмотря на это основы выбора пунктов наблюдений и принцип работы остались неизмененными, на основе статуса и государственных границ 1988 года, то есть начала составления материала по данной теме.

Рабочими яыками сотрудничества придунайских стран в рамках Международной Гидрологической Программы являются: немецкий и русский, соотвтственно настоящий допольнительный том 1 был составлен на этих языках с хескоьками допольнениями на английском языке.

Координатор сотрудничества выражает свою благодарность UNESCO за предоставление средств успешного сотрудничества в рамках Международной Гидрологической Программы.

В разработке проекта приняли участие все названные в настощее время существующие придунайские государства и предоставили данные и информацию. Эта работа была завершена Национальным комитетом Венгрии и прежде всего руководителем и автором дополнительного тома, доктором Ракоци. Научно-исследовательский центр водного хозяйства (VITUKI) в Будапеште с поддержкой немецкого Национального комитета по МГП взял на себя обязательство выпустить печатное издание представленного тома. В связи с этим хочу выразить мою благодарность всем тем, кто участвовал в разработке этой темы.

Я уверен в том, что результаты остальных названных тем в последовательном порядке тоже будут опубликованы в ближайшее время.

Г. Кобленц, в январе 1993 года

Профессор Д-р К. Хофуис
Координатор сотрудничества придунайских стран

Foreword

Regional cooperation has ever been one of the focal points of international water-related programmes of UNESCO. Such cooperations have had their roots already in the IHD (International Hydrological Decade, 1965–1974). At that time, neighbouring countries were willing, through their National Committes for IHD, to carry out jointly hydrological projects in international watersheds or to deal with hydrological and water resources problems of common interest. After the launching of the International Hydrological Programme (IHP) of UNESCO in 1975, these cooperations have been continued and partly even intensified.

Regional cooperations resulted in valuable achievements. One of them is the Monograph on the Hydrology of the Rhine Basin, published in 1978 by the International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR), acting also under the auspices of IHP. Eight years later, the German version of the Monograph on the Hydrology of the Danube Basin was published by the eight Danube countries of that time. A quadrilingual abridged version and then the Russian version of the original version of the Danube Monograph followed some times later.

After having published the Rhine Monograph, the countries involved have continued their cooperation in the framework of IHP, by investigating further important hydrological problems of common interest. This cooperation has resulted in a series of follow-up volumes of the Rhine Monograph.

Similarly, the Danube countries also decided, after having issued their Monograph, to continue their cooperation in the framework of IHP. The representives of the eight Danube countries of 1988, Germany, Austria, Czechoslovakia, Hungary, Yugoslavia, Romania, Bulgaria and Soviet Union, decided to start working in the first phase on the following projects, each of them to be co-ordinated by an appointed project leader, named below in paranthesis:

1. Suspensed sediment and bed-load regime of the Danube and its major tributaries (Dr. Rákóczi, Hungary)
2. Temperature and ice regime of the Danube and its major tributaries (Dr. Stančíková, Czechoslovakia)
3. Long-time variations of precipitation in the Danube Basin (Dr. Behr, Austria)
4. Coincidence of floods of the Danube with those of its major tributaries (Professor Dr. Prohaska, Yugoslavia).

The German National Committee for IHP has co-ordinated the cooperation on expert level of the Danube countries from 1987 to 1992.

After the issue of the Danube Monograph in 1986, the present volume entitled „Suspended sediment and bed-load regime of the Danube" is the first result of the continued cooperation of the Danube countries.

Work on this project started in 1988. In the meantime, new states have emerged within the Danube Basin, on the territories of the former Yugoslavia, Soviet Union, and Czechoslovakia. All the same, both the selection of measuring stations and the concept of the whole project based on the status quo and the state boundaries effective in 1988 and the following first years of the compilation of the present project.

The working languages of the cooperation of the Danube countries in the framework of IHP have been German and Russian. Thus the present first follow-up volume of the Danube Monograph is presented as a bilingual version with some completions in English.

It is the privilege of the coordinator to express acknowledgment to UNESCO for having provided, under the umbrella of IHP, the means necessary for a successful cooperation.

All the Danube countries listed have actively participated in the compilation of the project, by providing the necessary data and other information. It was the Hungarian National Committe for IHP and first of all the project leader and author of the present volume, Dr. Rákóczi, who carried out and finalized the work. The Water Resources Research Centre (VITUKI), Budapest, supported by the German National Committe for IHP, took charge of editing and publishing the present volume. Thanks are due to all who are involved.

I trust also the results of the remaining three projects of this series will be published soon.

Koblenz, January 1993

K. Hofius

Professor Dr K. Hofius
Co-ordinator of the hydrological cooperation
of the Danube countries

VERZEICHNIS DER AUTOREN

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Mitwirkende Institutionen

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Kaiserin–Augusta–Anlagen 15–17
Postfach 309, D-5400 Koblenz

Bayerischer Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstr. 67
Postfach 190241
D-8000 München 19

Federführung: IHP/OHP-Arbeitsgruppe „Regionale Zusammenarbeit – Hydrologie der Donau", Obmann: *Professor Dr.-Ing. R. F. Schmidtke*

Leiter der nationalen Mitwirkung

Professor Dr. K. Hofius, IHP/OHP Sekretariat, Bundesanstalt für Gewässerkunde

Sprachliche Bearbeitung
Leitender Baudirektor *M. Tippner,* Bundesanstalt für Gewässerkunde

REPUBLIK ÖSTERREICH

Mitwirkende Institutionen

Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Wien
Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Hydrographisches Zentralbüro
Marxergasse 2, A-1030 Wien

Wasserstraßendirektion
Hetzgasse 2, A-1030 Wien

Leiter der nationalen Mitwirkung

Dipl.-Ing. Dr. techn. O. Behr
Technische Universität Wien

TSCHECHOSLOWAKISCHE SOZIALISTISCHE REPUBLIK

Mitwirkende Institution

Forschungsanstalt für Wasserwirtschaft (VÚVH)
nábr. arm. gen. L. Svobodu 5
CS-81249 Bratislava

Leiterin der nationalen Mitwirkung

Dipl. Ing. A. Stancíková, CSs., VÚVH

СПИСОК АВТОРОВ

ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА ГЕРМАНИЯ

Содействующие институты

Федеральный институт гидрологии
Казерин–Аугуста–Анлаген 15–17
П. Я. 309, Д-5400 Кобленц

Баварское провинциальное бюро водного хозяства
Лазаретт штр . 67
П. Я. 190241, Д-8000 Мюньхен 19

Руководство с составлением материала:
Рабочая группа по МГП/ОГП „Региональное сотрудничество – Гидрология р. Дунай" Руководитель:*Профессор Д-р. Инж. Р. Ф. Шмидтке,* Баварское провинциальное бюро водного хозяйства

Руководитель национального содействия

Профессор Д-р. К. Хофиус, Секретариат по МГП и ОГП, Федеральный институт гидрологии

Редактирование немецкого текста
главный стр. директор *М. Типпнер,* Федеральный институт гидрологии

РЕСПУБЛИКА АВСТРИЯ

Содействующие институты

Институт гидравлики, водного хозяйства и гидрологии Венский Технический Университет
Карлсплац 13, А-1040 Вена

Федеральное министерство сельского и лесного хозяйства Центральное бюро гидрографии
Марксергассе 2, А-1030 Вена

Управление водных путей
Гетцгассе 2, А-1030 Вена

Руководитель национального содействия

Дипл.-инж. д-р. техн. О. Бер
Венский Технический Университет

ЧЕХОСЛОВАЦКАЯ СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Содействующий институт

Научно-исследовательский институт водного хозяйства (VÚVH)
набр. арм. ген. Л. Свободу 5
ЦС-81249 Братислава

Руководитель национального содействия

Дипл. инж. А. Станчикова, к. т. н., (VÚVH)

UNGARISCHE VOLKSREPUBLIK

Internationale Leitung des Projektes „Schwebstoff- und Geschieberegime der Donau"

Dr.-Ing. L. Rákóczi, Csc, VITUKI

Mitwirkende Institution

Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI)
Postfach 27,
H-1453 Budapest

Leiter der nationalen Mitwirkung

Dr.-Ing. Dipl.-Math. M. Domokos, VITUKI

Herausgabe und Drucklegung

Dipl.-Ing. M. Hegedüs, VITUKI

Besondere Verdienste

Dipl.-Ing. A. Tarnóy, Vorsitzender des Ungarischen Nationalkomitees für das IHP

ВЕНГЕРСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА

Международное руководство с проектом „Режим взвешенных и влекомых наносов реки Дунай "

Д-р. инж. Л. Ракоци, к. т. н. VITUKI

Содействующий институт

Научно-исследовательский центр водного хозяйсва (VITUKI)
П. Р. 27, Х-1453 Будапешт

Руководитель национального содействия

Д-р. инж., мат. М. Домокош, VITUKI

Технический редактор

Дипл. инж. М. Хегедюш, VITUKI

Особые заслуги

Дипл. инж. А. Тарнои, председатель Венгерского национального комитета по МГП

SOZIALISTISCHE FÖDERATIVE REPUBLIK JUGOSLAWIEN

Mitwirkende Institutionen

Föderatives Institut für Hydrometeorologie
Birčaninova 6, YU-11000 Belgrad
Professor Dr. S. Prohaska

Institut für Wasserwirtschaft „Jaroslav Černi"
Jaroslava Černija 80,
Beli Potok YU-11223 Belgrad
Dipl.-Ing. S. Varga

Leiter der nationalen Mitwirkung

Dipl. Ing. T. Petkovic
Föderatives Institut für Hydrometeorologie

Besondere Verdienste

Professor Dr. S. Jovanovic
Dipl.-Ing. V. Miloradov

СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА ЮГОСЛАВИЯ

Содействующие институты

Союзный гидрометеорологический институт
Бирчанинова 6, YU-11000 Белград
Профессор д-р. С. Прохаска

Институт водного хозяйства им. „Ярослава Черния"
Ярослава Черния 80,
Бели Поток YU-11223 Белград
Дипл. инж. С. Варга

Руководитель национального содействия

Дипл. инж. Т. Петкович,
Союзный гидрометеорологический институт

Особые заслуги

Профессор Д-р. С. Йованович
Дипл. инж. В. Милорадов

SOZIALISTISCHE REPUBLIK RUMÄNIEN

Mitwirkende Institution

Institut für Meteorologie und Hydrologie
Şos. Bucureşti-Ploieşti 97
Bukarest I
Dipl.-Ing. I. State
Dipl.-Ing. E. Harabagiu
Dipl.-Ing. C. Buta

Leiter der nationalen Mitwirkung

Dr.-Ing. C. Bondar
Institut für Meteorologie und Hydrologie

СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА РУМЫНИЯ

Содействующий институт

Метеорологический и гидрологический институт
шос. Букарешть–Плоешти 97
Бухарест 1
Дипл. инж. И Стате
Дипл. инж. Э. Харабагиу
Дипл. инж. К. Бута

Руководитель национального содействия

Д-р. инж. К. Бондар
Метеорологический и гидрологический институт

Besondere Verdienste

Professor Dr.-Ing. M. Podani
Vizepräsident des Rumänischen Nationalkomitees für das IHP

Особые заслуги

Профессор д-р. инж. М. Подани,
Зам. председателя Румынского национального комитета по МГП

VOLKSERUBLIK BULGARIEN

Mitwirkende Institution

Institut für Hydrologie und Meteorologie
Bul. Trakija 66, BG-1184 Sofia
Dr.-Ing. Kossev

Leiter der nationalen Mitwirkung

Dr.-Ing. D. Petschinov
Dr.-Ing. G. Gergov
Dr.-Ing. S. Dakova

НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА БОЛГАРИЯ

Содействующий институт

Гидрометеорологический институт
Бул. Тракия 66, BG-1184 София
Д-р. инж. Коссев

Руководитель национального содействия

Д-р. инж. Д. Печинов
Д-р. инж. Г. Гергов
Д-р. инж. С. Дякова

UNION DER SOZIALISTISCHEN SOWJETREPUBLIKEN (UdSSR)

Sprachliche Bearbeitung

Dipl.-Ing. A. W. Schtscherbak, CSc.
Ukrainisches regionales wissenschaftliches Forschungsinstitut des GISKOMGIDROMET der UdSSR
Pr. Nauki, 37
SU-252028 Kiev

СОЮЗ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ СОВЕТСКИХ РЕСПУБЛИК (СССР)

Редактирование русского текста

Дипл. инж. А. В. Щербак, к. г. н. Украинский региональный научно-исследовательский институт Госкомгидромета СССР
Пр. Науки 37
SU-252028 Киев

AUSZUG – РЕЗЮМЕ – ABSTRACT

Auszug

Die vorliegende Publikation ist der Folgeband I des Werkes „Die Donau und ihr Einzugsgebiet – Eine hydrologische Monographie", welches durch die hydrologische Arbeitsgemeinschaft der Donauländer zusammengestellt und 1986 veröffentlich wurde.

Die im vorliegenden Band verarbeiteten Meßdaten der Feststoffführung wurden von den IHP-Nationalkomitees der Donauländer an den Projektleiter geliefert. Die verarbeiteten Daten beziehen sich auf die Periode 1956–1985. In dieser Zeit ist es im Einzugsgebiet der Donau zu weitreichenden menschlichen Eingriffen verschiedenen Charakters gekommen. Der Hauptzweck der vorliegenden Arbeit zielt darauf ab, die anthropogenen Einflüsse hinsichtlich der Veränderungen des Feststoffregimes nachzuweisen.

Kapitel 1 behandelt die Charakteristika des Schwebstoffregimes der Donau, welche an den in Bild 1 angegebenen 20 Stationen festgestellt wurden. Die Bilder 2 bis 8 veranschaulichen die Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der jährlichen Abflußsummen für die verschiedenen Meßstationen. Diese Ganglinien weisen ebenso wie die Bilder 9 bis 11 eindeutig auf die Feststoffrückhaltwirkung der deutschen und österreichischen Staustufen sowie der Stauhaltungen Eisernes Tor I und II hin. Die Bilder 12 bis 15 veranschaulichen die Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten im Längsschnitt des Stromes. Während der 30jährigen Untersuchungsperiode hat sich die Schwebstofführung der Donau nicht nur infolge der anthropogenen Maßnahmen, sondern auch infolge der großräumigen Klimaveränderung vermindert. Der Trend dieser Veränderung wird in Bild 17 am Beispiel der Meßstation Rajka dargestellt. Die Bilder 18 und 19 zeigen, daß die Kanalisierung des Stromes auch zu einer Veränderung der Kornzusammensetzung des geförderten Feststoffes geführt hat. Der Gang des Schwebstoffregimes in der Umgebung der Zubringermündungen wird in den Bildern 21 und 22 gezeigt.

Kapitel 2 behandelt das Geschieberegime. Hierfür standen jedoch weit weniger Meßdaten als über die Schwebstofführung zur Verfügung. So war es nicht möglich, eine Zeitreihe der jährlichen Geschiebefrachten zu erstellen. Auch die längschnittmäßigen Veränderungen und Kornverteilungen des Geschiebes konnten lediglich für die deutsche Donaustrecke in Bild 23 bzw. 24 gezeigt werden. Über die Kornverteilung gibt es außerdem auch rumänische Daten (Bild 25).

Die Veränderungen der Kornzusammensetzung des Flußbettmaterials werden für die Stromstrecke von km 833 bis 2161 in Bild 26 gezeigt, woraus eine deutliche lokale Vergröberung des Flußbettmaterials in den Unterwasserstrecken der jeweiligen Staustufen hervorgeht. Ansonsten kann eine allmähliche Verfeinerung des Flußbettmaterials von der Quelle bis zur Mündung ins Schwarze Meer beobachtet werden.

Die Donau führt dem Schwarzen Meer jährlich eine Schwebstoffmenge von 25 bis 80 Mio Tonnen zu. Der Anteil des Geschiebes liegt auf der deutschen und österreichischen Donaustrecke etwa bei 10%, sonst bleibt er durchweg unter 1% (Bild 27).

Резюме

Данная работа является первым дополнительным томом монографии „Дунай и ее бассейн Гидрологическая Монография", которая была составлена и в последствии издана в 1986-ом году Региональным сотрудничеством придунайских стран. Данные об измерениях наносов были направлены странами участницами руководителю разработки темы. Учитывались данные за период 1956–1985 гг. За данный промежуток времени наблюдались различные широко масштабные антропогенные воздействия на водосбор. Основная задача данной работы выявить антропогенное воздействие на изменение режима стока наносов.

В главе 1 рассматриваются характеристики режима стока взвешенных наносов, полученных по результатам наблюдений 20 станций приведенных на рис. 1. Суммарные годовые объемы стока взвешенных наносов вместе с годовыми объемами стока воды для отдельных станций показаны на рис. 2–8. Данные рисунки совместно иллюстрациями рис. 9–11 наглядно указывают на влияние гидроузлов на немецком и австрийском участках Дуная, а также гидроузлов Железные ворота I и II на задержание наносов. Рисунки 12–15 указывают на изменение годового суммарного стока наносов вдоль реки. За 30 летний период, который взят за основу обработки данных, режим стока наносов потерпел изменения не только из-за антропогенных воздействий но и в связи с крупномасштабными изменениями климата. Примером для тренда изменений служит пост Райка, рис. 18–19 свидетельствуют о том, что канализация реки влияла и на гранулометрический состав наносов. Режимом наносов у устья притоков занимаются рис. 21–22.

Глава 2 рассматривает режим влекомых наносов, но объем имеющихся данных гораздо меньше чем в случае взвешенных наносов. Не удалось составить временный ряд хода годовых сумм влекомых наносов и изменения суммарного стока влекомых наносов приведены лишь на немецкий участок реки, рис. 23. Гранулометрический состав влекомых наносов показан на рис. 24. Также имеются данные о гранулометрическом составе наносов на румынском участке реки (рис. 25).

Изменения гранулометрического состава донного материала даны на рис. 26 для участка от 833 до 2161 км от устья. Наблюдается рост более крупных фракций на участках нижнего бьефа гидроузлов. Общая тенденция изменения гранулометрического состава показывает рост мелких фракций вниз по течению.

Дунай транспортирует от 25 до 80 миллион тонн взвешенных наносов в Черное море. Доля влекомых наносов на немецком и австрийском участках составляет до 10 процентов общего транспорта, но обычно остается ниже 1% (рис. 27).

Abstract

The present publication is the follow-up volume No. 1. of the work „The River Danube and Its Basin – A Hydrological Monograph", compiled within the framework of the hydrological cooperation of the Danube countries and published in 1986.

The measured data of sediment regime, processed for the present volume, were supplied by the National Committees for IHP of the Danube countries to the project leader. The data processed refer to the period 1956–1985. During this time, a great number of far-reaching anthropogeneous measures of various kinds took place in the Danube Basin. The main purpose of the present work has been to demonstrate anthropogeneous impacts in terms of changes in the sediment regime.

Chapter 1 deals with the characteristics of the suspended sediment regime of the Danube observed at the 20 gauge stations shown in Fig. 1. The time series of the annually transported sediment volumes and water volumes are given in Figs. 2–8. The impacts of sediment retention by the German and Austrian river barrages and of the dams Iron Gate I and II are clearly visible in these Figures as well as in Figs. 9–11. The variability of annual suspended sediment volumes along the Danube are shown in Fig. 12–15. During the 30 years long investigation period, the annual volumes of suspended sediment show a decreasing tendency not only due to human interventions but also to large-scale climatic changes. An example for this trend is shown in Fig. 17 for the gauging station Rajka. Figs. 18 and 19 prove that river canalization has influenced also the grain-size composition of the suspended sediment. The changes in sediment regime around the mouths of major tributaries of the Danube are visualized in Figs. 21 and 22.

Chapter 2 deals with the bed-load regime. For this topic, however, a remarkably lower amount of measured data was available than for suspended sediment. Thus no time series of annual bed-load transport volumes could have been drawn. Longitudinal variations and grain-size composition of the bed-load could be plotted only for the German reach of the Danube (Figs. 23 and 24). Information about the grain-size composition is also available for the Romanian Danube reach (Fig. 25).

Changes in the the grain-size distribution of the bed material are shown in Fig. 26 for the river reach between river kilometers 833 and 2161. The coarsening of the bed material downstream of each river barrage is well observable in this figure. Besides, an overall downstream-directed refinement of the bed material along the river can also be seen.

The Danube discharges yearly 25 to 80 million tons of suspended material into the Black Sea. The share of bed-load within the total sediment load is about 10% on the German and Austrian reach, otherwise it is lower than 1% (Fig. 27).

0. ENTSTEHUNGSGESCHICHTE DES VORLIEGENDEN BANDES

Die Arbeitsgruppe für hydrologische Zusammenarbeit der Donaustaaten hat anläßlich ihrer 1987 in Budapest stattgefundenen Sitzung vier Themen als die aktuellsten Gegenstände der ersten vier Folgebände der 1986 fertiggestellten Donaumonographie ausgewählt. Für jedes der vier Projekte wurde je ein Projektleiter bestellt und als Termin der Fertigstellung wurde das Jahr 1992 festgelegt.

Der Leiter des vorliegenden Projektes Nr. 1 hat anläßlich der folgenden, 1988 in Wien abgehaltenen Sitzung der Arbeitsgruppe die Fragebögen vorgelegt, welche für die Sammlung der Schwebstoff- und Geschiebedaten der Donau und ihrer wichtigeren Zubringer entworfen worden waren. Die Fragebögen wurden diskutiert und angenommen. Im gleichen Jahr hat der Projektleiter die Fragebögen mit der zu ihrer Ausfüllung notwendigen Anleitung den IHP-Nationalkomitees der Donaustaaten zugesandt. In den Jahren 1989 und 1990 erhielt er die ausgefüllten Fragebögen zurück und konnte darüber im Rahmen der 1990 in Kiew stattgefundenen Expertensitzung Bericht erstatten. Ein Entwurf des Projektberichtes wurde unter Berücksichtigung der bei dieser Gelegenheit erhaltenen Vorschläge zusammengestellt und 1991 auf der Sitzung in Straubing vorgelegt. Die Teilnehmer haben vom vorläufigen Text des Berichtes je ein Exemplar erhalten, damit sie sich dazu bis zu dem durch die Sitzung angenommenen Termin vom 31. Oktober 1991 äußern bzw. die im Vortrag des Projektbearbeiters aufgeworfenen Fragen beantworten können.

0. ИСТОРИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ДАННОГО ТОМА

Заседанием рабочей группы по гидрологи придунайских стран в Будапеште в 1987-ом году было выбрано 4 темы, разработка которых считалось наиболее актуальной после завершения работ по составлению Моногарфии р. Дунай. Были назначены координаторы, и было решено, что темы будут разрабатываться до 1992 года.

Координатор настоящей темы на последующем заседании рабочей группы, в 1988-ом году в Вене ознакомил всех участвующих с теми анкетами, которые были составлены для сбора данных твердого стока р. Дунай и его притоков. Рабочая группа обсудила и утвердила их. Координатор еще в том же году послал эти анкета вместе с дополняющими объяснительными записками Комиссиям Международной Гидрологической Программы всех заинтересованных стран. Заполненные анкеты были возвращены в 1989–1990 годах, и их содержание было изложено координатором на заседании рабочей группы в Киеве в 1990-ом году. Рукопись сводного материала по данной теме была составлена с учетом предложений, высказанных на данном заседании и она была изложена ответственным координатором на рабочем заседании в Штраубинге в 1991 году. Представители каждой страны-участницы получили по одному экземпляру предварительного отчета, чтобы смогли сделать свои замечания до 31-ого октября 1991 г., и смогли ответить на вопросы координатора, поставленные им при изложении предварительного отчета.

Tabelle 1. Schwebstoff- und Geschiebeangaben aus den einzelnen Donauländern

Таблица 1. Данные по наносам, полученные от придунайских стран

Staat Страна	Zeichen des Fragebogens Символь вопросника						Ergänzung zum 1. Entwurf bis 31. 03. 92 Допольнение к 1-ому варианту до 31-ого марта 1992 г.
	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	
Deutschland Германия	X	X	X	X	X	X	X
Österreich Австрия	X	X	X	X	X	X	X
Tschechoslowakei Чехословакия	–	–	–	–	–	–	X
Ungarn Венгрия	X	–	X	X	X	X	X
Jugoslawien Югославия	X	X	–	X	–	–	X
Rumänien Румыния	X	X	X	X	X	X	X
Bulgarien Болгария	X	X	–	X	X	X	X
UdSSR СССР	–	–	–	–	–	–	–

Tabelle 1 zeigt, wie viele der erhaltenen sechs Fragebögen von den einzelnen Staaten ausgefüllt und dem Projektleiter übergeben wurden. Die Titel der in der Tabelle nur mit ihren laufenden Nummern angegebenen Fragebögen waren die folgenden:

1/1 Messung und Hauptdaten des Schwebstoffes
1/2 Charakteristische Daten des Jahresganges des Schwebstoffregimes
1/3 Messung und Hauptdaten des Geschiebes
1/4 Charakteristische Daten des jährlichen Schwebstoff- und Geschieberegimes
1/5 Probeentnahmen und Hauptdaten des Flußbettmaterials
1/6 Granulometrische Daten des Schwebstoffes und Geschiebes.

Erwartungsgemäß stehen über die Schwebstoffführung wesentlich mehr Daten zur Verfügung, als über die Geschiebeführung und über das Flußbettmaterial. Es geht jedoch aus der Tabelle nicht hervor, daß nicht jede der herangezogenen Meßstationen über eine lückenlose 30jährige Datenreihe für den im vorliegenden Projekt zu behandelnden Zeitraum 1956–1985 verfügt. Trotzdem ermöglichten die mehr oder weniger vollständigen Schwebstoff-Zeitreihen der in Tabelle 2 aufgezählten Meßstationen an der Donau eine Analyse der längsschnittmäßigen bzw. jährlichen Verteilung der Schwebstofführung. Bild 1 zeigt das Einzugsgebiet der Donau mit den wichtigsten Gewässern und den zur vorliegenden Untersuchung herangezogenen Feststoffmeßstationen.

Tabelle 3 zeigt für die Periode von 1956 bis 1985 die an den einzelnen Stationen gemessenen jährlichen

Таблица 1. показывает сколько заполненных анкет из 6-и высланных возвратили отдельные страны. Как это и ожидалось, по взвешенному стоку наносов имелось значительно больше материалов, чем по влекомому стоку и по русловому материалу.

Заглавия анкет – которые в таблице указаны лишь порядковым номером – были следующие:

1/1 Сведения по измерениям взвешенных наносов и основные характеристики взвешенных наносов
1/2 Характерные данные годового хода взвешенных наносов
1/3 Измерение влекомых наносов. Важнейшие данные
1/4 Характерные данные годового хода стока наносов
1/5 Отборы проб донных отложений. Важнейшие данные.
1/6 Гранулометрические данные взвешенных и влекомых наносов.

Из таблицы не видно, что не все измерительные станции, принятые во внимание при сборе данных, владеют полными 30-ти-летними рядами наблюдений в период 1956–1985 гг., который был выбран за базисный для составления данного отчета. Несмотря на это, более менее полные временные ряды взвешенных наносов дунайских измерительных станций, перечисленных в табл. 2, дали возможность для анализа распределения стока взвешенных наносов по длине реки, а также внутри года. На

Tabelle 2. Herangezogene Meßstationen der Donau zur Untersuchung der Schwebstofffracht und des Geschieberegimes

Таблица 2. Пункты наблюдений, использованные в исследованиях режима твердого стока

Lfd. Nummer / Номер	Name der Station / Названия станций	Entfernung von der Mündung in km / Расстояние от устья, ркм	Staat / Страна
1	Ulm	2586,7	Deutschland
2	Ingolstadt	2458,3	Deutschland
3	Hofkirchen	2256,9	Deutschland
4	Passau	2230,6	Deutschland
5	Linz	2135,1	Österreich
6	Bad Deutsch-Altenburg	1887,1	Österreich
7	Rajka	1848,4	Ungarn
8	Nagymaros	1694,6	Ungarn
9	Mohács	1446,8	Ungarn
10	Bezdan	1425,5	Jugoslawien
11	Bogojevo	1367.4	Jugoslawien
12	Pančevo	1153,3	Jugoslawien
13	Orşova*	955,0	Rumänien
14	Novo Selo	833,6	Bulgarien
15	Lom	743,3	Bulgarien
16	Svistov	554,3	Bulgarien
17	Zimnicea	554,3	Rumänien
18	Silistra	375,5	Bulgarien
19	Vadu Oii	238,0	Rumänien
20	Ceatal Izmail	79,6	Rumänien

* Seit 1971: Dobreta–Turnu Severin, km 937
С 1971 года: Добрета–Турну Северин, км 937

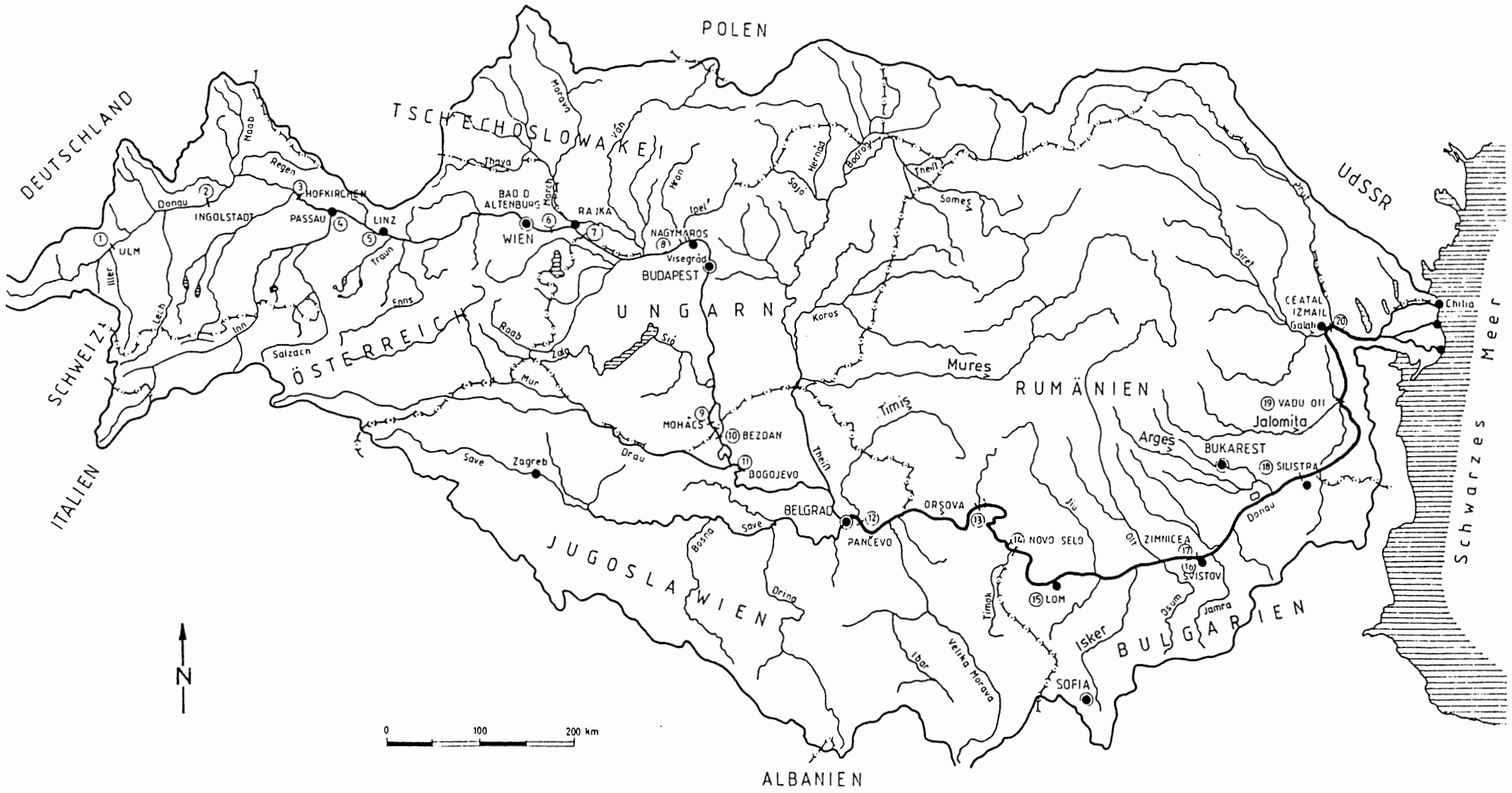


Bild 1. Das Einzugsgebiet der Donau
Рис. 1. План водосбора р. Дунай

Tabelle 3. Jährliche Schwebstofffrachten der einzelnen Stationen von 1956 bis 1985 (10^3 t · a^{-1})

Таблица 3. Годовое количество взвешенных наносов по отдельным пунктам наблюдений в период 1956–1985 гг

Station/ Станция / Jahr/Год	1. Ulm	2. Ingolstadt	3. Hofkirchen	4. Passau	5. Linz	6. Bad D.-Altenburg	7. Rajka	8. Nagymaros	9. Mohács	10. Bezdan
1956	X	743	1096	801	2621	3838	3 848	4274	4 132	8 372
1957	X	522	711	466	3702	4151	2 757	2934	2 878	7 270
1958	X	705	985	651	3304	3977	2 861	3750	3 225	7 934
1959	X	625	1037	237	2513	5492	2 743	3142	2 797	7 071
1960	X	1426	948	331	2258	3146	2 286	2757	2 668	7 581
1961	X	697	1803	365	2814	4189	2 359	2393	2 240	6 913
1962	X	621	1216	415	1616	2856	3 315	3477	3 017	7 378
1963	X	589	830	257	1070	1509	3 318	1981	2 063	6 863
1964	X	454	575	256	934	2039	1 430	1649	1 841	5 495
1965	X	1165	1299	1051	8475	7856	10 326	9045	10 272	10 809
1966	X	895	775	714	4894	5462	7 864	7263	6 022	9 761
1967	X	574	652	427	2631	3022	6 058	5239	4 053	7 650
1968	68	564	608	444	1351	2075	2 454	2169	2 095	6 150
1969	75	466	415	334	631	1024	1 420	1336	1 679	5 690
1970	193	1148	1066	1138	5913	5134	7 241	6329	5 530	10 443
1971	41	383	414	416	515	990	1 034	1111	1 609	1 413
1972	30	228	335	699	654	1363	1 005	1275	1 725	2 091
1973	45	188	359	686	1040	1912	1 625	1563	1 749	1 672
1974	56	221	547	898	2195	3347	3 287	3304	2 852	2 751
1975	49	363	511	600	4849	4529	5 138	4655	4 510	X
1976	54	203	300	381	695	1153	1 393	1447	1 873	X
1977	68	325	573	666	3031	2442	2 630	3624	3 189	X
1978	107	461	600	643	1612	1523	1 536	2242	2 490	X
1979	81	538	825	822	1573	4202	2 621	3576	3 584	X
1980	78	417	546	604	1013	2318	2 809	3926	3 342	X
1981	84	778	819	793	1510	3380	1 993	3569	3 029	X
1982	89	439	679	634	1780	2580	1 998	3320	2 840	X
1983	83	268	569	492	1166	2338	1 264	2536	2 341	X
1984	60	188	479	419	981	1171	931	1704	1 887	X
1985	51	280	479	427	6138	3897	1 727	2597	2 165	X

Schwebstofffrachten. Es ist zu sehen, daß von den 20 Stationen sieben über nur unvollständige Datenreihen verfügen. Dabei beträgt die Datenlücke der Station Nr. 16 (Svistov) 6 Jahre. Die Zeitreihen der Stationen Nr. 10 und 11 (Bezdan und Bogojevo) ergänzen einander, da an der ersteren die Messungen bis einschließlich 1974, an der letzteren aber bereits ab 1974 durchgeführt wurden. Besonders bedauerlich ist die äußerst kurze Datenreihe der Station Nr. 18 (Silistra). Sie wurde deshalb bis zum Jahre 1970 mit einer interpolierten Datenreihe ergänzt, welche auf Grund der mit derselben Methode und demselben Instrument ermittelten Datenreihe der Station Nr. 16 (Svistov) geschätzt wurde.

Die in den mitwirkenden Staaten angewandten Geräte und Methoden zur Schwebstoffmessung weichen voneinander natürlich ab. Deshalb enthielten drei Spalten der Tabelle Nr. 1/1 Fragen über die Häufigkeit und die Geräte der Messungen. Im Kapitel 1. 7 werden die Angaben über die bei der Schwebstoffmessung verwendeten Geräte und Methoden nach den Mitteilungen der mitwirkenden Staaten zusammengefaßt.

Auch wenn man annimmt, daß innerhalb eines jeden Staates die gleichen Geräte und Methoden zur

рис. 1. показана схема водосбора р. Дуная с важнейшими притоками и пунктами измерений стока наносов, которые учитывалось при составлении данного доклада.

В табл. 3 приведены значения объема стока взвешенных наносов по отдельным за 1956–1985 гг. Видно, что 7 станций из 20-и имеют неполный ряд. Для станции N° 16 (Свиштов) отсутствуют данные лишь за 6 лет. Временные ряды по станциям Бездан и Богоево взаимно дополняют друг друга, поскольку на первой из них наблюдения велись до 1974 г., а на второй – наблюдения начались в этом же году. Особенно жаль, что ряд наблюдений по станции N° 18 (Силистра) является весьма коротким. Ряд был продлен до 1970 г. с учетом данных по станции (Свиштов), на которой измерения производились таким прибором и по аналогичному методу измерения.

Приборы и способы измерения наносов, принятые в странах-участницах, являются различными. Поэтому три графы табл. I/I содержали вопросы относительно частоты и прибора измерений. В пункте 1.7 изложена информация о приборах и способах, принятых

Tabelle 3. (Fortsetzung)

Таблица 3. (продолжение)

Station/ Станция / Jahr/Год	11. Bogojevo	12. Pančevo	13. Orşova	14. Novo Selo	15. Lom	16. Svistov	17. Zimnicea	18. Silistra	19. Vadu Oii	20. Ceatal Izmail
1956	X	X	53 934	X	X	40 846	40 846	X	52 048	51 038
1957	X	X	33 574	X	41 853	53 452	53 452	X	66 241	67 583
1958	X	X	40 358	X	41 168	41 416	41 416	X	52 808	51 812
1959	X	X	28 801	X	30 281	33 785	33 785	X	42 605	41 778
1960	X	X	35 845	X	42 122	39 114	39 114	X	39 743	71 119
1961	X	X	20 763	X	28 890	35 221	35 221	X	44 700	33 819
1962	X	X	34 801	X	39 173	32 009	32 009	X	40 249	66 771
1963	X	X	33 710	X	37 314	41 261	41 261	X	52 613	60 963
1964	X	X	30 182	X	39 596	33 773	33 773	X	42 607	29 942
1965	X	X	33 352	X	69 589	42 897	42 897	X	51 380	54 612
1966	X	X	30 840	X	X	44 952	44 952	X	58 303	27 071
1967	X	X	32 184	X	X	39 899	39 899	X	49 950	19 391
1968	X	X	26 132	X	X	32 753	32 753	X	33 138	32 148
1969	X	X	23 939	X	X	50 249	50 249	X	79 016	67 793
1970	X	X	45 182	X	X	39 600	39 600	(54 287)	57 758	49 871
1971	X	X	8 099	X	X	20 922	20 922	(32 278)	33 234	36 431
1972	X	X	5 172	X	X	52 124	52 124	(39 168)	27 259	42 127
1973	X	X	7 431	X	X	37 344	37 344	(42 202)	29 592	36 202
1974	11 307	26 484	16 600	X	X	29 941	29 941	(47 276)	29 582	35 457
1975	9 253	24 321	28 169	20 461	X	32 284	32 284	(47 843)	39 184	47 068
1976	8 832	17 148	19 160	17 573	X	38 778	38 778	(35 840)	21 813	40 623
1977	7 452	15 108	13 292	17 233	X	16 450	16 450	(34 062)	25 352	42 826
1978	5 439	16 904	13 422	15 583	X	22 655	22 655	(32 615)	19 860	39 670
1979	6 463	20 649	12 800	17 708	21 050	24 162	24 162	34 460	26 510	43 371
1980	7 187	21 926	14 252	25 975	26 768	24 551	24 551	41 992	24 490	39 423
1981	7 611	18 315	12 304	22 241	27 512	22 214	22 214	37 212	27 463	39 129
1982	7 126	13 079	11 176	14 213	20 883	15 104	15 104	30 742	21 499	25 449
1983	4 365	6 678	9 767	11 029	13 204	8 215	8 215	24 406	12 321	14 666
1984	3 891	11 057	6 519	13 823	18 760	17 114	17 114	35 063	23 116	52 889
1985	5 006	10 474	6 470	11 352	17 545	16 921	16 921	24 353	20 022	29 873

Schwebstoffmessung verwendet wurden, ist vorauszusehen, daß die Abstimmung von Schwebstoffwerten, die an einander naheliegenden Stationen von Nachbarstaaten ermittelt wurden, unbedingt auf kleinere oder größere Schwierigkeiten stoßen wird. Abweichungen ergeben sich schon aus den methodischen Unterschieden zwischen den Laboranalysen der Wasserproben, doch können um eine Größenordnung gröbere Fehler durch den Ausgleich der i. allg. stark streuenden Schwebstoffmeßdaten bzw. durch die Anwendung sog. „Schwebstofffracht-Kurven" entstehen.

для измерения стока взвешенных наносов, на основании дополнительных сообщений стран-участниц.

1. SCHWEBSTOFFREGIME DER DONAU VON 1956 BIS 1985

1. 1. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffracht der einzelnen Stationen

Die meisten Donaustaaten haben die jährlichen Schwebstofffrachten zusammen mit den mittleren Abflüssen in gesonderten Tabellen mitgeteilt. Wo diese Daten fehlten, wurden die Jahresfrachten aus den monatlichen Frachten ermittelt. Die mittleren Jahresabflüsse sind im Band 2 der Monographie „Die Donau und ihr Einzugsgebiet" bis zum Jahre 1970 erhalten, während die Daten für die Periode 1971–1985 den Jahrbüchern der Internationalen Donaukommission entnommen wurden. Die erhaltenen Werte der jährlichen Schwebstofffrachten wurden im Interesse der Übersichtlichkeit für jede Station graphisch dargestellt. Dabei wurden aus praktischen Gründen – angesichts der flußabwärts rasch zunehmenden Werte – in den einzelnen Bildern jeweils die Zeitreihen von drei benachbarten Stationen zusammengefaßt. So wurden die Daten der in Tabelle 2 aufgezählten Stationen in sieben Bildern dargestellt. Vor einer Analyse dieser Bilder werden jedoch in Tabelle 4 die an den einzelnen Stationen während der 30jährigen Periode beobachteten niedrigsten und höchsten Jahresfrachten zusammen mit den Jahren ihres Vorkommens angegeben.

Es ist aus der Tabelle ersichtlich, daß das Minimum der jährlichen Schwebstofffrachten an 7 Stationen im Jahr 1983 und an 5 Stationen im Jahr 1971 auftrat. Dies ist die größten Anzahl von Stationen, an denen die minimale jährliche Schwebstofffracht in jeweils demselben Jahr zu beobachten war. Als das an Schwebstoff ergiebigste Jahr erwies sich 1965, in welchem an 8 Stationen gleichzeitig das Maximum beobachtet wurde. Die Minimalwerte der jährlichen Schwebstofffracht lagen übrigens im Bereich von 30.000 bis 24.353.000 $t \cdot a^{-1}$, während die Maxima im Bereich von 193.000 bis 79.016.000 $t \cdot a^{-1}$ lagen. Das Verhältnis des oberen zum unteren Grenzwert ist bei den Minima 810 und bei den Maxima 410. Da auch das Verhältnis der zu den Stationen Ceatal Izmail und Ulm gehörigen Einzugsgebietsgrößen in der Nähe von 410 liegt, ergibt sich die Folgerung, daß der Schwebstoffabtrag des Einzugsgebietes nur in den besonders niederschlags- und hochwasserreichen Jahren flächenproportional zur Schwebstofffracht beiträgt. In den trockeneren Jahren fallen die bedeutenden Schwebstofffrachten einiger, jeweils große Teileinzugsgebiete entwässernde Zubringer aus, was eindeutig zur Zunahme der Verhältniszahl zwischen höchster und niedrigster Schwebstofffracht an den einzelnen Stationen führt. Diese Verhältniszahlen wurden in Tabelle 4 ebenfalls angegeben.

Bild 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der jährlichen Schwebstofffrachten für die drei obersten der untersuchten Stationen: Ulm, Ingolstadt und Hofkirchen. Die Zeitreihe von Ulm steht allerdings erst ab 1968 zur Verfügung. Im Bild wurden auch die jährlichen Abflußsummen der Station Hofkirchen dargestellt

1. РЕЖИМ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ Р. ДУНАЙ В ПЕРИОД 1956–1985 ГГ.

1. 1. Измерение годового количества наносов по станциям

Суммарное годовое количество взвешенных наносов вместе с величинами среднегодового расхода воды были представлены большинством стран-участниц в отдельных таблицах. В случае отсутствия этих данных, годовое количество взвешенных наносов было получено суммированием их месячных величин. Среднегодовые расходы воды до 1970 г. преведены во 2-ой главе Монографии „Дунай и его бассейн", а данные за 1971–1985 гг. были получены из Ежегодников Дунайской комиссии. В интересах лучшего обзора полученные данные о годовом количестве наносов были изображены и графически, по станциям. В целях лучшего обзора, а также вследствие быстрого роста количества наносов вниз по реке, было принято решение изображать на одном рисунке временные ряды стока наносов не более трех измерительных станций. Таким образом данные станций, перечисленных в табл. 2, представлены на 7-и рисунках. Прежде чем изложить эти данные, приводятся по станциям сведения о минимальном и максимальном количестве взвешенных наносов за 30 лет в табл. 4.

Из таблицы видно, что даты минимального стока взвешенных наносов в 1983 г. совпали по 7 станциям, в 1971 г. – по 5 станциям. Совпадение периодов минимального стока взвешенных наносов более чем на 7 станциях не наблюдалось. Максимальное количество наносов на 8 станциях наблюдалось в 1965 г. Минимальное количество наносов изменялось в пределах от 30 до 24353 тыс. тонн, максимальное – от 193 до 79016 тыс. тонн. Соотношение предельных величин для минимального количества наносов составляет 810, для максимального – 410. Учитывая, что площадь водосбора у станции Чатал Измаил примерно в 410 раз превышает площадь водосбора у станции Ульма, можно сделать вывод, что увеличение количества взвешенных наносов по длине реки лишь в очень дождливые, многоводные годы является пропорциональным смыву с поверхности водосбора. Поскольку в засушливые годы на притоках отсутствует значительный сток наносов, соотношение максимального и минимального количества наносов увеличивается по сравнению с дождливыми годами. Это также приведено в табл. 4.

Ход изменений во времени стока взвешенных наносов для 3-х верхних станций: Ульм, Ингольштадт и Хофкирхен показан на рис. 2. Временной ряд по станции Ульм имеется только с 1968 г. На рисунке изображен и годовой объем воды у станции Хофкирхен. Масштаб его указан на правой части рисунка. Видно, что сток взвешенных наносов у станции Ульм является значительным по сравнению со стоком наносов по двум

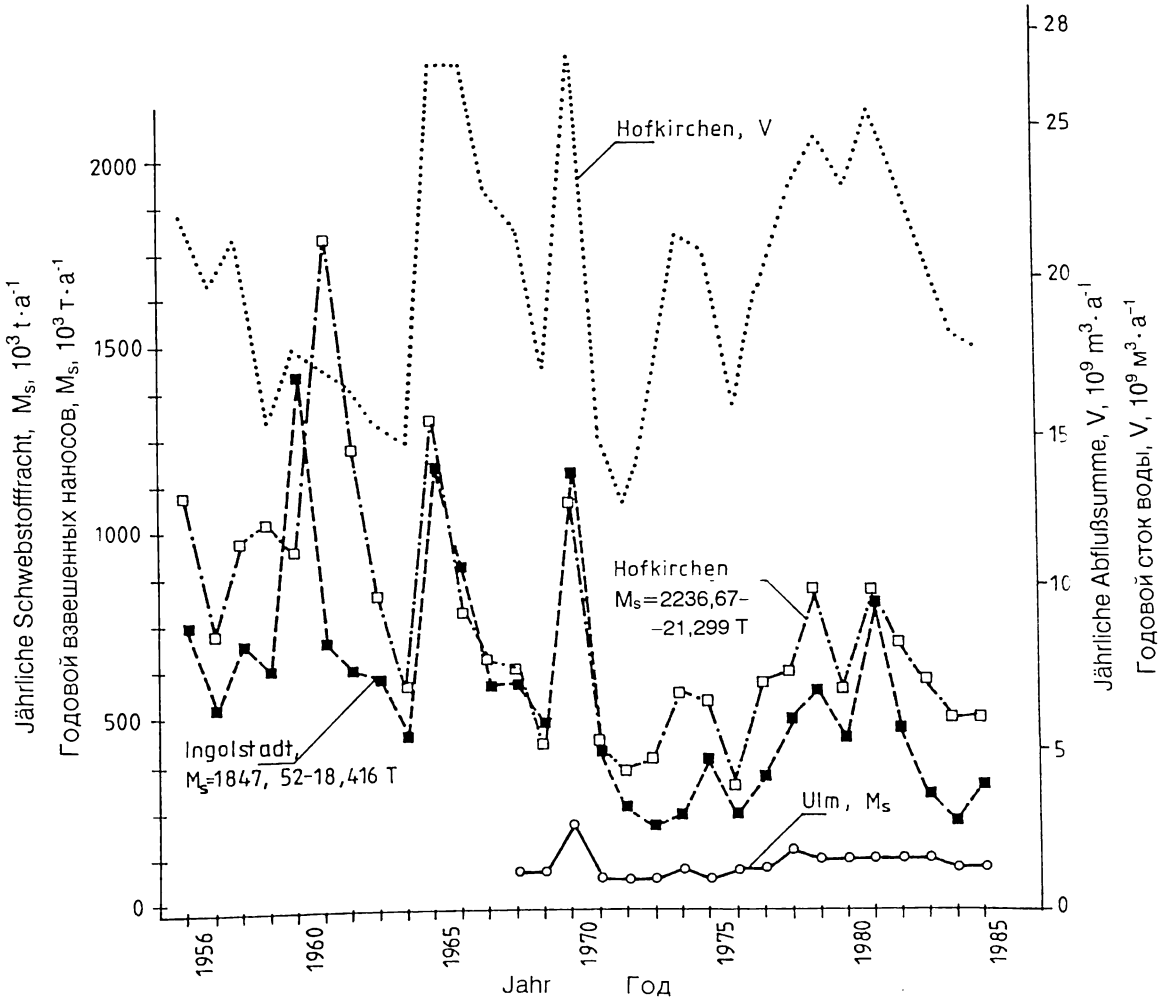


Bild 2. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Ulm, Ingolstadt und Hofkirchen

Рис. 2. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Улм, Инголштадт, Хофкирхэн)

(der Maßstab dazu ist an der rechten Bildseite zu sehen). Das Bild zeigt u. a., daß die Schwebstofführung bei Ulm im Vergleich zu den beiden anderen Stationen unbedeutend ist.

In Bild 3 wurden die Zeitreihen der Schwebstofffrachten für eine deutsche (Passau) und zwei österreichische Stationen (Linz und Bad Deutsch-Altenburg) zusammen mit den bei Linz gemessenen jährlichen Abflußsummen dargestellt. Im Vergleich zu Bild 2 mußten infolge der bedeutenden Zunahme der Frachten beide Maßstäbe geändert werden. Das ist übrigens eine der Ursachen, denen zufolge in jedem der Bilder die Zeitreihen von höchstens drei Stationen dargestellt werden konnten.

Die Station Passau liegt nur 26 km unterhalb Hofkirchen. Sie wird hier dennoch angeführt, um den Einfluß der knapp unterhalb des Pegels Passau erfolgenden Einmündung des Inn auf das Abfluß- und Schwebstoffregime der Donau durch Vergleich mit den Verhältnissen an den nächsten Stationen Linz und Bad Deutsch-Altenburg deutlich zu machen. Der Inn weist die bedeutendste Wasser- und Schwebstoffzufuhr im Gebiet der oberen Donau auf. Unterhalb der Innmündung werden Abfluß- und Schwebstoffre-

другим станциям. Величины стока наносов у станции Хофкирхен в большинстве лет превышает величины, наблюдаемые у станции Ингольштадт, но в по-настоящему дождливые годы (1956, 1970 и 1981) нет значительной разницы в количестве наносов.

На рис. 3 показаны временные ряды годового объема взвешенных наносов по одной немецкой (Пассау) и двум австрийским (Линц и Бад Дайч-Алтенбург) измерительным станциям вместе с годовьм объемом стока у станции Линц. Нужно заметить, что масштаб изображения объемов наносов и жидкого стока изменился по сравнению с рис. 1 из-за их значительного увеличения. Это обстоятельство и объясняет, почему на одном рисунке было изображено не более чем 3 временных ряда стока наносов. Пассау расположен в 26 км ниже Хофкирхена. Несмотря на это, мы используем и его данные, чтобы иметь возможность показать влияние р. Инн, впадающего в Дунай непосредственно ниже станции Пассау, на режим стока и наносов Дуная. Это влияние видно на временных рядах станций Линц и Бад Дайч-Альтенбург. На верхнем участке Дуная р.

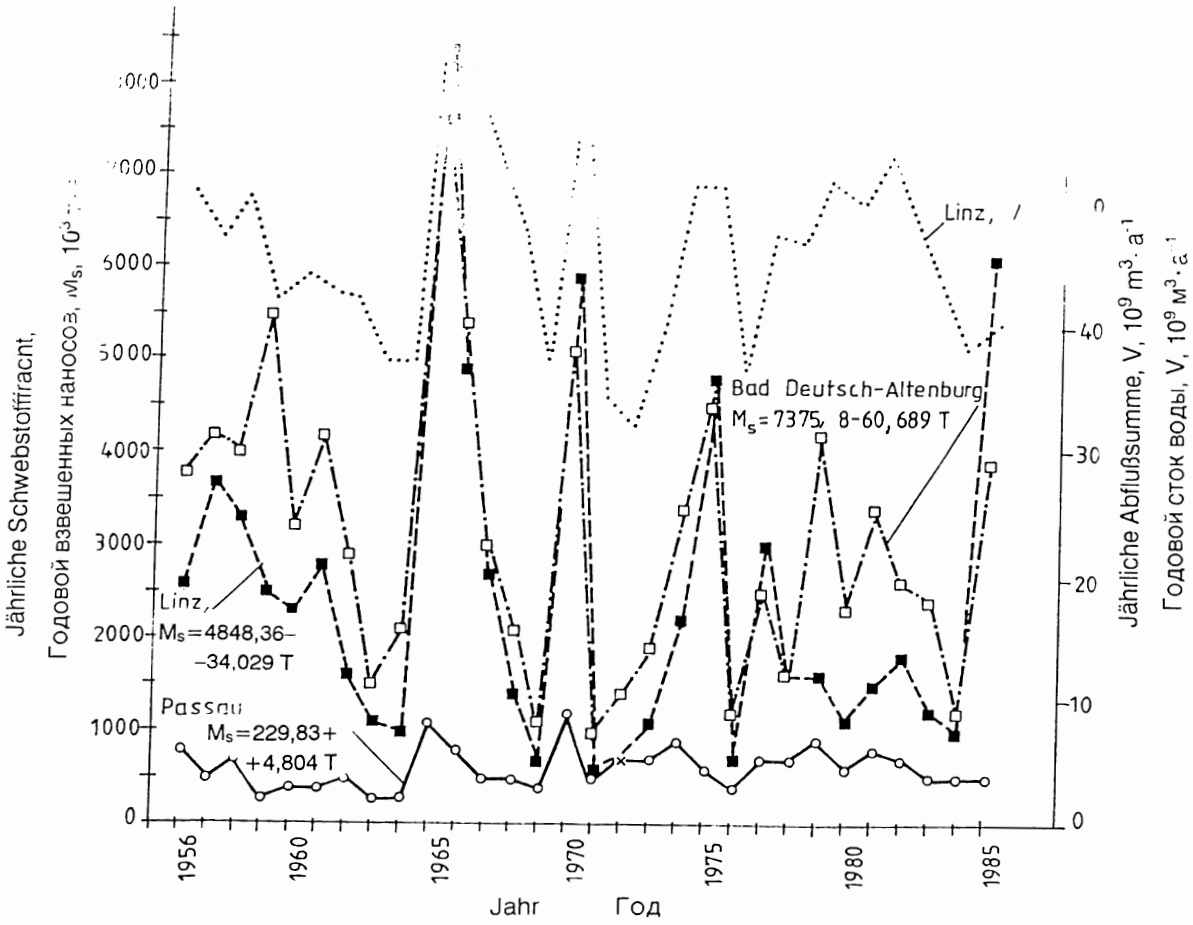


Bild 3. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflu summen bei Passau, Linz und Bad Deutsch-Altenburg

Рис. 3. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Пассау, Линц, Бад Дайч-Алтенбург)

gime der Donau sogar weitgehend vom Inn bestimmt. Deutlich wird dies, wenn man die größtenteils unter einem Grenzwert von 1 Mio $t \cdot a^{-1}$ verlaufende Ganglinie der jährlichen Schwebstofffracht für Passau (oberhalb Innmündung) mit den Zeitreihen der Stationen Linz und Bad Deutsch-Altenburg vergleicht (siehe auch Tabelle 3).

Oberhalb Bratislava mündet der österreichisch-tschechoslowakische Grenzfluß March in die Donau. Über die Schwebstofführung der March stehen nur äußerst spärliche Daten zur Verfügung (s. Kapitel 1. 6). Es kann jedoch festgestellt werden, daß die Wasser- und Feststofführung der Donau durch die March bei weitem nicht in dem Maß erhöht wird, wie durch den Inn.

Leider stehen von der wichtigen hydrometrischen Meßstation Bratislava (Preßburg) keine Schwebstoffdaten zur Verfügung, da hier die Probenahmen schon vor längerer Zeit eingestellt worden sind. So werden in Bild 4 die Zeitreihen der jährlichen Schwebstofffrachten von den drei ungarischen Stationen Rajka, Nagymaros und Mohács zusammen mit den jährlichen Abflußsummen von Nagymaros dargestellt. Der Pegel Rajka befindet sich lediglich 39 km unterhalb der untersten österreichischen Station (Bad Deutsch-Altenburg) und an dieser Strecke mündet ein bedeutender Zubringer, die March, in die Donau. Die ausführlichen Schwebstoffdaten der March, sind nicht bekannt. Die Zeitreihe der Station Rajka ist trotzdem

Инн является самым значительным притоком с точки зрения потока воды и взвешенных наносов. Расход воды и взвешенных наносов р. Дунай ниже впадения р. Инн определяется главным образом рекой Инн. Это становится очевидным, если сопоставим нижнюю часть (ниже предельного значения 1 млн. т/год) кривых временных рядов годовых объемов взвешенных наносов р. Дунай по станции Пассау (выше впадения р. Инн) с временными рядами по станциям Линц и Бад Дайч-Алтенбург (см. также табл. 3). Выше Братиславы в Дунай впадает р. Морава (Марч), которая является пограничной рекой между Австрией и Чехо-Словакией. Для данной реки имеется лишь незначительное количество данных по стоку взвешенных наносов (см. главу I.6), но и так можно сделать вывод, что р. Морава не увеличивает расход воды и наносов Дуная в такой мере, как это делает р. Инн.

К сожалению, по станции Братислава – хотя станция имеет длительный ряд наблюдений – не получены данные, потому что здесь взятие проб уже длительное время отсутствует. Таким образом на рис. 4 приведены три венгерских станций: Райка, Надьмарош и Мохач со своими временными рядами годового твердого стока вместе с годовым стоком воды по станции Надьмарош. Масштаб конечно опять изменился. Райка находится в 39 км ниже последней австрийс-

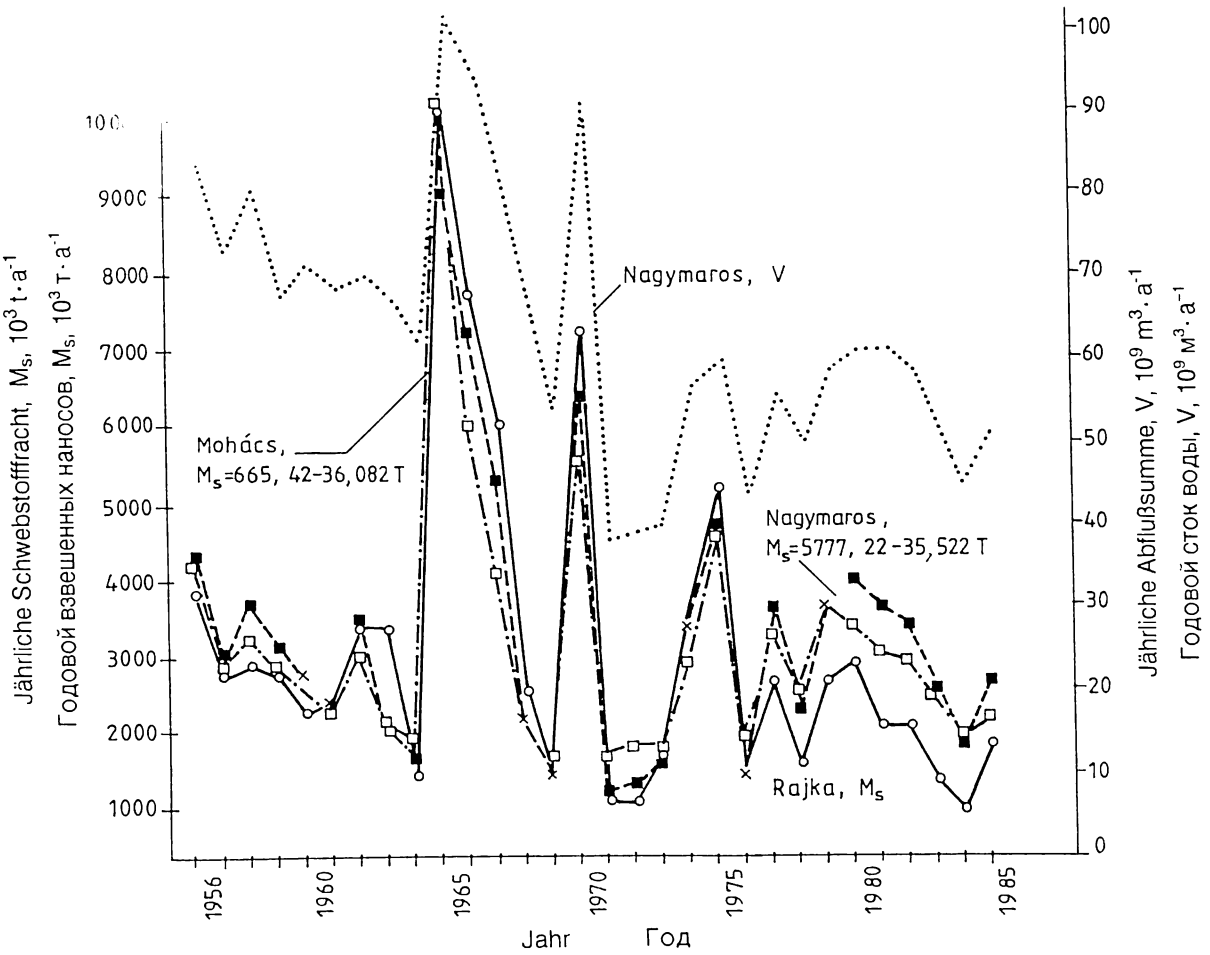


Bild 4. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Rajka, Nagymaros und Mohács

Рис. 4. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Райка, Надьмарош, Мохач)

von großer Bedeutung, da die Station am oberen Ende der durch Nebenarmsysteme durchflossenen beiden riesigen Schuttkegel der Donau, der Großen und Kleinen Schüttinsel (Csallóköz und Szigetköz), liegt. Bei überdurchschnittlichen Wasserständen gelangen hier die ankommenden Durchflüsse allmählich in die Nebenarme, wobei sie das mehrere Kilometer breite Deichvorland überfluten, in dem sich dann ein Teil des Schwebstoffes absetzt. Zwischen den Stationen Rajka und Nagymaros ist der bedeutendste Zubringer die Waag (Váh). Weder die Waag noch die ebenfalls oberhalb Nagymaros einmündenden Zubringer Gran und Eipel sind jedoch imstande, die Schwebstoffführung der Donau merklich zu erhöhen.

Zwischen Nagymaros und Mohács, das knapp oberhalb der ungarisch-jugoslawischen Grenze liegt, gibt es nur noch weniger bedeutende Zubringer, so daß als Hauptcharakteristik der 430 km langen ungarischen Donaustrecke mit ihrem geringen Gefälle festgestellt werden kann, daß hier weder die Wasser- noch die Schwebstofffracht der Donau bedeutend zunimmt.

In Bild 5 sind die Zeitreihen der jährlichen Schwebstofffrachten für die drei jugoslawischen Stationen Bezdan, Bogojevo und Pančevo zusammen mit der Zeitreihe der jährlichen Abflußsummen bei Bogojevo dargestellt. An dieser Strecke gibt es keine Staustufen, doch münden wichtige Nebenflüsse in die Donau. Die an der nur 21 km unterhalb der letzten ungarischen Station (Mohács) liegenden Station Bezdan gemessekой станции и между ними лишь один значительный приток, каким является р. Морва, впадающая в Дунай (данные по твердому стоку этого притока нам неизвестны). Ряд наблюдений по станции Райка весьма важен, поскольку станция расположена в верхней части системы рукавов Чалокоза и Сигеткоза, двух огромных конусов выноса р. Дунай. При уровнях воды выше среднего поток воды направляется в рукава и затопляет поймы шириной в несколько километров. Здесь часть взвешенных наносов оседает. Между станциями Райка и Надьмарош наиболее значительным притоком является р. Ваг, но ни р. Ваг, ни р. Гарам, ни р. Иполь, впадающие в Дунай выше Надьмароша, не увеличивает ощутимо величину расхода воды р. Дунай. Вблизи венгерско-югославской границы даже нет притоков подобного значения. Таким образом, венгерский участок р. Дунай характеризуется главным образом тем, что и расход воды, и расход наносов мало изменяются на протяжении 430 км участка, характеризующегося постоянно уменьшающимся уклоном.

На рис. 5 показаны временные ряды объемов наносов для трех югославских измерительных станций: Бездан, Богоево и Панчево вместе с временным рядом годового объема воды у станции Богоево. И на данном участке нет ГЭС, но имеются значительные притоки р. Дунай. Данные

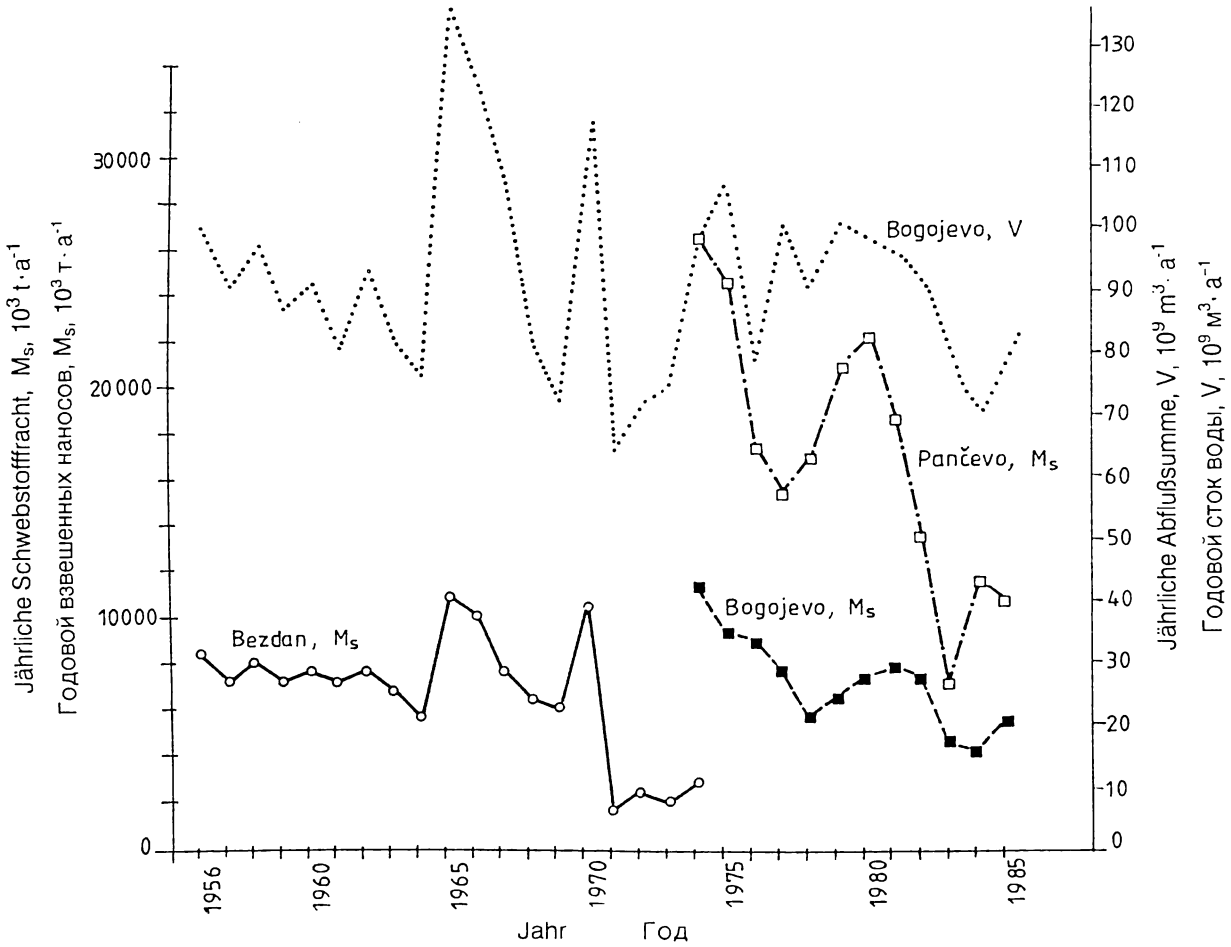


Bild 5. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Bezdan, Bogojevo und Pančevo

Рис 5. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Бездан, Богоево, Панчево)

nen Schwebstofffrachten lagen vor 1965 bei 7–8 Mio t · a^{-1}, übertrafen also wesentlich die bei Mohács gemessenen Werte von 3 bis 4 Mio t a^{-1}. Im äußerst niederschlagsreichen Jahr 1965 war die Übereinstimmung zwischen den beiden Stationen gut, während in den ebenfalls niederschlagsreichen Jahren 1966 und 1970 die Werte von Mohács etwa um 40% unter denjenigen von Bezdan blieben. Zwischen 1971 und 1974 nimmt die bei Bezdan gemessene jährliche Schwebstoffmenge wesentlich ab und stimmt damit ganz gut mit den Werten von Mohács überein. Die Abweichungen zwischen den Daten der beiden Stationen sind höchstwahrscheinlich auf die Unterschiede zwischen den angewandten Geräten und Methoden der Schwebstoffmessung zurückzuführen.

Im Jahr 1974 wurden die Schwebstoffmessungen an der Station Bezdan eingestellt und gleichzeitig an der 48 km flußabwärts liegenden Station Bogojevo begonnen. Zwischen beiden Stationen mündet die Drau mit ihrer durchschnittlichen Schwebstofffracht von 1,5 Mio t · a^{-1} in die Donau. In Anbetracht dessen ist eine sprunghafte Zunahme der jährlichen Schwebstofffrachten zwischen Bezdan und Bogojevo erklärlich, allein die Ursache der Vervielfachung der Werte im Jahre des Stationswechsels kann nicht ergründet werden. Eventuelle Veränderungen von Meß- und/oder Auswertemethoden könnten auch hier eine weitere Erklärung sein. Entlang der 214 km langen Donaustrecke zwischen Bogojevo und Pančevo münden als

измерений у станции Бездан, находящейся ниже Мохача на 21 км, показывают, что количество наносов до 1965 г. колеблются около 7–8 млн. т/год, то есть имеют более значительные величины, чем у станции Мохач, где средняя величина по данным измерений составляет около 3–4 млн.т/год. В весьма дождливом 1965 г. данные по двум станциям хорошо согласуются, а в 1966 и 1970 гг. – когда на Дунае наблюдалась высокая вода – данные у Мохача были почти на 25% ниже, чем у Бездана. В период 1971–1974 гг. годовой объем взвешенных наносов у станции Бездан значительно уменьшился и мало отличался от объема, измеренного у станции Мохач.

В 1974 г. на станции Бездан прекратилось измерение наносов и в том же году начались измерения на станции Богоево, находящейся в 48 км ниже. Между этими двумя станциями в Дунай впадает р. Драва, среднегодовой объем наносов которой равен 1,5 млн.т/год. Учитывая это обстоятельство, станет ясным рост годового объема наносов у Богоево по сравнению с их величиной у станции Бездан; но в то же время не выяснена причина увеличения в 4 раза годового объема наносов у Богоево в год переноса станции. Возможно различия способов измерения и обработки данных и в этом случае могут служить основой дальнейших объяснений. Выше Панчево, находящегося в 214 км от Бороево, в Дунай впа-

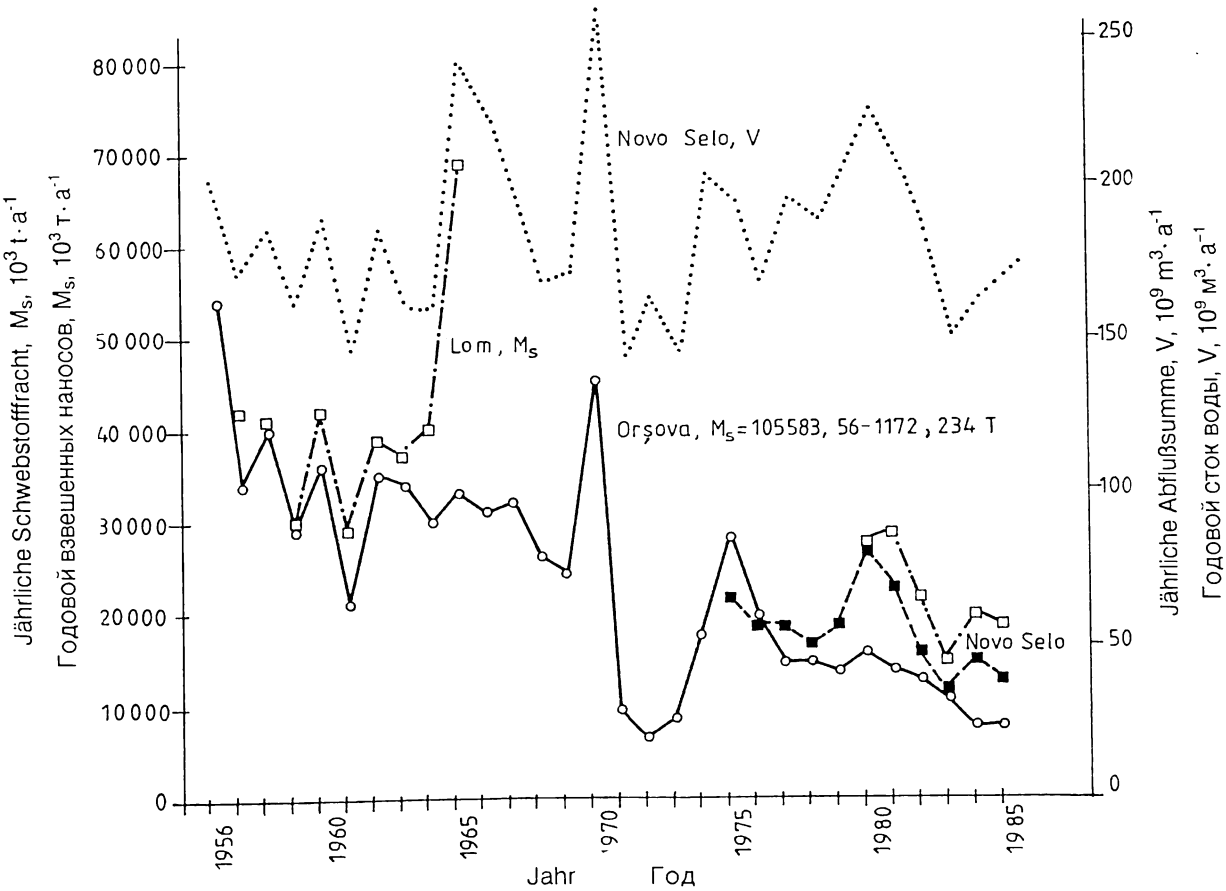


Bild 6. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Orşova (seit 1971: Dobreta–Turnu Severin, 937 km), Novo Selo und Lom

Рис. 6. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока Оршова (с 1971 года: Добрета-Турну Северин, 937 км) Ново-Село, Лом

besonders wichtige Zubringer die Theiß und die Save in die Donau mit durchschnittlichen jährlichen Schwebstofffrachten von 5,0 bzw. 5,5 Mio t · a^{-1}. Dieser Zuwachs ist in der Zeitreihe von Pančevo gut bemerkbar. Auch bei diesen Nebenflüssen kommt es vor, daß ihre extrem niedrigen oder hohen Durchflüsse zeitlich nicht mit den entsprechenden Extremwerten der Donau zusammenfallen. So fällt z. B. der Tiefpunkt der Zeitreihe von Pančevo auf das Jahr 1983, obwohl das trockenste Jahr der Donau während der Untersuchungsperiode 1984 war, weil 1983 sowohl die Theiß als auch die Save besonders wenig Schwebstoff der Donau zuführten.

In Bild 6 sind die Schwebstofffrachtzeitreihen der rumänischen Station Orşova sowie der bulgarischen Stationen Novo Selo und Lom zusammen mit den Abflußsummen von Novo Selo zu sehen. Oberhalb Orşova mündet, noch auf jugoslawischem Gebiet, der äußerst schwebstoffreiche Fluß Morava mit einer durchschnittlichen Jahresfracht von 6,9 Mio t · a^{-1} in die Donau, wodurch die Werte von 30 bis 40 Mio t · a^{-1} der Station Orşova zu erklären sind. Der Höchstwert der 30jährigen Untersuchungsperiode mit fast 54 Mio t · a^{-1} wurde gerade in deren Anfangsjahr 1956 gemessen, doch entstammen davon etwa 17 Mio t · a^{-1} der Morava.

Kaum 12 km unterhalb der Station Orşova wurde 1971 die Staustufe Eisernes Tor (Djerdap) I mit ihrem 2,1 · 10^9 m^3 großen Stauraum in Betrieb genommen.

дают два значительных притока – Тиса и Сава. Среднегодовое количество взвешенных наносов для первой составляет 5.0, для второй – 5.5 млн.т/год. Временной ряд объема наносов у станции Панчево хорошо отражает этот рост. Для этих притоков характерно то, что их крайне низкие или высокие расходы воды не совпадают с подобными величинами расходов воды р. Дунай. Так, например, наиболее низкий расход воды для р. Дунай имел место в 1984 г., тогда как особенно малое количество наносов Тиса и Сава вынесли в Дунай в 1983 г.

На рис. 6 показаны временные ряды по румынской станции Оршова и болгарским станциям Ново-Село и Лом вместе с временным рядом годового объема воды у станции Ново-Село. Выше станции Оршова, еще на югославской территории в Дунай впадает река Морава, несущая весьма значительное количество наносов, среднегодовое количество которых составляет 6.9 млн.т/год. Годовой объем наносов по станции Оршова, равный 30–40 млн.т/год, объясняется поступлением наносов р. Моравы. Максимальный объем стока взвешенных наносов, равный 54 млн.т/год, наблюдался в 1956 г., в первом году 30-тилетнего периода наблюдений; причем, около 17 млн.т/год получено за счет р. Моравы.

Ниже Оршовы на расстоянии около 12 км была построена плотина „Железные Ворота II" с

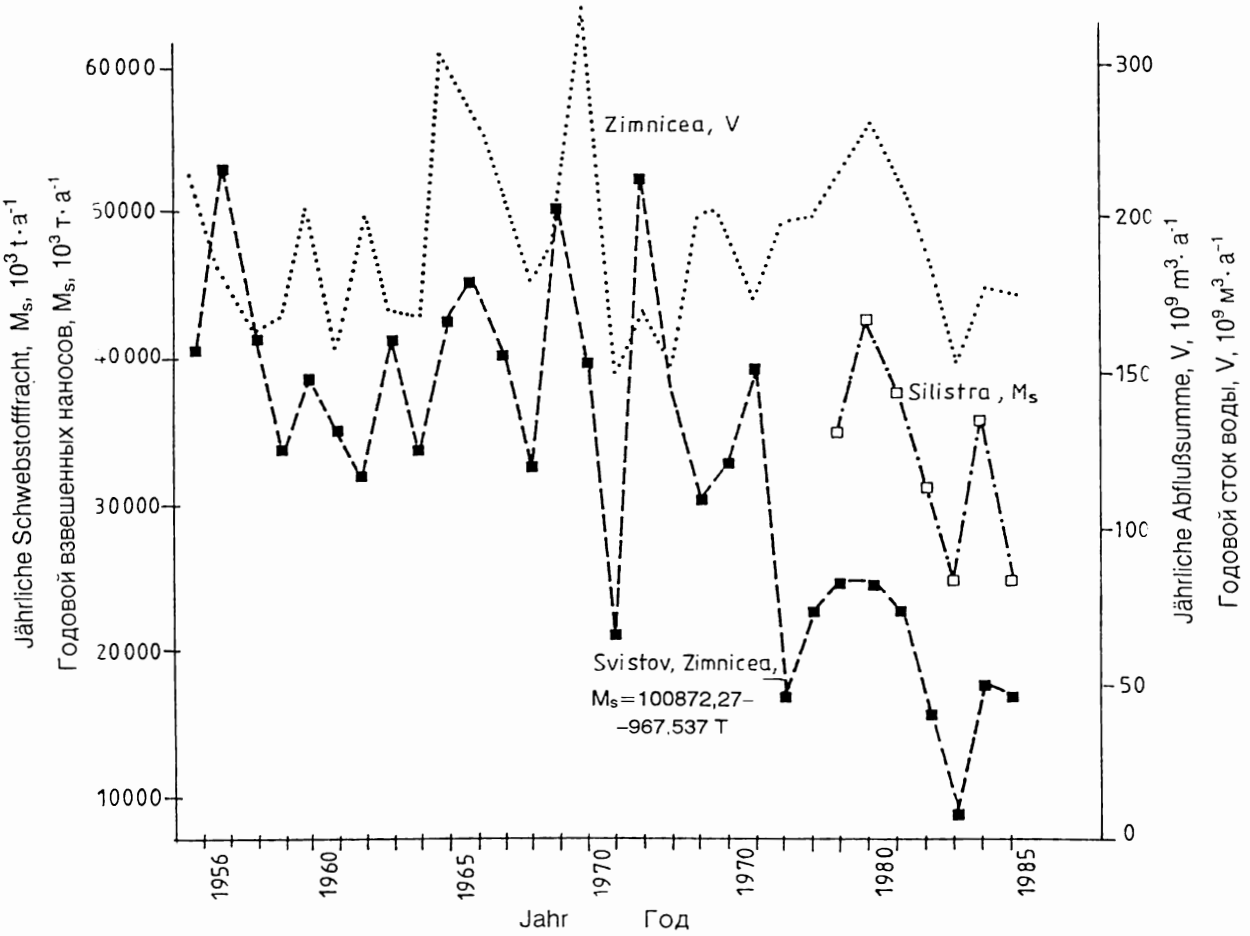


Bild 7. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Svistov, Zimnicea und Silistra

Рис. 7. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Свиштов, Зимнича, Силистра)

Wegen Überflutung des Meßquerschnittes Orşova werden die Beobachtungen und Messungen seit 1971 im Querschnitt Dobreta-Turnu Severin (Strom-km 937) forstgesetzt.

Die Schwebstoffzeitreihen der 110 km unterhalb des Eisernen Tores I befindlichen Station Novo Selo und der 90 km weiter flußabwärts liegenden Station Lom sind leider außerordentlich lückenhaft. Die Zeitreihe von Novo Selo folgt bis 1963 verhältnismäßig gut derjenigen von Orşova, doch übertrifft sie die letztere um 36 Mio t · a^{-1} im außerordentlichen Hochwasserjahr 1965. Zwischen 1975 und 1985 stimmt die Zeitreihe von Lom und zwischen 1980 und 1985 auch diejenige von Novo Selo mit der Ganglinie von Orşova gut überein. Da hier die Schwebstofffrachten wahrscheinlich nicht mehr vom Strauraum Eisernes Tor I beeinflußt werden, folgen hier die Schwebstofffrachten auch in den Hochwasserjahren 1979–1981 besser den Abflüssen als diejenige von Orşova.

Etwa 190 km unterhalb von Lom befinden sich an beiden Donauufern, praktisch einander gegenüber, die bulgarische Station Svistov und die rumänische Station Zimnicea. Beide Staaten führen hier seit langem Schwebstoffmessungen durch, so daß ihre 30 jährigen Datenreihen einen interessanten Vergleich ermöglichen.

In den meisten Jahren liegt die Schwebstoffzeitreihe von Svistov (BG) höher, als diejenige von Zimnicea (RO). Die wahrscheinlichste Ursache dieser

емкостью водохранилища 2100 лмн. куб. м. Плотина вступила в эксплуатацию в 1971 г. Вследствие затопления измерительного створа у Оршовы с 1971 г. измерения выполняются в створе Добрета-Турну-Северин (937 ркм).

Временные ряды наблюдений за стоком наносов по станциям Ново-Село и Лом, расположенным ниже плотины „Железные Ворота I" соответственно на 110 и 220 км, являются весьма неполными. Данные по станции Ново-Село до 1963 г. хорошо согласуются с данными по станции Оршова, но в весьма многоводном 1965 г. годовое количество наносов по станции Ново-Село превышает годовое количество наносов по станции Оршова на 36 млн.т/год. Временные ряды по станции Лом в период 1975–1985 гг. и станции Ново-Село хорошо согласуются с рядом по станции Оршова.

В 190 км ниже станции Лом находится болгарская станция Свиштов и румынская станция Зимничя, практически в одном и том же месте, но на противоположных берегах р. Дунай. На обеих сторонах ведутся наблюдения в течении длительного периода времени, таким образом, их тридцатилетние ряды наблюдений позволяют делать интересные сопоставления.

Поскольку временной ряд наносов у Свиштова проходит выше временного ряда наносов у Зимничя, причина разностей между двумя ряда-

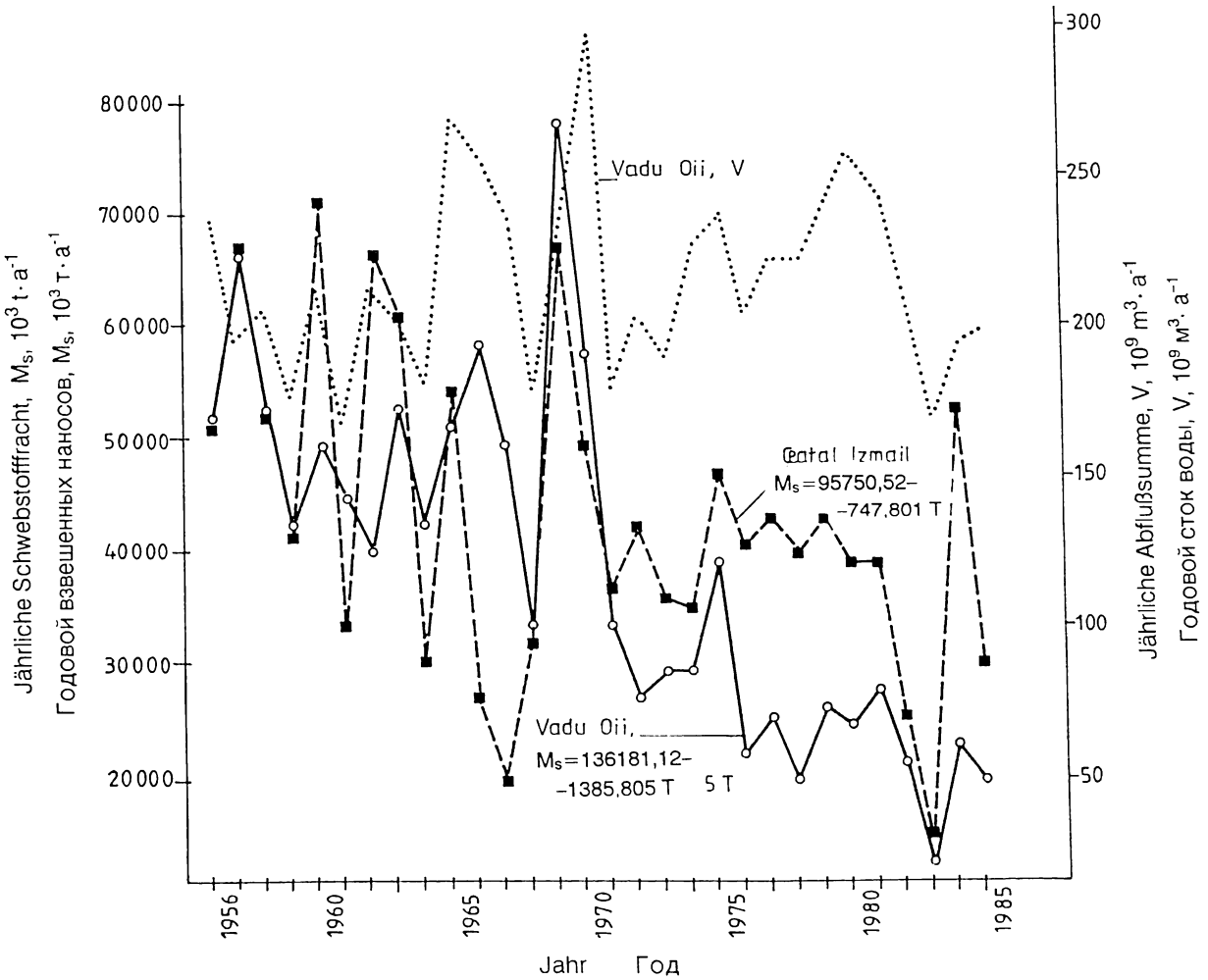


Bild 8. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Vadu Oii und Ceatal Izmail

Рис. 8. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Ваду Оии, Чатал Измаил)

Abweichung ist, daß in den beiden Ländern verschiedene Instrumente und Methoden zur Messung des Schwebstoffes angewandt werden. Die wasserwirtschaftlichen Dienststellen Bulgariens und Rumäniens haben jedoch, sobald sie über diese Unstimmigkeit in Kenntnis gesetzt wurden, ihre Daten in löblicher Weise untereinander abgestimmt und sind einig geworden, auch für die Station Svistov die bei Zimnicea gemessene Schwebstoffzeitreihe als gültig zu betrachten. Demzufolge erscheint in Bild 7 für beide Stationen nur eine Kurve und stehen in Tabelle 4 für beide Stationen dieselben Meßwerte.

Oberhalb des Querschnittes Svistov/Zimnicea mündet links als bedeutender Zubringer die Alt (Oltul) mit einer durchschnittlichen Schwebstofffracht von 6,8 Mio t · a^{-1} in die Donau. Die Donaustrecke zwischen Svistov und Silistra nimmt nur einige weniger bedeutende Zubringer auf. Dadurch erklärt sich, warum die Schwebstofffrachten von Silistra trotz der beträchtlichen Länge der dazwischenliegenden Flußstrecke kaum diejenigen von Svistov übertreffen.

Bild 8 zeigt die Zeitreihe der jährlichen Schwebstofffrachten und Abflußsummen der 127 km unterhalb Silistra liegenden Station Vadu Oii sowie der um weitere 158 km flußabwärts befindlichen Station Ceatal Izmail. Die Schwebstoffzeitreihe der Station Vadu

ми, по всей вероятности, заключается в различии приборов и метода обработки данных, принятого в двух странах. Водохозяйственные организации Болгарии и Румынии сверили эти данные и согласились в том, что для Свиштов принимаются данные по ст. Зимничя. Решение данной проблемы яляется достойным признания. Таким образом на рис. 7. эти две станции имеют один обший временной ряд, а в таблицах 3 и 4 эти две станции имеют одни и те же данные по наносам. Выше створа Свиштов-Зимничя в р. Дунай впадает значительный приток – р. Олт (среднегодовое количество наносов 6.8 млн.т/год).

Временной ряд по станции Силистра, расположенной в 180 км ниже станции Свиштов, является весьма коротким, хотя он хорошо согласуется с временным рядом по станции Свиштов за период 1979–1985 гг. Это понятно, ибо обе станции являются болгарскими и измерения производятся одинаковим способом. На участке реки между Свиштовым и Силистрой р. Дунай принимает лишь несколько незначительных притоков. Этим же объясняется, что вопреки значительной длине данного участка, объем наносов по станции Силистра лишь незначительно превышает объем наносов по станции Свиштов.

Oii folgt während der gesamten Untersuchungsperiode gut der Ganglinie der Donauabflüsse, doch liegen ihre Werte bis 1970 meistens im Bereich von 40 bis 60 Mio t · a^{-1} und ab 1971 nur zwischen 20 und 30 Mio t · a^{-1}. Infolge der Kürze der Zeitreihe von Silistra kann sie erst ab 1980 mit derjenigen von Vadu Oii verglichen werden. Dieser Vergleich zeigt, daß die jährlichen Schwebstofffrachten bei Vadu Oii geringer sind als diejenigen von Silistra. Zwischen den beiden betrachteten Stationen schließt sich kein bedeutender Nebenfluß der Donau an, doch teilt sich der Strom oberhalb Vadu Oii in zwei mächtige Arme, die eine große Insel umfließen. All dies weist darauf hin, daß der Strom an dieser Strecke zur Sedimentation neigt und so die auffallende Abnahme der Schwebstofffrachten zwischen den beiden Stationen allein mit einer bedeutenden Absetzung erklärt werden kann.

Zwischen Vadu Oii und Ceatal Izmail mündet der äußerst schwebstoffreiche Fluß Siret mit einer durchschnittlichen Schwebstofffracht von 11,6 Mio t · a^{-1} in die Donau. Bis 1970 wird die im sich unterhalb Vadu Oii wieder verzweigenden Donaustrombett sowie im Deichvorland erfolgende Schwebstoffablagerung durch den Beitrag der Siret mehr oder weniger ausgeglichen, ab 1971 sind jedoch die Werte von Ceatal Izmail konsequent höher als diejenigen von Silistra. Besonders beachtenswert ist das Jahr 1984, in welchem die Siret der Donau etwa 21,5 Mio t · a^{-1} Schwebstoff zugeführt hat. Deshalb wurde bei Ceatal Izmail mehr als die doppelte Schwebstofffracht von Vadu Oii beobachtet.

1. 2. Anthropogene Beeinflussungen des Schwebstoffregimes

An der Donau und an ihren Zubringern wurden von 1956 bis 1985 zahlreiche Staustufen errichtet. Sie sind durch recht verschiedene Fallhöhen und Stauräume gekennzeichnet und haben das natürliche Abfluß- und Schwebstoffregime mehr oder weniger verändert. Die wichtigsten Einwirkungen auf das Schwebstoffregime der Flüsse im Zusammenhang mit Staustufen sind die infolge einer plötzlichen und bedeutenden Gefälleabnahme entstehende Schwebstoffablagerung sowie die aufgrund der erhöhten Schleppkraft in den Unterwasserstrecken auftretende Sohlenerosion.

Eine anthropogene Auswirkung eher lokalen Charakters, die jedoch den Feststofftransport erheblich beeinflussen kann, ist die Flußbettbaggerung, die sich eventuell auch auf die Nebenarme erstreckt. Eine Charakteristik der als eine Komponente der Flußbettregulierung angewandten, vor allem die Erhaltung der vorgeschriebenen Abmessungen der Fahrrinne bezweckenden Flußbettbaggerungen ist, daß ihr auf eine Zeiteinheit (z. B. Jahr) bezogenes Volumen in der Regel wesentlich geringer ist als die Geschiebefracht der betreffenden Flußstrecke. Somit bleiben diese Baggergruben im allgemeinen jeweils nur für eine relativ kurze Zeit erhalten und sind dann mit abgelagertem Geschiebe wieder aufgefüllt. Eine bedeutende Schwebstoffmenge setzt sich in ihnen dagegen nicht ab.

Im Gegensatz dazu übertrifft das jährliche Volu-

На рис. 8 показаны временные ряды годового объема наносов и расходов воды по станции Вадул-Ой, расположенной в 127 км ниже станции Силистра, и по станции Чятал Измаил, расположенной в 158 км ниже станции Вадул-Ой, у верхней части дельты Дуная. Временной ряд объема наносов по станции Вадул-Ой хорошо отражает изменения водного режима р. Дунай; годовое количество наносов до 1970 г., как правило, составляло 40–60 млн./год, а после 1971г. – 20–30 млн. т/год. Поскольку временной ряд по станции Силистра короткий, то ее данные можно сопоставить с данными измерений на станции Вадул-Ой лишь после 1980 года. Это сопоставление показывает, что годовые объемы взвешенных наносов у станции Вадул-Ой меньше, чем у станции Силистра. Между этими двумя станциями р. Дунай не принимает какого-либо значительного притока, но река выше станции Вадул-Ой разветвляется на два крупных рукава, создавая при этом огромный остров. Все это указывает на склонность реки к осаждению наносов на данном участке, так как только значительным отложением наносов может быть объяснимо весьма заметное уменьшение стока взвешенных наносов между двумя станциями.

Между станциями Вадул-Ой и Чатал Измаил в Дунай впадает река Сирет, которая приносит весьма значительное количество наносов, среднегодовое количество которого равно 11.6 млн.т/год. Вынос наносов рекой Сирет до 1970 г., как правило, компенсирует отложение наносов в поймах и в русле Дуная, разветвляющегося вновь на два рукава ниже станции Вадул-Ой, а после 1971 г., без исключения, превышает величину наносов, измеренных у станции Чатал Измаил по сравнению с данными у станции Силистра. Особенно привлекает внимание 1984 год, когда рекой Сирет принесено около 21.5 млн.т/год, вследствие чего у станции Измаил прошло количество наносов в 2 раза больше, чем у станции Вадул-Ой.

1.2. Антропогенное влияние на режим взвешенных наносов

В 1956–1985 гг. на р. Дунае и его притоках было построено 8 плотин. Хотя их высота и приплотинная емкость весьма различны, они в меньшей или большей степени изменяют естественный режим воды и наносов. К наиболее важным антропогенным воздействиям, изменяющим режим взвешенных наносов, можно причислить осаждение наносов, вызванное внезапным и значительным уменьшением уклона поверхности воды в водохранилищах и увеличение размыва русла вследствие увеличения транспортирующей способности в нижнем бьефе плотины, что является источником наносов. Более локальный характер имеет добыча гравия из русла, что значительно изменяет транспорт и отложение наносов и может распространяться и

men der seit dem II. Weltkrieg (also während unserer Untersuchungsperiode) mit ständig zunehmender Intensität, zwecks Baumaterialgewinnung durchgeführten Baggerungen oft das Mehrfache der Geschiebefracht, so daß ihre andauernd erhalten bleibenden Gruben die Wasser- und Geschiebeströmung in bedeutendem Maße beeinflussen, wobei sie sowohl zu lokalen Auskolkungen als auch Ablagerungen führen können.

Das Abflußregime und somit auch das Schwebstoffregime wird natürlich auch durch die übrigen Maßnahmen der Flußregulierung, z. B. Parallelwerke, Querdeiche, Buhnen sowie im Deichvorland durch Hochwasserschutzdeiche, Veränderungen der Vegetation usw. bis zu einem gewissen Grade beeinflußt. Bei größeren Flüssen führen diese Eingriffe nur dann zu bedeutenden Veränderungen im Schwebstoffregime des ganzen Flusses, wenn sie sich auf längere, zusammenhängende Flußstrecken bzw. auf größere Einzugsgebiete erstrecken.

Von den soeben aufgezählten anthropogenen Einwirkungen wurden von einigen mitwirkenden Staaten Beschreibungen in der Fachliteratur bzw. Daten über die Staustufen und die Baggerungen industriellen Charakters zur Verfügung gestellt. Diese Mitteilungen werden in der nachstehenden Interpretation des längsschnittmäßigen Verlaufes des Schwebstoffregimes verwertet. Dabei werden die Datenreihen der einzelnen Schwebstoffmeßstationen wieder mit Hilfe der Bilder 2 bis 8 behandelt, und es wird versucht, die in Kapitel 1. 1 getroffenen Aussagen anhand anthropogener Einflüsse zu erklären.

Petschinov (1987) hat die Daten der größeren Donaustaustufen zusammengefaßt. Er teilt mit, daß an der Donau zwischen 1950 und 1980 insgesamt 69 Staustufen mit Stauräumen größer als 10^6 m^3 errichtet worden sind. Ihr gesamter Stauraum liegt bei $7{,}3 \cdot 10^9$ m^3. Dieser mächtige Raum hält offensichtlich einen bedeutenden Teil des Schwebstoffes zurück. Bild 9 ist eine skizzenhafte Darstellung des Längsschnittes der Donau mit Angabe der vorhandenen und der geplanten Staustufen sowie ihrer Speicherräume einschließlich der zur Untersuchung heranzogenen 20 Schwebstoffmeßstationen. Die Stauräume Eisernes Tor I und II übertreffen größenordnungsmäßig die an der oberen Donau befindlichen Stauräume.

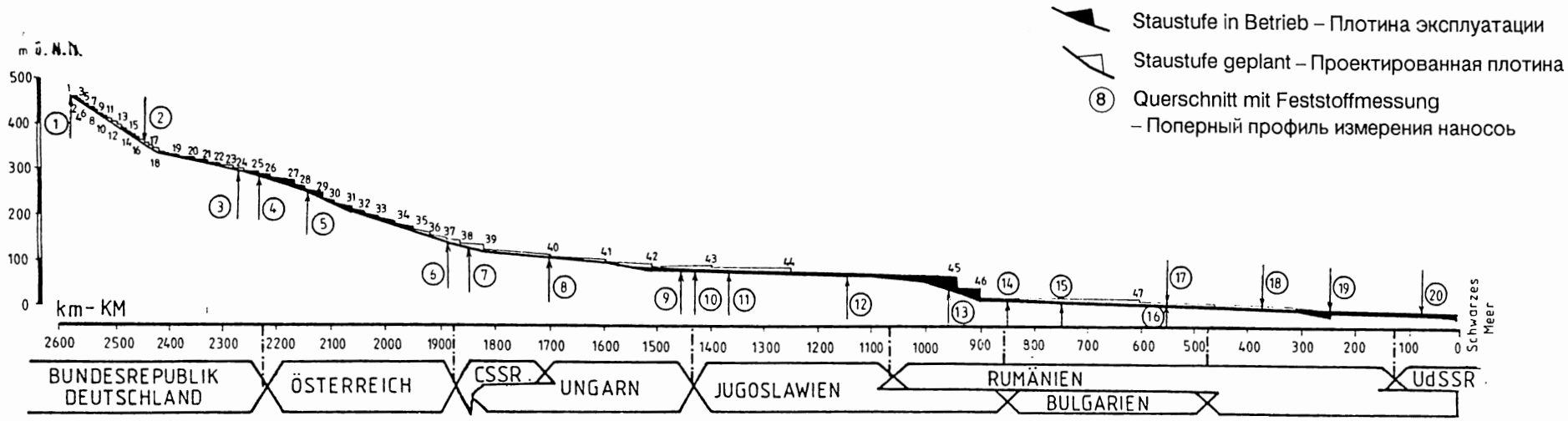
Die Schwebstofffrachten von Hofkirchen übertreffen in den meisten Jahren diejenigen von Ingolstadt. In den niederschlagsreichen Jahren 1965, 1970 und 1981 ist jedoch kein besonderer Unterschied zwischen den Schwebstofffrachten der beiden Stationen zu verzeichnen. Bei Hofkirchen wurde die größte Schwebstofffracht im verhältnismäßig trockenen Jahr 1961 gemessen, was wahrscheinlich auf den Einfluß der Zubringer Lech und Isar zurückzuführen ist. Seitdem wurde jedoch sowohl an der Donau als auch an ihren Zubringern eine Reihe von Staustufen errichtet, die in den Hochwasserperioden verhältnismäßig weniger Schwebstoff zurückhalten als in den trockeneren Jahren. Entlang der 128 km langen Stromstrecke zwischen Ulm und Ingolstadt wurden zwischen 1960 und 1965 sechs, zwischen 1967 und 1971 vier und nach einer zehnjährigen Pause zwischen 1981 und 1984 weitere vier Staustufen erbaut (Bild 9).

на рукава реки. Выемки руслового материала как часть регулирования русел рек, направленного в первую очередь, на обеспечение необходимых размеров судоходного пути, характеризуются тем, что удельный объем выемок за год, как правило, значительно меньше, чем объем естественных влекомых наносов на данном участке реки. Таким образом, эти выемки сохраняются лишь на сравнительно короткое время, поскольку влекомые наносы, поступающие с верховьев, заново заполняют их. При этом значительное количество взвешенных наносов не оседает. Но в отличие от этого, после II мировой войны, то есть в исследуемый нами период, годовой объем всевозможных выемок с целью добычи строительных материалов часто в несколько раз превышал объем влекомых наносов и таким образом долгосохраняющиеся выемки заметно изменяют течение воды, вызывая местные размывы и отложения.

Естественно, что прочие мероприятия по регулированию русла реки, такие как создание струенаправляющих сооружений, поперечных дамб и запруд, противопаводковых защитных дамб на поймах, существенное изменение растительного покрова в определенной степени воздействуют на течение и, следовательно, на режим наносов. На более крупных реках подобные вмешательства вызывают существенные изменения в режиме наносов всей реки только в том случае, если они распространяются на значительный по длине участок реки или на большую часть поймы.

По вопросам антропогенных влияний плотии и промышленной добычи гравия некоторыми странами-участницами была предоставлена спецлитература и прочие данные. Они были использованы при оценке продольного изменения стока взвешенных наносов, как будет показано ниже. При этом, с помощью рис. 2–8 вновь рассматриваются временные ряды изменения наносов по отдельным станциям, чтобы дать интерпретацию выводов, сделанных в главе 1.1., с учетом антропогенных воздействий.

Печинов (1987), собрав данные по крупным дунайским плотинам, пришел к выводу, что в период 1950–1980 гг. на водосборе Дуная было построено 69 таких плотин с общим объемом приплотинных водохранилищ более 1 млн. куб. м по каждой. В этих приплотинных водохранилищах можно задержать 7300 млн. куб. м воды. Общая емкость водохранилищ, построенных на р. Дунай, составляет 3100 млн. куб. м. Очевидно, что данная огромная емкость способна задержать значительную часть стока взвешенных наносов. На рис. 9 показана схема продольного профиля р. Дунай, на которой отмечены места построенных и запроектированных водохранилищ с величиной их емкости, а также местонахождение 20 измерительных станций, данные по которым учтены в данном докладе. Емкости водохранилищ Железные Ворота I и II значительно превышают емкости водохранилищ на верхнем участке р. Дунай.



Staustufen

ГЭС

1. Ulm-Böfingerhalde
2. Oberelchingen
3. Leipheim
4. Günzburg
5. Offingen
6. Gundelfingen
7. Faimingen
8. Dillingen
9. Höhstädt
10. Schwenningen
11. Donauwörth
12. Bertholdsheim
13. Bittenbrunn
14. Bergheim
15. Ingolstadt
16. Vohburg
17. Neustadt
18. Bad Abbach
19. Regensburg
20. Geisling
21. Straubing (in Bau)
22. Deggendorf (in Planung)
23. Aicha
24. Vilshofen
25. Kachlet
26. Jochenstein
27. Aschach
28. Ottensheim-Wilhering
29. Abwinden-Asten
30. Wallsee-Mitterkirchen
31. Ybbs-Persenbeug
32. Melk
33. Rührsdorf
34. Altenwörth
35. Greifenstein
36. Wien
37. Wildungsmauer
38. (Standort noch unbestimmt)
39. Gabčíkovo
40. Nagymaros
41. Adony
42. Fajsz
43. Apatin
44. Novi Sad
45. Das Eisernes Tor I
46. Das Eisernes Tor II
47. Turnu Magurele

Bild 9. Längsschnitt der Donau

Рис. 9. Продольный профиль р. Дунай

Obwohl die Stauhöhe dieser Anlagen jeweils lediglich bei 6–7 m liegt und die Stauräume entsprechend gering sind, setzt sich in ihnen mit Ausnahme der Hochwasserperioden auch Schwebstoff ab. Im Hinblick auf das Geschiebe ist ihre Rückhaltewirkung zweifellos bedeutender (s. Kapitel 2).

An der etwa 200 km langen Donaustrecke zwischen Ingolstadt und Hofkirchen befindet sich bei Vohberg und Straubing je eine Staustufe im Bau, während diejenigen von Bad Abbach, Regensburg und Geisling bereits fertiggestellt wurden und auch die genannten bedeutenderen Zubringer mit Staustufen versehen wurden. Diese Tatsache erklärt, warum seit Anfang der 70er Jahre sowohl bei Ingolstadt als auch bei Hofkirchen auch in den niederschlagsreichen Jahren (1974–75 bzw. 1978–1983) wesentlich geringere Schwebstofffrachten als früher gemessen wurden.

Aus Tabelle 4 ergibt sich, daß auch der Passauer untere und obere Grenzwert der jährlichen Schwebstofffracht hinter dem entsprechenden Grenzwert von Hofkirchen etwas zurückbleibt. Diese Abnahme ist auf die Rückhaltewirkung der oberhalb Passau 1928 in Betrieb genommenen Staustufe Kachlet zurückzuführen.

У станции Хофкирхен максимальное количество взвешенных наносов наблюдалось в довольно маловодном 1961 году, по-видимому за счет влияния притоков Лех и Изар. За прошедшие с тех пор 25 лет и на Дунае, и на его притоках был построен целый ряд плотин, которые при высоких водах задерживают относительно меньшее количество взвешенных наносов, чем в маловодные годы. На 128-километровом участке реки между Ульмом и Ингольштадтом в 1960–1965 гг. было построено шесть, в 1967–1971 гг. – четыре, а после десятелетнего перерыва – еще четыре плотины. Хотя высота подпора не превышает 6–7 м и емкосты приплотинных водохранилищ сравнительно небольшая, за этими плотинами могут осаждаться взвешенные наносы, за исключением паводочных периодов. Несомненно, что более значительной является способность задержания влекомых наносов (см. главу 2).

На 200-километровом участке между Ингольштадтом и Хофкирхеном строятся плотины у Форберга и Штраубинга, у Бад-Аббаха и на всех более значительных вышеупомянутых притоках

Tabelle 4. Höchste, mittlere und niedrigste jährliche Schwebstofffrachten und Kennzahlen ihrer Variabilität an den einzelnen Stationen

Таблица 4. Максимальное, среднее и минимальное годовое количество взвешенных наносов по отдельным пунктам наблюдений

Lfd. Nummer	Name der Station	Anzahl der Meßjahre	Mittelwert 10^3 t · a^{-1}	Neigung der Trendlinie 10^3 t · a^{-1}	Streuung 10^3 t · a^{-1}	Minimum 10^3 t · a^{-1}	Jahr des Vorkommens	Maximum 10^3 t · a^{-1}	Jahr der Vorkommens	Maximum / Minimum
Номер	Названия станции	Продолжительность измерений, годы	Средняя величина, 10^3 т/год	Наклон линии тренда	Среднее квадратичное отклонение, 10^3 т/год	Минимальная величина т/год	Год наблюдения	Максимальная величина 10^3 т/год	Год наблюдения	Отношение максимальной и минимальной величины
1.	Ulm	18	73	– 0,40	35,7	30	1972	193	1970	6,4
2.	Ingolstadt	30	549	– 18,42	304,3	188	1973	1426	1960	7,6
3.	Hofkirchen	30	735	– 21,30	333,6	300	1976	1800	1961	6,0
4.	Passau	30	569	4,80	230,7	237	1959	1138	1970	4,8
5.	Linz	30	2449	– 34,03	1918,0	515	1971	8475	1965	16,5
6.	Bad D.-Altenb.	30	3097	– 60,69	1614,1	990	1971	7856	1965	7,9
7.	Rajka	30	3034	– 75,38	2188,6	931	1984	10 171	1965	11,1
8.	Nagymaros	30	3273	– 35,52	1821,8	1111	1971	9045	1965	8,1
9.	Mohács	30	3122	– 36,08	1732,5	1609	1971	10 221	1965	6,4
10.	Bezdan	19	6490	– 278,33	2781,5	1413	1971	10 809	1965	7,6
11.	Bogojevo	12	6994	– 500,80	2151,5	3891	1984	11 307	1974	2,9
12.	Pančevo	12	16 845	– 1305,63	5923,8	6678	1983	26 484	1974	4,0
13.	Orşova	30	22 941	– 1172,23	12 919,2	5172	1972	53 934	1956	10,4
14.	Novo Selo	11	17 017	– 703,31	4564,0	11 029	1983	25 975	1980	2,3
15.	Lom	15	32 977	– 859,15	13 992,0	13 204	1983	69 589	1965	5,3
16.	Svistov	30	32 667	– 967,54	11 679,0	8215	1983	53 452	1957	6,5
17.	Zimnicea	30	32 667	– 967,54	11 679,0	8215	1983	53 452	1957	6,5
18.	Silistra	7	32 604	– 2035,18	6552,5	24 353	1985	41 992	1980	1,7
19.	Vadu Oii	30	38 482	– 1385,81	15 990,8	12 321	1983	79 016	1969	6,4
20.	Ceatal Izmail	30	43 030	– 747,80	14 379,2	14 666	1983	71 119	1960	4,8

Der Inn bewirkt durch seine hohe Schwebstoffzufuhr eine Zunahme der jährlichen Schwebstofffracht der Donau zwischen den Stationen Passau (oberhalb der Innmündung) und Linz um durchschnittlich über 350%, wenn der gesamte Untersuchungszeitraum (1965–1985) zugrundegelegt wird. Entlang der Donaustrecke zwischen Innmündung und Linz ist seit 1956 bei Jochenstein, seit 1964 bei Aschach und seit 1974 bei Ottensheim-Wilhering je eine Staustufe mit Kraftwerk in Betrieb. Die Rückhaltewirkung dieser Staustufen ist die Ursache dafür, daß sich die Zunahme der jährlichen Schwebstofffracht bei Linz gegenüber den Werten bei Passau seit etwa 1964 etwas verringert hat. Neuere Untersuchungen (z. B. Prazan, 1990) kommen zu dem Ergebnis, daß in den Stauräumen der Kraftwerke Jochenstein und Ottensheim-Wilhering die jeweilige Menge der abgelagerten Schwebstoffe inzwischen keine Zunahme mehr aufweist, sondern – innerhalb einer bestimmten Bandbreite schwankend – in der gleichen Größenordnung bleibt. Diese Stauräume haben also inzwischen einen morphologischen Gleichgewichtszustand erreicht. Von den drei genannten Stauräumen dürfte lediglich in dem des Kraftwerks Aschach die bisher schon abgelagerte Schwebstoffmenge noch zunehmen.

Über eine Analyse der Schwebstoffgehalte der Sommerhochwasserwellen konnte Tippner (1979) nachweisen, welche hervorragende Rolle der Inn bei der Schwebstofffracht der Donaustrecke zwischen Innmündung und Jochenstein (Bild 10) besonders im Vergleich mit der niedrigen Schwebstofffracht der Strecke Bad Abbach-Kachlet spielt.

Für die Auflandung des Stauraumes bei Aschach sind detaillierte Vermessungsdaten aus der Studie von Kobilka und Hauck (1982) bekannt. Es geht daraus hervor, daß sich während der ersten zwei Jahre nach Inbetriebnahme (1965 und 1966) eine Schwebstoffmenge von 5,7 Mio m^3 im Strauraum abgesetzt hat. Rechnet man mit einer Dichte von 1,4 $t \cdot m^{-3}$, so ergeben sich rund 8 Mio t. In der bis 1976 dauernden Beobachtungsperiode hat sich eine Gesamtfeststoffmenge von 14 Mio t abgelagert. Sie wurde praktisch völlig aus Schwebstoff gebildet, da der Stau von Aschach bis zur 1956 in Betrieb gesetzten Staustufe Jochenstein reicht und von dort praktisch kein Geschiebe in den Stauraum Aschach gelangt. Bekanntermaßen ist das Auflandungstempo der Stauräume i. allg. während der ersten Jahre nach der Inbetriebnahme am größten. Doch kann die bei Aschach beobachtete äußerst hohe jährliche Auflandungsrate auch der Tatsache zugeschrieben werden, daß in den Jahren 1965 und 1966 besonders große Hochwasserwellen und Schwebstofffrachten (bei Linz fast 8,5 bzw. 5,0 Mio $t \cdot a^{-1}$) verzeichnet wurden.

Aber auch im Stauraum Aschach verlangsamt sich die bisher relativ rasche Zunahme der abgelagerten Schwebstoffe allmählich (Prazan, 1990). Somit ist damit zu rechnen, daß die Auflandung der drei genannten Stauräume auf längere Sicht gesehen nicht mehr bzw. bei Aschach nicht mehr wesentlich zunehmen wird und daß daher die Rückhaltewirkung dieser Stauräume für die zugeführten Schwebstoffe über einen längeren Zeitraum betrachtet wieder geringer wird.

плотины уже построены. Таким образом, становится понятным, почему начиная с начала 70-ых годов и у Ингольштадта, и у Хофкирхена наблюдалось значительно меньшее количество наносов, даже и в дождливые годы (как в 1974–1975 или 1978–1983 гг.).

Из табл. 4 видно, что и нижняя, и верхняя величины годового количества наносов немного меньше подобных величин, характерных для станции Хофкирхен. Это может быть объяснено влиянием плотины, сданной в эксплуатацию в 1928 году у Кахлета, выше Пассау, которая задерживает часть наносов.

Весьма значительное количество взвешенных наносов реки Инн на участке между Пассау (выше впадения р. Инн) и Линц в среднем более чем на 30% повышает годовое количество взвешенных наносов Дуная, если принять во внимание весь период наблюдений (1956–1985 гг.). Между устьем р. Инн и г. Линц были сданы в эксплуатацию приплотинные ГЭС у Йохенштейна в 1956 г., у Ашаха в 1974 г. и у Оттеншхем-Вилхерунгава в 1974 г. Поскольку в зонах подпора этих плотин часть наносов задерживается, рост объема взвешенных наносов у Линца начиная с 1964 г., снизился по сравнению с величиной у Пассау. Новые исследования (например, Празан 1990) показали, что количество взвешенных наносов, отложенных в зоне подпора плотин у Йохенштейна и у Оттеншхейм-Вилхеринга перестало расти, и даже – с колебанием в некотором интервале – стабилизировалось. Вместе с этим в зоне подпора также установилось морфологическое равновесие. Из трех упомянутых приплотинных емкостей объем отложенных взвешенных наносов увеличился только у Ашаха. Типпнер (1979), анализируя количество взвешенных наносов летних паводков предыдущих лет, доказал значительную роль реки Инн в режиме стока взвешенных наносов на участке р. Дунай между впадением р. Инн и Йохенштейном (рис. 10) по сравнению с поступлением наносов на участке Бад-Аббах-Кахлет.

Из научного доклада Кобилка и Хаук (1982) известны подробные измерения накопления наносов в приплотинном водохранилище у Ашаха. Согласно докладу, в первые два года 1965–1966 после сдачи в эксплуатацию плотины (1965–1966 гг.) осаждалось 5.7 млн. куб. м взвешенных наносов. Это количество соответствует 8 млн. т/год наносов, учитывая, что обемный вес равен 1.4 т/куб. м. За период наблюдений до 1976 г. накопилось всего 14 млн. т наносов (практически полностью взвешенных наносов), поскольку влияние подпора воды плотины Ашах распространяется до плотины Йохенштейн, введенной в эксплуатацию 1965 г. в связи с чем влекомые наносы не поступают в приплотинное водохранилище Ашаха. Общеизвестно, что накопление наносов в водохранилищах происходит наиболее интенсивно в первые годы после сдачи их в эксплуатацию, но ве-

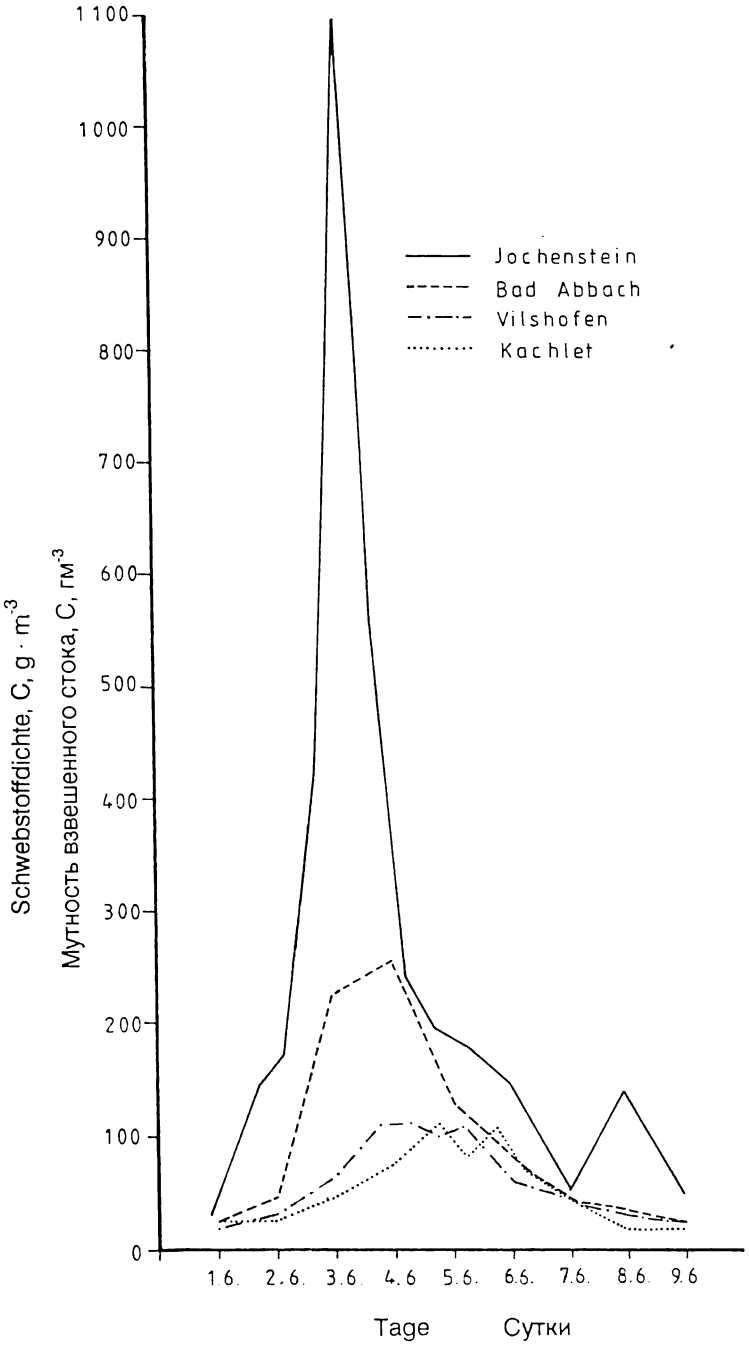


Bild 10. Schwebstoffkonzentration vom 1.6–9. 6.1976 (nach Tippner 1979)

Рис. 10. Изменение мутности взвешенного стока в период 1–9 июня 1976 года. (Типпнер 1979)

Bei dem Vergleich der Zeitreihen von Linz und Bad Deutsch-Altenburg sollte auch die Tatsache berücksichtigt werden, daß zwischen Passau und Linz die oben erwähnten drei Staustufen errichtet wurden, an der 248 km langen Stromstrecke zwischen Linz und Bad Deutsch-Altenburg jedoch von 1959 bis 1985 sechs Staustufen in Betrieb genommen worden sind. Da ihre Stauräume wesentlich größer sind als diejenigen der deutschen Staustufen, sind sie auch imstande, einen beträchtlichen Anteil des ankommenden Schwebstoffes, zumindest während der Stauperioden, zurückzuhalten. Laut Erfahrungen wird nämlich ein Teil des früher abgesetzten Schwebstoffes durch die kleineren Hochwasser eher ausgewaschen und weitergefördert, als

сьма интенсивное накопление наносов у плотины Ашаха может объясняться и тем, что в 1965–66 гг. были весьма большие паводки и, соответственно, большие расходы наносов (так, у Линца они составляли 8.5 и 5.0 млн. т/год).

И в зоне подпора у Ашаха постепенно замедлился ранее относительно быстрый темп роста отложения взвешенных наносов. Таким образом, можно расчитывать на то, что заполнение упомянутых приплотинных емкостей в далекой перспективе будет отсутствовать или будет иметь место в незначительной мере только у Ашаха. Это позволяет сделать вывод, что влияние задержания наносов в этих емкостях в будущем постоянно будет уменьшаться.

daß sie etwas von ihrem mitgebrachten Schwebstoff absetzten.

Nach Schmutterer (1961) hat sich im Stauraum der bei Ybbs-Persenbeug 1958 in Betrieb genommenen Staustufe während der ersten vier Jahre eine Schwebstoffmenge von etwa 4,0 Mio t (davon im ersten Jahr 2,2 Mio t) abgesetzt. Später hat dieses Tempo allmählich abgenommen und die Ablagerung hörte Anfang der 70er Jahre praktisch auf.

Eine Folge der Tatsache, daß oberhalb Linz mehrere und größere Absetzräume zur Verfügung stehen als darunter ist, daß in den besonders niederschlagsreichen Jahren 1965, 1970, 1975 ja sogar im Jahr 1977, die Schwebstofführung bei Linz diejenige von Bad Deutsch-Altenburg übertraf. Das Jahr 1985 verdient besondere Beachtung, da bei mittlerem Abfluß der Donau der Inn ein extremes Sommerhochwasser verzeichnete, wodurch die äußerst hohe – auch den Spitzenwert von 1970 übertreffende – Schwebstofffracht erklärt wird. Zu dieser Zeit waren jedoch bereits sämtliche erwähnte Donaustaustufen tätig, so daß die bei Bad Deutsch-Altenburg gemessene Schwebstofffracht weit mehr hinter derjenigen von Linz zurücksteht, als es 1970 oder 1975 der Fall war. Während solcher Perioden hingegen, in welchen an der Donau Abflußsummen in der Größenordnung von $50 \cdot 10^9\ m^3 \cdot a^{-1}$ (wie z. B. 1975 bei Linz) gemessen werden, der Inn jedoch keine besonders bedeutenden Schwebstofffrachten beiträgt, kehrt sich das Verhältnis um, indem die Schwebstofffracht bei Linz wesentlich unter derjenigen bei Bad Deutsch-Altenburg liegt (1979–1981).

Entlang der Donaustrecke zwischen Rajka und Mohács befinden sich keine Staustufen, doch wurden ab Anfang der 60er Jahre an der tschechoslowakisch-ungarischen Grenzstrecke zwischen Rajka und Szob (Eipelmündung) zur Verbesserung der Schiffbarkeit Flußbettregulierungen im Bereich der niedrigen und mittleren Wasserstände durchgeführt. Diese Arbeiten haben sowohl die Schwebstoff- als auch die Geschiebebewegung beeinflußt, da sie die Überflutung der Vorländer behinderten, wodurch die Auflandungsrate am Deichvorland und auch im Hauptstrombett abnahm. In den 70er Jahren haben beide Anrainerstaaten, teilweise zur Baukiesgewinnung und teilweise im Zusammenhang mit dem Bau des tschechoslowakisch-ungarischen Staustufensystems, großzügige Baggerungen durchgeführt. In manchen Jahren hat die geförderte Kiesmenge sogar 2 Mio m^3 erreicht. Die Baggerungen waren übrigens noch am Ende der Untersuchungsperiode der vorliegenden Arbeit (1985) im Gange. In dieser Zeit wurden auch in der Nähe von Bratislava (Preßburg) bedeutende Baggerungen – zwischen 1976 und 1989 über $4,5 \cdot 10^6\ m^3$ – durchgeführt. Die Baggerungen haben zum Teil das stabilisierte, „selbstgepflasterte" Strombett der Donau aufgelockert und damit zu lokalen Auskolkungen geführt, andererseits aber große Baggergruben erzeugt, in welchen sich ein Teil des ankommenden Schwebstoffes und Geschiebes absetzen kann. Flußbettbaggerungen für industrielle Zwecke wurden auch an der Donaustrecke zwischen Nagymaros und Budapest und ebenso oberhalb Mohács durchgeführt. Die resul-

При сопоставлении временных рядов у Линца и у Бад Дайч-Альтенбурга нужно принимать во внимание, что если между Пассау и Линцом было построено лишь три вышеупомянутых плотины, то ниже Линца на 248-километровом участке реки были сдано в эксплуатацию 6 плотин в период 1959–1985 гг. Емкость их приплотинных водохранилищ более значительная, чем емкость приплотинных водохранилищ на немецком участке р. Дунай, поэтому они могут задерживать значительную часть поступающих взвешенных наносов, хотя и в основном в периоды подпора воды. В период средних вод и небольших наводков скорее происходит, как показывает опыт, размыв и взмучивание ранее отложенных взвешенных наносов, чем отложение наносов, поступающих сверху (Шмуттерер 1961). В первые четыре года после сдачи в эксплуатацию в 1958 году плотины Иббс-Персенбайг в ее приплотинном водохранилище накопилось около 4 млн. тонн взвешенных наносов; в дальнейшем эта интенсивность уменьшилась и к началу 70-ых годов отложение практически прекратилось. В результате того, что выше Линца имеется несколько значительных емкостей для задержания и осаждения наносов, в многоводные годы (1965, 1970, 1975) и даже в 1977 г. количество взвешенных наносов у Линца было больше, чем у станции Бад Дайч-Алтенбург. Особенно выделяется 1985 год, когда при средних величинах расхода воды р. Дунай на реке Инн прошел весьма большой летний паводок. Этим объясняется очень высокая величина объема наносов, которая превысила даже величину за 1970 год. В это время все вышеупомянутые дунайские плотины уже эксплуатировались и, таким образом, количество наносов, измеренное у станции Бад Дайч-Алтенбург, оказалось еще меньше величины наносов у станции Линц в 1970 и 1975 годах. В те периоды, когда на Дунае прибывает большое количество воды, как, например, в 1975 г. – 50 000 млн. куб. м/год, но р. Инн не приносит особенно большое количество наносов, отмечается обратная картина и у Линца наблюдается намного меньше взвешенных наносов, чем у Бад Дайч-Алтенбурга (1978–81).

На участке Райка-Мохач нет плотин, но между Райка и Соб, на венгерско-чехословацком пограничном участке, начиная с первой половины 80-ых годов, были выполнены работы по регулированию русла реки с целью улучшения условий судоходства. Это повлияло на режим и взвешенных, и влекомых наносов: затруднено распространение паводкам, и таким образом уменьшилась интенсивность осаждения взвешенных наносов на поймах и замедлилось наполнение главного русла вследствие приостановления наступления грубых влекомых наносов в виде щебня. В 70-ых годах, во-первых, с целью добычи строительного щебня и во-вторых, в связи с строительством чехословацко-венгерской системы ГЭС, обе прибрежные стороны начали огромные работы по добыче гравия. Объ-

tierenden Auswirkungen all dieser Eingriffe auf das Schwebstoffregime des Stromes sind noch nicht bekannt, doch müssen sie bei der zukünftigen Auswertung der Schwebstoffdaten der ungarischen Stationen unbedingt berücksichtigt werden (Rákóczi, 1990).

Im Gegensatz zu den Bildern 2 und 3 fällt es in Bild 4 auf, daß die drei dargestellten Schwebstoff-Ganglinien näher zueinander liegen und daß sie dem Abflußregime der Donau folgen. In den außerordentlich niederschlagsreichen Jahren 1965, 1970 und 1975 sind die Schwebstofffrachten der Station Rajka am größten, doch hat in den auf 1976 folgenden mäßig niederschlagsreichen Jahren die Station Nagymaros die Führung übernommen. In den beiden verhältnismäßig trockenen Jahren 1978 und 1984 ist die Reihenfolge: Mohács–Nagymaros–Rajka. Diese Reihenfolge weist darauf hin, daß der bei Rajka ankommende Schwebstoff entlang der durch Baggerungen aufgelockerten Flußbettstrecke an Volumen eher zunimmt und nur entlang der langen Stromstrecke oberhalb Mohács einen Teil davon wahrscheinlich infolge Ablagerung verliert. Da die beschriebenen Eingriffe der Flußregulierung und Baggerung noch immer nicht beendet sind, können im Hinblick auf die Schwebstoffführung noch keine ausführlicheren und genaueren Folgerungen gezogen werden.

Infolge der Staustufe Eisernes Tor I ist im Querschnitt Orşova die 1970 gemessene Schwebstofffracht von 45 Mio $t \cdot a^{-1}$ auf den geringen Wert von 5 Mio $t \cdot a^{-1}$ gesunken, der wesentlich niedriger ist, als die vor dem Bau der Staustufe in den Jahren bei ähnlichen Abflußregimes gemessenen Daten um 20 Mio $t \cdot a^{-1}$ es waren (Bild 6). Die Zeitreihen der Schwebstofffrachten von Orşova bzw. Dobreta-Turnu Severin folgen danach noch einige Zeit lang (wenn auch mit verminderten Schwebstofffrachten) dem Abflußregime der Donau (1974 war die Schwebstofffracht noch 28 Mio $t \cdot a^{-1}$), doch folgten sie den Hochwassern von 1979 bis 1981 nicht mehr.

Übrigens hat sich im Stauraum der Staustufe Eisernes Tor I während der ersten zehn Jahre eine Feststoffmenge (vorwiegend Schwebstoff) von 180 bis 200 Mio t abgelagert. Darunter gab es Jahre, in welchen sogar 20 bis 25 Mio t abgesetzt und lediglich 4 bis 5 Mio t durch den Stauraum transportiert wurden (Miloradov, 1988).

Die Schwebstoffzeitreihen der bulgarischen Stationen Novo Selo und Lom wurden durch die oberhalb befindliche Staustufe in wasserarmen Jahren wesentlich beeinflußt, während sie in hochwasserbeeinflußten Perioden nahezu unbehindet erscheinen.

Mit den Auswirkungen der Staustufe Eisernes Tor I auf die Veränderungen der Schwebstofffracht der Donau befassen sich sowohl bulgarische als auch rumänische Untersuchungen ausführlich.

Petschinov (1987) stellt fest, daß die mittlere jährliche Schwebstoffführung während der Periode 1980–85 bei Novo Selo um 53%, bei Lom um 41%, bei Svistov um 40% und bei Silistra um 40% geringer war als vor der Errichtung der beiden Staustufen im Eisernen Tor. Der Verfasser erklärt die bei Novo Selo festgestellte außerordentlich bedeutende Abnahme der Schwebstoffführung mit der hier noch besonders hoem добычи местами достигал 2 млн. куб. м в год. Добыча производилась и в конце периода настоящих исследований. Большой объем работ (в 1976–1989 гг. более 4.5 млн. куб. м) по выемке из русла был выполнен в районе Братиславы, но точных сведений относительно их размеров не имеются. Дночерпательные работы привели, в частности, к рыхлению среднего, устоявшегося русла р. Дунай и к локальным размывам; полученные при этом огромные ямы в местах выемки способствуют осаждению части взвешенных наносов. Для промышленных целей были выполнены выемки руслового материала между Надьмарошом и Будапештом, а также на участке выше Мохача. Суммарное влияние всех этих мероприятий на режим наносов нам неизвестен, но их роль нужно учитывать при оценке данных по наносам на венгерских станциях наблюдений.

В отличие от русунков 2 и 3 на рис. 4 сразу бросается в глаза, что все три временных ряда наносов проходят ближе друг к другу, чем на рус. 2 и 3, к тому же они хорошо повторяют ход стока воды р. Дунай. В трех весьма дождливых годах первое место занимает станция Райка, но с 1975 года, а в умеренно дождливые годы – станция Надьмарош. В двух относительно сухих годах (1978 и 1984) порядок получился следующим: Мохач–Надьмарош–Райка. Это указывает на то, что взвешенные наносы у станции Райка больше увеличиваются за счет участков, разрыхленных выемками, и только на длительном участке до Мохача часть этих наносов, повидимому, осаждается. Поскольку упомянутые работы по регулированию русла и добыче гравия еще не прекращены, сделать более точные выводы по режиму наносов в настоящее время не представляется возможным.

Причину расличий между данными временных рядов у станций Мохач и Бездан, как это видно на рис. 5, нужно искать, по всей вероятности, в различии прибора измерения.

Под влиянием „Железные Ворота I" объем наносов у станции Оршова, равний в 1970 году 45 млн. т/год, значительно уменьшился (до 5 млн. т год). Эта величина намного ниже, чем объем наносов в подобные годы (20 млн. т/год) до строительства плотины (рис. 6). Временной ряд наносов у станций Оршова и Добрета–Турну-Северин еще следует за водным режимом р. Дунай, хотя с уменьшающимся объемом наносов (28 млн. т/год в 1974 г.), но не следует за паводками в период 1979–1981 гг.

В водохранилище плотины „Железные Ворота I" в первые 10 лет ее существования донные отложения составили 180–200 млн. т, в большинстве своем за счет взвешенных наносов. В этот период были годы, когда ежегодно осаждалось 20–25 млн. т наносов и лишь 4–5 млн. т выносилось дальше (Милорадов, 1988).

На временные ряды взвешенных наносов у болгарских станций Ново-Село и Лом расположенная выше плотина повлияла в засушли-

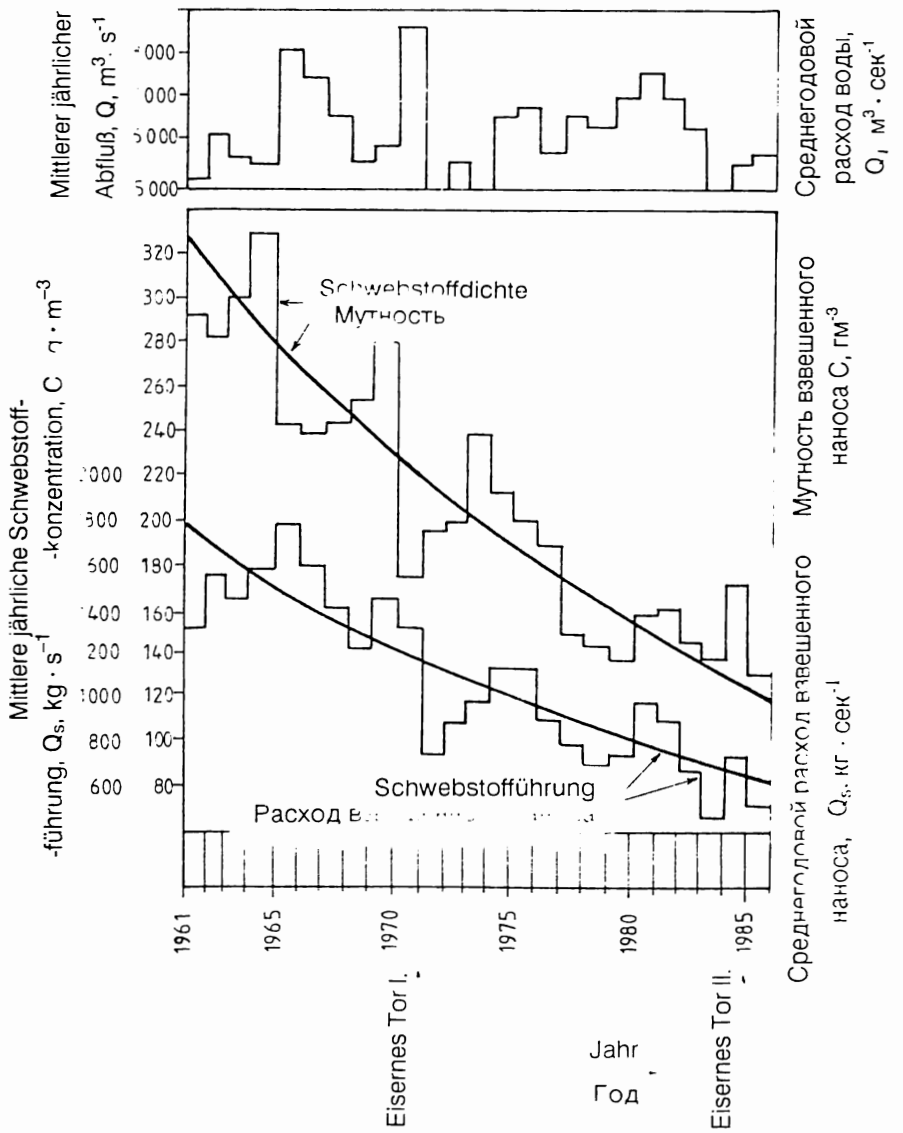


Bild 11. Veränderung der mittleren jährlichen Schwebstoffkonzentration und -führung bei Svistov (km 554) zwischen 1961 und 1985 (nach Petschinov 1987)

Рис. 11. Изменение величин среднегодового расхода воды, взвешенного наноса и мутности у Свиштова (554 ркм) в период 1961–1985 (Печинов 1987)

hen Auskolkungskraft des über die beiden Staustufen fallenden, verhältnismäßig reinen Wassers. In Bild 11 hat Petschinov für den Pegelquerschnitt Svistov die jährlichen Mittelwerte des Abflusses, der Schwebstoffkonzentration und der Schwebstofführung für den Zeitraum 1961 und 1985 dargestellt. Auch die Abflüsse weisen während dieser 25jährigen Periode eine abfallende Tendenz auf, doch ist diese Tendenz bei der Schwebstofführung und Schwebstoffkonzentration wesentlich bedeutender. In den auf die Inbetriebnahme der Staustufe Eisernes Tor I folgenden Jahren nehmen die Konzentrationen infolge der Schwebstoffrückhaltung bedeutend ab, womit sich auch die Schwebstofffrachten vermindert. Erwartungsgemäß wird das Tempo dieser Abnahme mit der Zeit nachlassen, da die Auskolkungskraft des Flusses infolge der Querschnittsvergrößerung und der zunehmenden Rauhigkeit des Flußbettmaterials geringer wird.

вые годы в меньшей степени, а влияние паводков более показательно.

Изменением гранулометрического состава наносов Дуная под влиянием плотины „Железные Ворота I" подробно занимались и болгарские, и румынские исследователи.

Печинов (1987) сделал вывод, что многолетняя среднегодовая величина стока взвешенных наносов (кг/с) в период 1980–1985 гг. уменьшилось в створе Ново-Село на 53%, у Лом на 41%, у Свиштова и у Силистры на 40% по сравнению с величиной до строительства плотин у Железных Ворот. Черезвычайно высокое значение уменьшения наносов в створе Ново-Село автор объясняет большой размывающей способностью сравнительно чистой воды, проходящей через плотины. На рис. 11 автором показаны среднегодовые величины расходов воды, мутности наносов, и расхода взвешенного нано-

Rajnov et al. (1979) haben, aufgrund der Ergebnisse der bei der Station Svistov (386 km unterhalb der Staustufe) serienweise durchgeführten Feststoffbeprobungen nachgewiesen, daß während der auf die Inbetriebnahme folgenden ersten vier Jahre die höchsten monatlichen mittleren Schwebstofffrachten etwa um 46%, die höchsten jährlichen mittleren Schwebstofffrachten aber um 58% – im Vergleich zu den Daten des vorangegangenen Jahrzehntes – abgenommen haben. Die entsprechende Abnahme der Schwebstoffkonzentrationen lag während derselben Zeitspanne bei 40% bzw. 55%.

Im Einklang mit den vorigen Feststellungen steht die Hauptschlußfolgerung einer früheren Studie von Bondar und State (1977), laut welcher die auf die Verringerung der auf die Schwebstofffrachten ausgeübten Auswirkung der großen Staustufen auch in den Meßzeitreihen sowohl der Schwebstofffrachten als auch der Konzentrationen der in Mündungsnähe befindlichen Station Ceatal Izmail nachgewiesen werden kann. Während vor der Errichtung der Staustufe Eisernes Tor I zwischen 1948 und 1970, der jährliche Mittelwert der Schwebstofffracht bei Orşova 1051 $kg \cdot s^{-1}$ und bei Ceatal Izmail 1428 $kg \cdot s^{-1}$ war (wobei die entsprechenden Konzentrationen bei 190 $g \cdot m^{-3}$ bzw. 218 $g \cdot m^{-3}$ lagen), waren die entsprechenden Werte für die Periode ab der Inbetriebsetzung in den Jahren 1971 bis 1975 bei Dobreta–Turnu Severin (Nachfolgerstation von Orşova) 414 $kg \cdot s^{-1}$ und bei Ceatal Izmail 1304 $kg \cdot s^{-1}$ (mit Konzentrationen von 73 $g \cdot m^{-3}$ bzw. 199 $g \cdot m^{-3}$).

1. 3. Jahresgang der Schwebstofffracht

Die mitwirkenden Staaten haben für die in Tabelle 2 aufgezählten Meßstationen der Donau die monatlichen totalen Schwebstofffrachten (t) bzw. die mittleren monatlichen Schwebstoffführungen ($kg \cdot s^{-1}$) mitsamt den mittleren monatlichen Schwebstoffkonzentrationen ($g \cdot m^{-3}$) angegeben. Anhand dieser Daten konnte untersucht werden, in welchen Monaten an den einzelnen Stationen die niedrigste bzw. die höchste Schwebstofffracht am häufigsten beobachtet wurde. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 5 übersichtlich zusammengefaßt. Bei den Stationen, für welche zwei Monate bezeichnet werden, kamen die niedrigsten bzw. höchsten monatlichen Schwebstofffrachten in beiden der genannten Monate mit derselben Häufigkeit vor.

Es ist zu sehen, daß an der oberen Donaustrecke bis Bezdan, mit der Ausnahme der Stationen Ulm und Passau, die Sommermonate am schwebstoffreichsten sind, was auf die „Taufluten" zurückzuführen ist. Im Falle Ulm und Passau nimmt die nachwinterliche Schneeschmelze mehr Schwebstoff aus den Einzugsgebieten des Hochgebirges mit sich als die Tauflut. An der Donaustrecke zwischen Orsova und Vadu Oii sind die Frühlingsmonate die reichsten an Schwebstoff, offensichtlich infolge der mächtige Einzugsgebiete entwässernden Zubringer (Drau, Theiß, Save usw.), welche den meisten Schwebstoff während der Frühlingschmelze der Donau zuführen. Die Tatsache,

са для станции Свиштов в период 1961–1985 гг. Расход воды также имеет убывающую тенденцию в этот период, но уменьшение мутности и расхода наносов произошло более интенсивно. После ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I мутность значительно снизилась вследствие задержания наносов; значительно уменьшилось и значение расхода наносов. Ожидается, что в перспективе темпы уменьшения возрастут, поскольку уменьшается размывающая способность водного потока вследствие увеличения сечения и роста доли грубых фракций в русловом материале.

Райнов и др. (1979) на основании результатов серийных взятий проб, проведенных на 386 км от плотины у станции Свиштов, показали, что в первые 4 года после ввода плотины в эксплуатацию максимальные среднемесячные расходы наносов уменьшились примерно на 46%, а максимальные среднегодовые их значения – на 58% по сравнению с данными за предшествующее десятилетие. Уменьшение мутности воды за этот период составило соответственно 40 и 55%.

С этим мнением вполне согласуются выводы Бондара и Штате (1977) о том, что крупные плотины вызывают снижение мутности и уменьшения расхода взвешенных наносов, что наглядно отражается в их временных рядах у станции Чатал Измаил. До возведения плотины Железные Ворота I, в период 1948–1970 гг. среднегодовая величина расхода взвешенных наносов составила у Оршова 1051 кг/с и у Чатал Измаил 1428 кг/с (при мутности соответственно 190 и 218 г/куб. м), а после ввода плотины в эксплуатацию, в период до 1975 г., среднегодовая величина расхода взвешенных наносов снизилась у станции Турну-Северин (станция у Оршова была перенесена в Турну-Северин) до 414 кг/с, у станции Чатал Измаил 1304 кг/с при величине мутности соответственно 73 и 199 г/куб. м.

1. 3. Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов

Страны-участницы предоставили данные по месячным объемам взвешенных наносов, или по среднемесячным расходам взвешенных наносов вместе со среднемесячной мутности для дунайских станций, перечисленных в табл. 2. Исходя из этих данных, можно было определить по каждой станции, в каких месяцах наблюдаются наиболее часто минимальные или максимальные объемы наносов. Результаты суммированы в табл. 5. В тех случаях, когда отмечается два месяца, частота появления минимальных и максимальных месячных объемов наносов в этих месяцах оказалось одинаковой.

Видно, что за исключением станций Ульм и Пассау вплоть до Бездана, наибольшее количество наносов наблюдается в летние месяцы, то есть во время прохождения летних („зеленых") паводков. В створах Ульм и Пассау паводки за счет

daß im Pegelquerschnitt Ceatal Izmail der Juni der an Schwebstoff reichste Monat ist, kann z. T. mit den an der unteren Donau stattfindenden Absetzprozessen und z. T. mit dem Umstand erklärt werden, daß die Flüsse Olt und Siret im Mai bzw. Juni die größte Schwebstoffmenge der Donau zuführen.

Die geringsten Schwebstofffrachten am oberen Donauabschnitt bis Bezdan werden im Spätherbst und im Winter beobachtet, während unterhalb Bezdan sich die Periode der geringsten Schwebstofffrachten auf Oktober und November beschränkt.

1. 4. Längsschnittmäßige Verteilung der Schwebstofffracht in einigen ausgewählten Jahren

Eine längsschnittmäßige Darstellung der in Tabelle 3 enthaltenen jährlichen Schwebstofffrachten wird durch die Lückenhaftigkeit der zur Verfügung stehenden Datenreihen erschwert. So mußte man sich darauf beschränken, die längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten lediglich für einige ausgewählte, extrem trockene bzw. extrem niederschlagsreiche Jahre darzustellen.

Bild 12 zeigt den Schwebstofffrachtlängsschnitt von drei Trockenjahren. Davon fällt das Jahr 1961 in die

весеннего снеготаяния приносят больше взвешенных наносов, чем летние паводки. На участке от Оршова до Вадул Ой в весенние месяцы наблюдаются максимальные величины объемов наносов, повидимому под влиянием притоков с крупными водосборами, у которых максимальное количество взвешенных наносов наблюдается во время весеннего снеготаяния. В створе Чатал Измаил максимальное количество наносов наблюдается в июне, что объясняется процессами отложения наносов на нижнем участке реки и, в частности, тем, что реки Олт и Сирет несколько позже, в мае и июне, выносят максимальное количество наносов.

Минимальное месячное количество взвешенных наносов наблюдается на участке до Бездана поздней осенью и зимой, ниже Бездана – в октябре и ноябре.

1. 4. Изменение стока взвешенных наносов вдоль реки в нескольких выбранных годах

Изображение продольного профиля изменения годовых объемов взвешенных наносов, приведенных в табл. 3, затрудняется тем, что вре-

Tabelle 5. Jahresgang der Schwebstofffracht der Donau

Таблица 5. Внутридовое распределение стока взвешенных наносов р. Дунай

Lfd. Nummer	Name der Station	Periode der Schwebstoffmessung	Monat des häufigsten Auftretens der niedrigsten monatlichen Schwebstofffracht	Monat des häufigsten Auftretens der höchsten monatlichen Schwebstofffracht
Номер	Названия станции	Период наблюдений за наносам	Месяц в котором наиболее часто наблюдается минимальный месячный сток наносов	Месяц в котором наиболее часто наблюдается максимальный месячный сток наносов
1.	Ulm	1968–85	IX	II
2.	Ingolstadt	1956–85	I	VI
3.	Hofkirchen	1956–85	XI	VI
4.	Passau	1956–85	XI	II
5.	Linz	1956–85	I XI	VI
6.	Bad D.-Altenburg	1956–85	I	VI VII
7.	Rajka	1956–85	XI I	VI
8.	Nagymaros	1956–85	I	VI VII
9.	Mohács	1956–85	XI	VI VII
10.	Bezdan	1956–74	XI I	VIII
13.	Orşova	1956–71	IX	III
	Turnu Severin	1971–85		IV
	Drobeta	1956–65	X	III
15.	Lom	1980–85		
16.	Svistov	1956–85	XI	IV
17.	Zimnicea	1956–85	X XI	IV V
19.	Vadu Oii	1956–85	XI	IV VI
20.	Ceatal Izmail	1956–85	X	VI

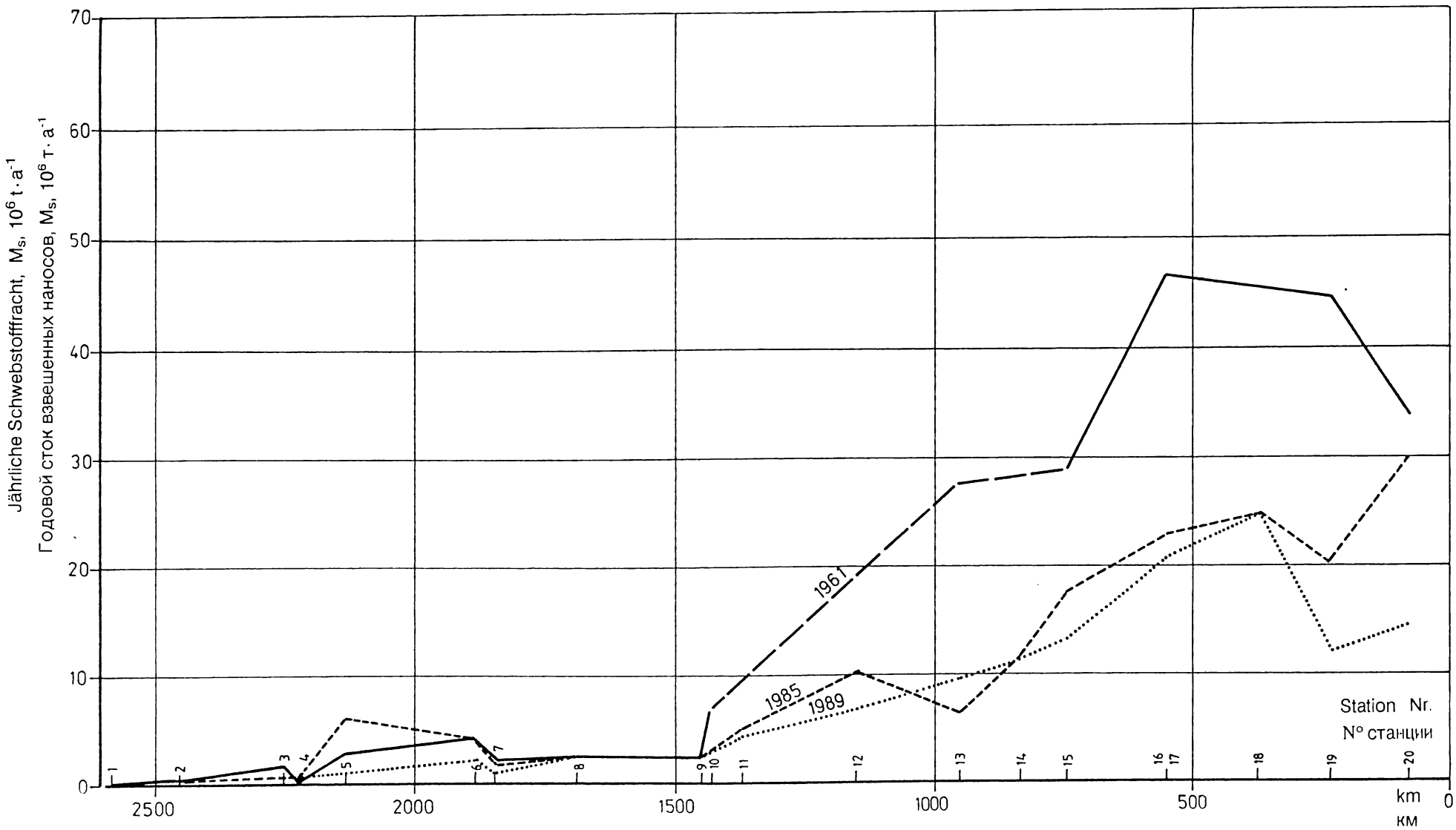


Bild 12. Längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten in drei ausgewählten wasserarmen Jahren
Рис. 12. Изменение годового стока взвешенных наносов по длине реки в трех выбранных маловодных годах

Periode vor der Errichtung der Staustufe Eisernes Tor I, und die beiden anderen Jahre, 1983 und 1985, fallen in die Periode nach ihrer Inbetriebnahme. Das Bild weist zum einen darauf hin, daß seit den 60er Jahren die Schwebstofführung der Niedrigwässer bedeutend abgenommen hat, beweist zum anderen aber auch die Wirkung der im Stauraum der Staustufe Eisernes Tor I stattgefundenen Ablagerung, welche sich in der auffallenden Abnahme der jährlichen Schwebstofffrachten der Station Nr. 13 (Orşova) bemerkbar macht. Es darf dabei auch nicht übersehen werden, daß zwischen 1961 und 1983 auch an den unterhalb der Station Mohács in die Donau mündenden Nebenflüssen viele Staustufen errichtet wurden, so daß auch die in deren Stauräumen abgesetzte Feststoffmenge zur Abnahme der Schwebstofffrachten an der unteren Donau beiträgt. Eine entgegengesetzte Erscheinung, nämlich eine rasche Zunahme der Schwebstofffrachten, ist unterhalb der Staustufe Eisernes Tor I vor allem an den Pegeln Novo Selo und Lom zu beobachten, was – da es an dieser Strecke keine bedeutenden Zubringer gibt – allein auf die unterhalb von Staustufen häufig vorkommende, bedeutende Auskolkung des Flußbettes zurückgeführt werden kann.

Ein interessantes Merkmal der Kurve von 1985 ist bei der Station Nr. 5 (Linz) zu beobachten, nämlich die Tatsache, wie klein in diesem außerordentlich schwebstoffreichen Jahr die Auswirkung des Flusses Inn im Vergleich zu der die Schwebstofführung der Donau erhöhenden Auswirkung der unterhalb der Station Mohács einmündenden Nebenflüsse war. Andererseits fällt auf, daß an der keine bedeutenderen Zubringer aufweisenden ungarischen Donaustrecke die Schwebstofführung während der Trockenjahre praktisch gleichmäßig und geringer war als an der österreichischen Donaustrecke. Es ist auch bemerkenswert, daß an der in Nebenarme verzweigten Stromstrecke unterhalb des Pegels Nr. 18 (Silistra) die Neigung zur Ablagerung seit den 60er Jahren zugenommen hat. In den Jahren 1985 und 1989 bewirkt der zwischen den beiden untersten Meßstationen einmündende Fluß Siret mit seiner Schwebstoffmenge an der Mündungsstrecke der Donau (unterhalb Vadu Oii, Nr. 19) wieder eine steigende Tendenz der Schwebstofffrachten.

Die Schwebstofffrachtlängsschnitte der niederschlagsreichen Jahre 1965, 1970 und 1980 sind in Bild 13 dargestellt. An der österreichischen Donaustrecke beträgt in einem solchen Jahr die jährliche Schwebstofffracht das 1,5 bis 2fache, an der ungarischen Strecke aber das 2 bis 3fache derjenigen eines Trokkenjahres. Der Verlauf der Kurven der Jahre 1965 und 1970 weist in der Umgebung der Station Nr. 5 (Linz) auf den Einfluß des Inns hin. Die Gestalt der Kurve von 1980 zeigt entlang der österreichischen und ungarischen Donaustrecke ein Beispiel dafür, daß ein Ausfall des bedeutenden Feststoffnachschubs vom Inneinzugsgebiet und der übrigen alpinen Einzugsgebiete flußabwärts bis zum Pegel Mohács spürbar blieb. In den Jahren 1965 und 1970 kann die plötzliche Zunahme der Schwebstofffrachten zwischen den voneinander kaum 40 km entfernt liegenden Stationen Nr. 6 und 7 allein auf die Wirkung der March zu-

менные ряды (также приведенные в этой таблице) неполные. Таким образом, мы стремились лишь к тому, чтобы изобразить изменение годового стока наносов вдоль реки в некоторых характерных дождливых или засушливых годах.

На рис. 12 изображены продольные профили стока наносов в трех засушливых годах. Один год (1961) еще до строительства плотины „Железные Ворота I", а два других года (1983, 1985) входят в период строительства данной плотины. Рисунок показывает, во-первых, что, начиная с 60-ых годов, значительно уменьшился сток взвешенных наносов в меженный период; во-вторых, что вследствие отложения наносов у плотины „Железные Ворота I" заметно снизились годовые данные у станции Оршова (13). Необходимо учитывать и тот факт, что в период 1961–1983 гг. на более значительных притоках ниже Мохача также были созданы плотины, и за счет количества наносов, отложенных в водохранилищах этих плотин, снижается сток взвешенных наносов нижнего течения Дуная. Противоположным этому изменению является интенсивный рост количества наносов ниже плотины „Железные Ворота I", в первую очередь у станции Лом и Ново-Село, что в связи с отсутствием здесь крупных притоков может быть результатом частого и значительного размыва русла ниже плотины. Интересно заметить, что согласно продольному профилю за 1985 г. и данным у Линца влияние притока Инн, даже в годы со значительным стоком наносов, является относительно небольшим по сравнению с влиянием притоков ниже Мохача. Другое замечание – это то, что сток наносов на бесприточном венгерском участке Дуная в маловодные годы практически мало изменяется и в это время достигает значений ниже, чем на австрийском участке. Заслуживает внимания и тот факт, что на участке реки ниже станции Силистра, где река разветвляется на рукава, склонность наносов к отложению увеличивается по сравнению с 60-ми годами. В отдельные годы количество наносов весьма мутной реки Сирет, впадающей в Дунай между двумя последними станциями наблюдений, повышает сток наносов в дельтавой части Дуная ниже Вадул Ой.

Продольные профили стока наносов в многоводные годы показаны на рис. 13 на примере 1965, 1970 и 1980 гг. На австрийском участке р. Дунай годовое количество взвешенных наносов в 1,5–2 раза превышает подобные значения в маловодные годы, а на венгерском участке – в 2–3 раза. Изменение продольного профиля за 1965 и 1970 гг. вблизи Линца показывает влияние притока Инн. Продольный профиль за 1980 г. является примером того, что отсутствие значительного пополнения наносов на водосборах притока Инн и вообще на альпийских водосборах оказывает влияние на весь австрийский и венгерский участки, вплоть до Мохача. В 1965 и 1970 гг. отмечается интенсивный рост объема наносов между станциями 6 и 7, находящимися на

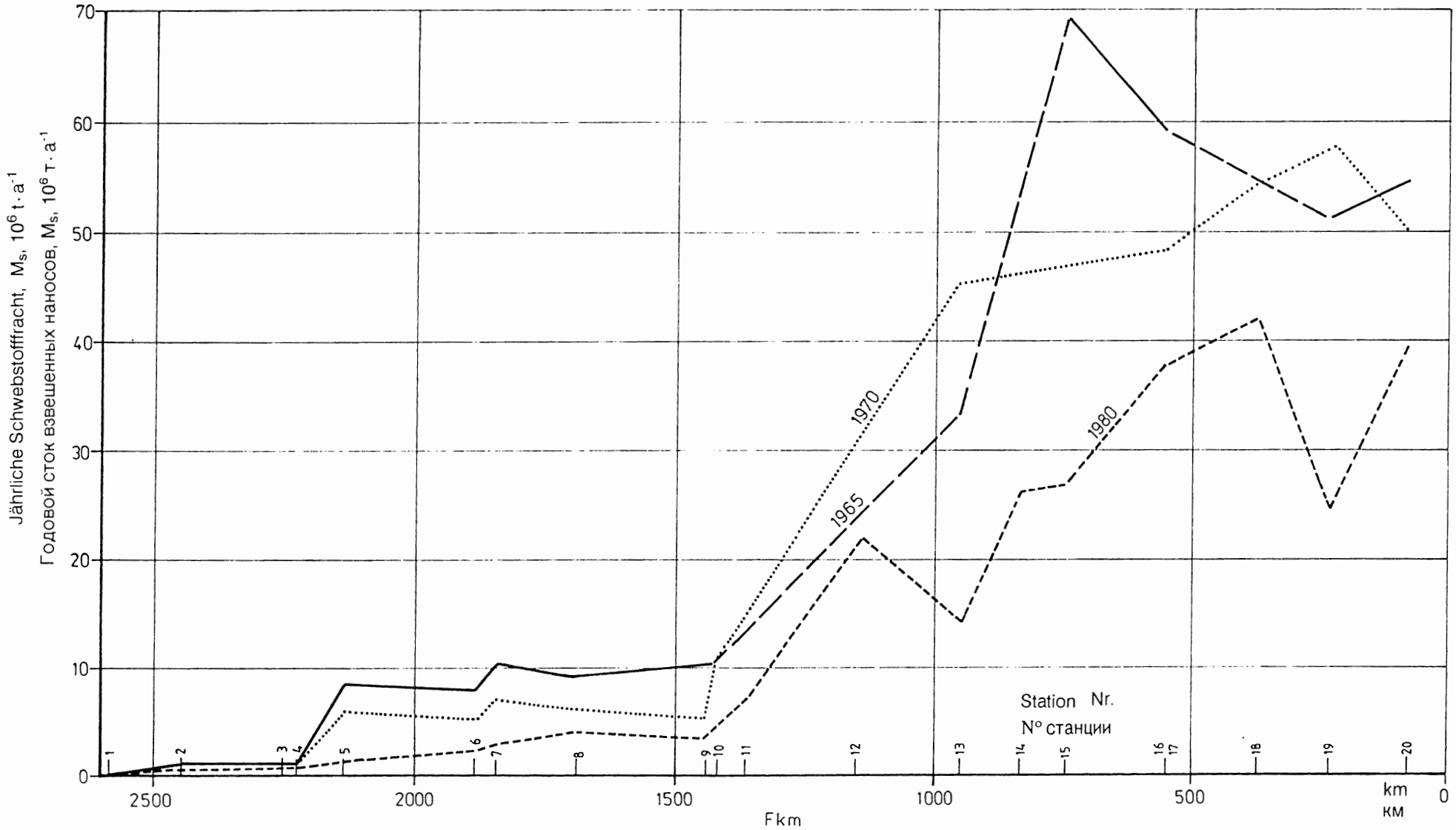


Bild 13. Längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten in drei ausgewählten wasserreichen Jahren

Рис. 13. Изменение годового стока взвешенных наносов по длине реки в трех выбранных маловодных годах

rückgeführt werden. In einem niederschlagsreichen Jahr führt dieser Fluß von seinem verhältnismäßig großen Einzugsgebiet (A_E = 27.000 km^2) eine beträchtliche Schwebstoffmenge, nach dem Bild in der Größenordnung von 1 bis 2 Mio t · a^{-1}, oberhalb Preßburg (Bratislava) der Donau zu.

Die Datenreihe des erinnerungswürdig niederschlagsreichen Jahres 1965 ist bedauerlicherweise lückenhaft, so daß im Bild die bekannte Angabe der Station Nr. 13 mit den nächsten beiden bekannten Werten (denjenigen der Stationen Nr. 10 bzw. 15) nur mit einer gestrichelten Linie verbunden werden durfte. Eine Erklärung für den außerordentlich hohen Wert der Station Nr. 15 (Lom) liegt nicht vor, da es ja unterhalb der Station Nr. 13 keine bedeutenden Zubringer gibt. Es sei hierzu noch bemerkt, daß obwohl laut bulgarischer Information am Pegel Lom die höchste jährliche Schwebstofffracht 54,2 Mio t · a^{-1} war, derselbe Wert sich, aus den mittleren monatlichen Schwebstofffrachten errechnet, zu 69,5 Mio t · a^{-1} ergibt. Das Jahr 1970 war sowohl für die Theiß als auch für die V. Morava ein außerordentlich feststoffreiches Jahr. Es fällt hingegen auf, daß die ebenfalls beträchtliche jährliche Schwebstofffracht der Alt (Oltul) von 15,5 Mio t · a^{-1} sich in diesem Jahr bei der Station Nr. 16 (Svistov) nicht bemerkbar macht. Auch nimmt die Schwebstofffracht zwischen den beiden untersten Meßstationen, trotz der Schwebstofffracht von 25,8 Mio t · a^{-1} des Flusses Siret, spürbar ab.

Die Kurve von 1980 weist auf die Absetzwirkung des Strauraumes der Staustufe Eisernes Tor I auch unter Hochwasserbedingungen klar hin. Die beträchtliche Zunahme der Schwebstofffracht zwischen den Stationen Nr. 13 und 14 beweist, daß unterhalb der Staustufe eine bedeutende Auskolkung stattgefunden hat. Die zwischen Silistra und Vadu Oii erfolgende Ablagerung ist in wasserreichen Jahren größer als in Trockenjahren. Die Schwebstofffracht des Flusses Siret von 14,4 Mio t · a^{-1} erhöht die Schwebstoffführung bedeutend an der zwischen den untersten beiden Meßstationen liegenden Donaustrecke.

Bild 14 zeigt, nach den Angaben der bereits behandelten Tabelle 4, die während der Untersuchungsperiode 1956–1985 beobachteten maximalen, minimalen und mittleren Werte der jährlichen Schwebstofffrachten. Im Bild wurde auch die längsschnittmäßige Entwicklung der Einzugsgebietsgröße dargestellt sowie die Mündungen der wichtigeren Zubringer mitsamt ihren maximalen, minimalen und mittleren Schwebstofffrachten (ebenfalls aus den Jahren 1956–1985).

Der Minimalwert der jährlichen Schwebstofffracht nimmt von Ulm bis Mohács wahrscheinlich infolge der zahlreichen Staustufen kaum zu. Infolge der Nebenflüsse nimmt der Minimalwert von Mohács bis Pancevo allmählich, zwischen Orşova und Silistra aber bedeutend zu, worin auch die Flußbetterosion der Donau eine Rolle spielt.

Die Maximalwerte der jährlichen Schwebstofffracht nehmen bis Passau kaum zu. Der Inn erhöht seinem Einzugsgebietsanteil entsprechend die Schwebstofffracht an der österreichischen Donaustrecke beträchtlich. Entlang der ungarischen Strecke verändern sich die Maximalwerte kaum, während die

расстоянии 40 км, что можно объяснить лишь влиянием реки Морава. Река Морава имеет сравнительно большой (27 000 кб. км) водосвор и в дождливые годы может приносить значительное количество наносов (согласно рисунку – около 4–5 млн. т/год) в Дунай выше Братиславы.

Временной ряд за 1965 г., который был весьма дождливым, к сожалению, является неполным, поэтому имеющиеся данные по станции 13 были соединены прерывестой линней с данными по ближайшим станциям, по которым они существуют (станции 10 и 15). Весьма высокую величину у станции Лом (15) трудно объяснить; замечается, что, начиная со станции 13, значительных притоков нет. Необходимо отметить, что болгарская сторона предоставила данные о максимальной величине годового объема взвешенных наносов на станции Лом, составляющей 54.2 млн. т/год, а если ее расчитать на основе месячных величин, то получается 69.5 млн. т/год. В 1970 г. сток наносов был очень большим и на реках Сава, Тиса и В. Морава. Это видно по величине объема наносов на станции Оршова (13). Удивительно, что весьма большое количество наносов р. Олт в этом году (15.5 млн. т/год) не отражено в данных по станции Свиштов (16) и что сток наносов уменьшается между двумя последними станциями, несмотря на то, что годовой объем р. Сирет составил 25.8 млн. т/год.

По продольному профилю стока за 1980 г. также ясно проявляется влияние водохранилища у плотины „Железные Ворота I". О размыве русла ниже свидетельствует значительный рост стока наносов между станциями 13 и 14. Отложение наносов между Силистрой и Вадул Ой происходило более интенсивно, чем в маловодные годы. Объем наносов р. Сирет, равный 14.4 млн. т/год здесь, заметно увеличивает сток наносов на участке между двумя последними станциями.

На рис. 14 показаны максимальные, минимальные и средние величины годового объема взвешенных наносов, полученные за период исследований по отдельным станциям. Данные приведены на основании данных табл. 4. На рисунке также показаны изменение площади водосбора р. Дунай по течению, места впадения важнейших притоков вместе с их минимальной, средней и максимальной величиной годового стока взвешенных наносов. Эти исследования основываются на данных, измеренных в разные годы.

Величина минимального годового стока наносов мало изменяется от Ульма до Мохача повидимому из-за густого расположения плотин; умеренно – от Мохача до Панчево и более сильно – от Оршова до Силистры за счет влияния притоков. На увеличение стока наносов на последнем участке (Оршова-Силистра) влияет и русловая эрозия. Значение максимального годового стока мало изменяется до Пассау. Река Инн повышает объем стока наносов на австрийском

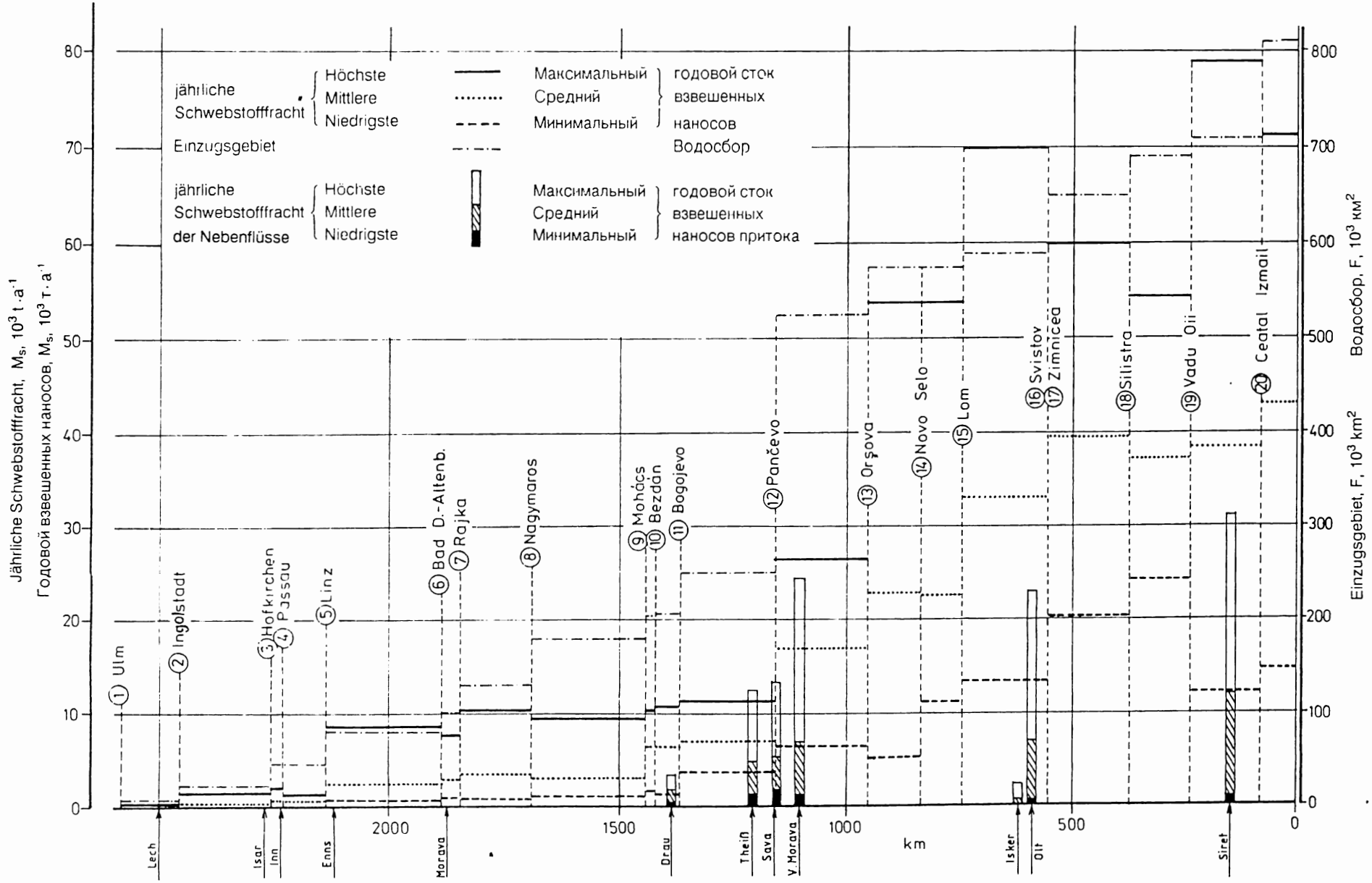


Bild 14. Längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten an den Meßstationen

Рис. 14. Изменение максимального, среднего и минимального годового стока по длине реки

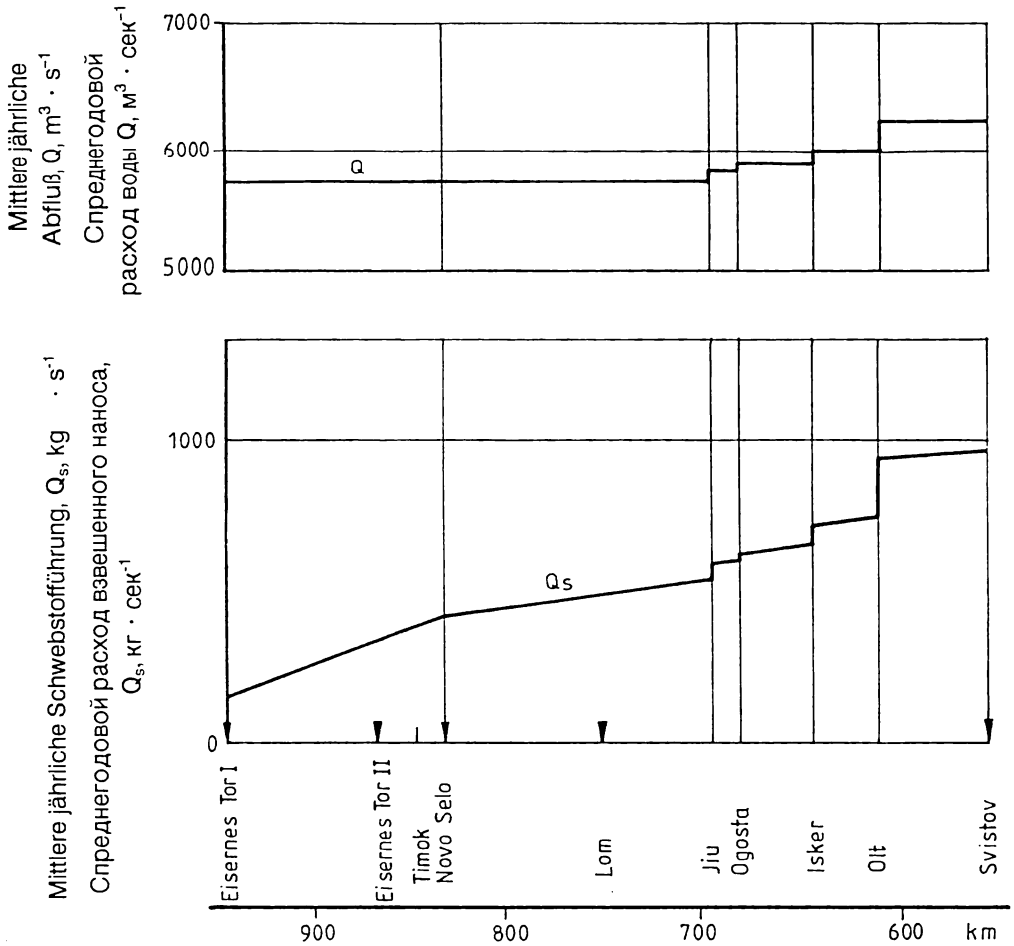


Bild 15. Veränderung der jährlichen mittleren Schwebstofführung an der bulgarischen Donaustrecke (nach Gergov 1977)

Рис. 15. Изменение среднегодового расхода воды и наносов в 1977-ом году на болгарском участке р. Дунай (Гергов 1977)

Einzugsgebietsfläche allmählich zunimmt. An der ungarischen Strecke gibt es kaum Zubringer und das zusammenhängende System der Hochwasserschutzdeiche verhütet eine unmittelbare Einwaschung des Schwebstoffes in die Donau. Zwischen Bogojevo und Orşova nimmt die die maximalen Schwebstofffrachten einhüllende stufenartige Kurve mehr oder weniger den Einzugsgebietsgrößen entsprechend zu. Zwischen den Mündungen der Flüsse Alt (Oltul) und Siret macht sich zunächst eine teilweise Ablagerung, sodann der Beitrag der Siret und endlich eine weitere Ablagerung unmittelbar vor der Mündung ins Schwarze Meer bemerkbar.

Bild 15 stellt, aufgrund der 1977 von Gergov (persönliche Mitteilung) gemessenen Daten, die Veränderungen des mittleren Jahresabflusses und der mittleren jährlichen Schwebstofführung an der bulgarischen Donaustrecke dar. Das Abflußregime dieses Jahres war zwar durchschnittlich, doch haben die Zubringer, insbesondere die Alt, bedeutende Wassermengen der Donau zugeführt. Die Schwebstofffracht hat unterhalb der Staustufen Eisernes Tor I und II infolge der bereits erwähnten Flußbettauskolkung in größerem Maße zugenommen, während sie unterhalb Novo Selo gleichmäßig, aber in kleinerem Maße angestiegen ist und bis Svistov keine Abnahme aufwies, die die Feststoffmenge der Zubringer übertroffen hätte.

участке Дуная пропорционально увеличению площади водосбора. На венгерском участке реки максимальные объемы годового стока наносов мало изменяются, в то время как площадь водосбора умеренно увеличивается. Здесь мало притоков и единая система защитных противопаводковых дамб препятствует непосредственному попаданию наносов в реку. От Богоево до Оршова пропорционально росту площади водосбора поднимается ступенчатая кривая, описывающая максимальные величины стока наносов; также заметно частичное отложение наносов между реками Олт и Сирет, влияние р. Сирет на увеличение объемов наносов на Дунае и отложение наносов перед дельтавой частью Дуная.

На рис. 15 показано изменение среднегодово расхода воды и стока взвешенных наносов на основе данных Гергова (личное сообщение полученных им в 1977 г.). Данный год был средним по водности, но притоки, и в первую очередь р. Олт, вынесли значительное количество твердого стока в Дунай. Расход наносов ниже плотины Железные Ворота I и II увеличился в более значительной мере вследствие уже упомянутого размыва русла; ниже Ново-Село – в меньшей степени, но увеличение происходило

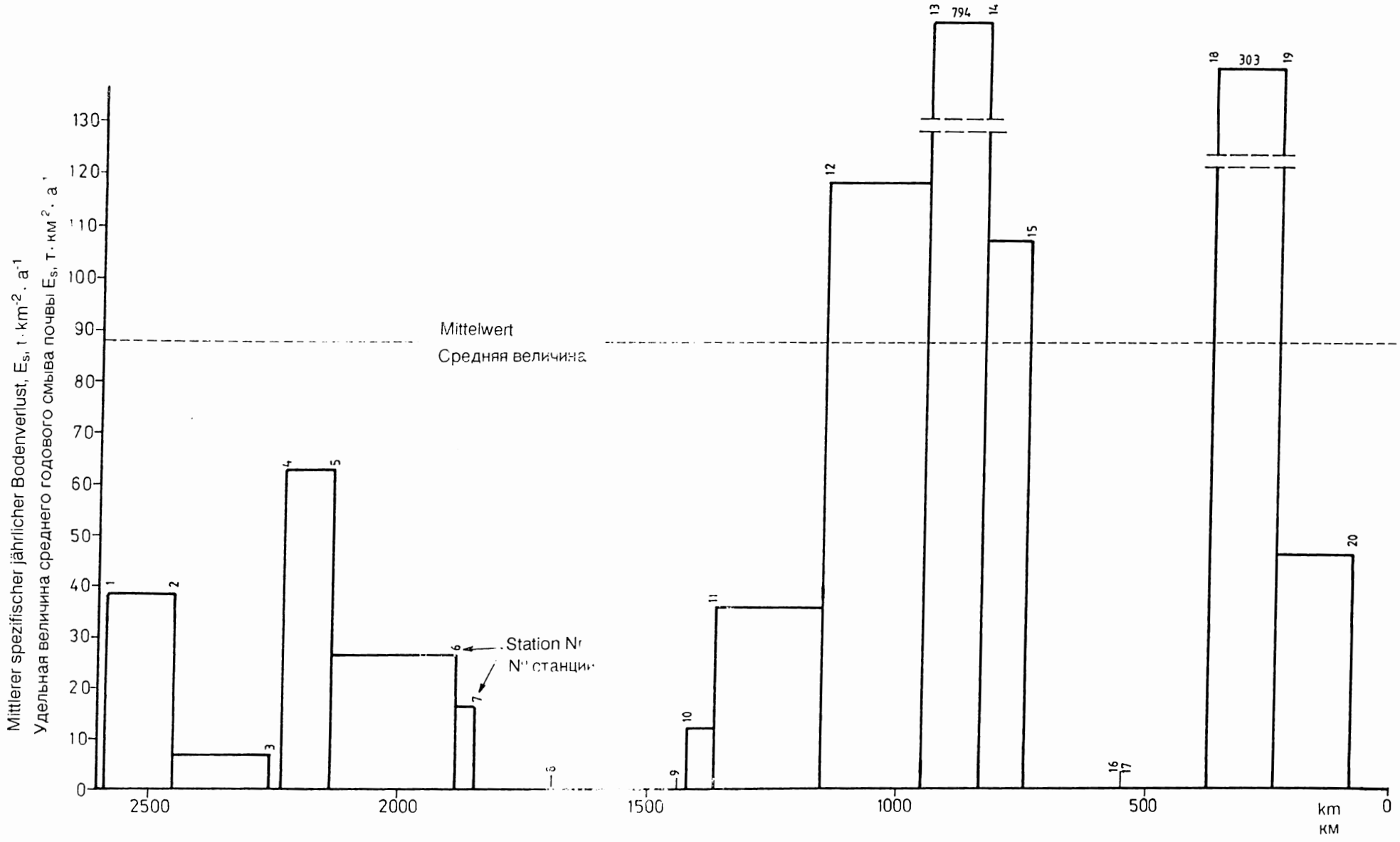


Bild 16. Mittlerer spezifischer jährlicher Bodenverlust der Teileinzugsgebiete des Donaubeckens

Рис. 16. Изменение удельной величины среднего годового смыва почвы по длине р. Дунай

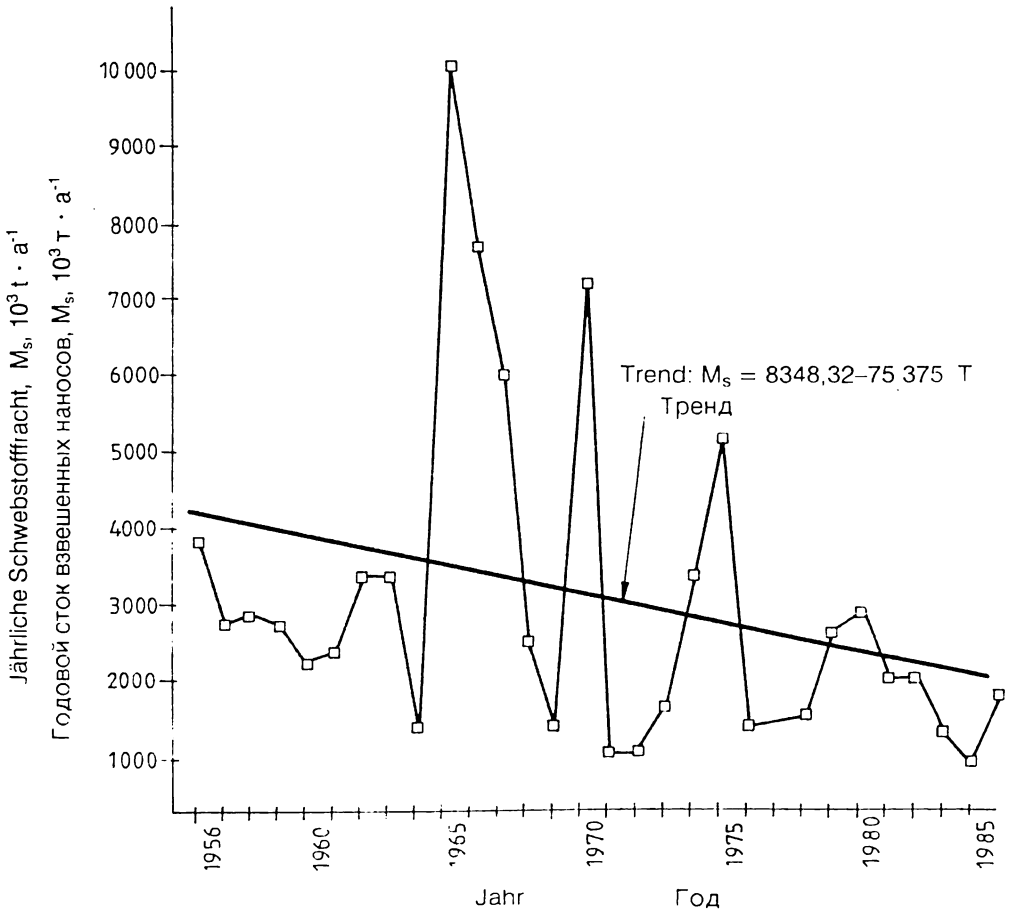


Bild 17. Trend der jährlichen Schwebstofffrachten am Donaupegel Rajka von 1956 bis 1985

Рис. 17. Тенденция изменения годового стока взвешенных наносов у станции Райка в период 1956–1985 гг.

Letzteres Phänomenon – nämlich ein Abflachen der Kurve – hat sich wahrscheinlich auch in diesem Jahr nur in der Nähe des Deltas bemerkbar gemacht.

Im Hinblick auf die Verhältniszahl zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert der jährlichen Schwebstofffracht empfiehlt sich Bild 14 mit der Spalte Maximum/Minimum der Tabelle 4 zu vergleichen, wo diese Verhältniszahlen auch zahlenmäßig angegeben sind. Es ist zu sehen, daß der Wert dieser Verhältniszahl unterhalb der Mündungen der Zubringer jeweils sprungartig zunimmt, ihr höchster Wert gehört zum Donauquerschnitt unterhalb der Innmündung. Ansonsten liegen die Werte dieser Verhältniszahl an der Donau oberhalb des Pegels Mohács zwischen 6 und 8, unterhalb dessen aber zwischen 2 und 5. Ihre Fluktuation ist jedenfalls zu groß, um die Schwebstoffführung der Donau an einer beliebigen Meßstation mit einem einzigen Wert kennzeichnen zu können. Die Schwebstoffführung wird weit realistischer charakterisiert, wenn neben dem Durchschnittswert auch der Maximal- und Minimalwert der jährlichen Schwebstofffrachten einer entsprechend langen Periode angegeben werden.

Unter Berücksichtigung der ebenfalls in Tabelle 4 mitgeteilten mittleren jährlichen Schwebstofffrachten und der entsprechenden Einzugsgebietsflächen wurden für die einzelnen Teileinzugsgebiete des Donaubeckens die Größen des jährlichen durchschnittlichen Bodenverlustes errechnet und in Bild 16 – wo es an-

непрерывно, а отложение наносов на участке Свиштова не превышало объема наносов, поступающих с притоков. Это явление, то есть поворот кривой в нижнюю сторону, по всей вероятности, и в данном году проявилось лишь вблизи устья.

Целесообразно сопоставить соотношение значений максимального и минимального годового объема наносов, полученных с графика на рис. 14, с числовыми значениями соотношений M_{smax}/M_{smin} приведенных в табл. 4. Видно, что значение этого соотношения моментально повышается у станций, расположенных ниже впадения более значительных притоков, достигая максимальной величины ниже впадения реки Инн. Как правило, величина этого соотношения колеблется от 6 до 8 выше Мохача, и от 2 до 5 – ниже Мохача Во-всяком случае колебание больше того, что годовой сток взвешенного наноса Дуная на данной станции можно было характеризовать одним значением. Среднее, максимальное и минимальное годовое значения за более длительный период обеспечили бы более реальную характеристику стока наносов.

Когда временные ряды позволяли, используя данные по среднегодовым объемам наносов и соответствующим величинам площади водосборов, приведенных в табл. 4, были вычислены и на рис. 16 представлены величины среднегодового смыва почвы. Их значения в многоводные

hand der Zeitreihe der betreffenden Station möglich war – dargestellt. Für die Hochwasserjahre sind natürlich beträchtlich höhere Werte kennzeichnend als die im Bild dargestellten Durchschnittswerte, doch kann die Erodierbarkeit der einzelnen Teileinzugsgebiete sowie deren Verhältnis zueinander auch auf grund letztgenannter Durchschnittswerte beurteilt werden. Im wesentlichen zeigt das Bild die auf den Bodenabtrag ausgeübte resultierende Auswirkung verschiedener anthropogener Tätigkeiten sowie natürlicher Prozesse. Der Bodenverlust ist im oberen und mittleren Teil des Donaubeckens gering. Die erste bedeutende Zunahme zeigt sich am Pegel Pančevo, d. h. die Einzugsgebiete der großen Zubringer Theiß und Save werden überdurchschnittlich erodiert. Durch die höchsten Werte des Bodenverlustes werden die Einzugsgebiete der Nebenflüsse V. Morava und Siret charakterisiert. Der für das ganze Donaubecken aus den Daten von Ceatal Izmail errechnete langjährige mittlere Bodenabtrag ergibt sich – in gutem Einklang mit Lászlóffys Schätzung (1967) – zu 88 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$. Bild 16 gewährt einen lediglich skizzenhaften Überblick über die Teileinzugsgebiete, die der Erosion am meisten ausgesetzt sind. Wo im Bild nur die horizontale Achse zu sehen ist, gibt es natürlich immer noch eine gewisse Zuführung in die Donau, doch liegt ihr Wert weit unter 10 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ und wurde deshalb nicht dargestellt.

Während der 30jährigen Untersuchungsperiode hat jedoch die Schwebstofführung der Donau nicht nur infolge der menschlichen Tätigkeiten, sondern auch infolge regionaler Klimaänderungen abgenommen. Beispielsweise wird für den Pegelquerschnitt Rajka der Trend in Bild 17 gezeigt. Die in den Bildern 2 bis 8 eingetragenen Trendgleichungen weisen, mit Ausnahme derjenigen des Pegels Passau, auf eine abnehmende Tendenz der jährlichen Schwebstofffrachten hin (negative Richtungstangenten der Ausgleichsgeraden). Die mathematische Form der Trendgleichungen ist

$$M_s = A + B \cdot T,$$

wobei M_s die jährliche Schwebstofffracht in 10^3 $t \cdot a^{-1}$ symbolisiert, A und B konstante Koeffizienten sind und T die ab 1900 gerechnete lfd. Nummer des Jahres bedeutet. Aus den Gleichungen der Bilder 2 bis 8 geht auch hervor, daß das Ausmaß der Abnahme bei den Meßstationen Orşova, Svistov und Silistra am größten ist. Es sei dabei auch darauf hingewiesen, daß – wie man sich auch mit einem Blick auf die Bilder 2 bis 8 überzeugen kann – während der 30 Jahre auch die jährlichen Abflußsummen an der mittleren und unteren Donau durch fallende Tendenzen gekennzeichnet waren.

Die hydrographischen Institute Österreichs, Jugoslawiens und Rumäniens haben für einzelne Meßstationen auch Zeitreihen der Schwebstofffracht für die der 30jährigen Bezugsperiode (1956–1985) des vorliegenden Projektes vorangegangenen, mehrere Jahrzehnte umfassenden, Zeiträume mitgeteilt. So ist es möglich, die Daten dieser Perioden mit denjenigen der Periode 1956–1985 zu vergleichen. Im Hinblick

годы естественно намного превышают приведенные здесь величины, но и на основании средних их величин можно видеть и угрозу эрозии на отдельных частных водосборах, и также есть возможность сопоставить степень этой угрозы по разным водосборам. Рисунок показывает комплексное влияние всех антропогенных вмешательств, проведенных на водосборе, а также всех природных процессов на образование наносов. Смыв почвы на верхней и средней частях водосбора Дуная является незначительным. Первое заметное увеличение проявляется у станции Панчево, то есть водосборы крупных притоков больше среднего поддаются эрозии. Наибольшее значение почвы наблюдается на водосборах рек В. Морава и Сирет. Смыв почвы, расчитанный на основании данных у Чатал Измаила для всего водосбора Дуная, составляет 88 т/кв. км, что хорошо согласуется с данными Ласлоффи (1967). Рис. 17 дает лишь схематический обзор о частных водосборах, наиболее подвергнутых поверхностной эрозии. В тех местах, где изображена лишь горизонтальная ось, конечно, также наблюдается смыв почвы, но его величина остается ниже 10 т/кв. км в год, и поэтому он не был изображен на рисунке.

За исследуемый 30-летний период сток наносов Дуная уменьшился не только за счет хозяйственной деятельности, но и за счет регулярных и периодических изменений климата. Уравнения тренда, показанные на рис. 2–8, и графический тренд, показанный в качестве примера на рис. 17 для Райка, свидетельствуют (за исключением Пассау) о тенденции уменьшения годового объема взвешенного наноса:

$$M_s = A + B \cdot T,$$

где M_s – годовой объем взвешенных наносов в тыс. тонн, A и B – параметры, T – порядковое число года начиная с 1900 г. Из уравнения видно, что максимальная интенсивность уменьшения достигается у станции Панчево, Оршова, Свиштов и Силистра. Нужно отметить, что годовой объем жидкого стока также имеет тенденцию убывания за 30-летний период. Это наглядно показано на временных рядах объема жидкого стока, изображенных на рис. 2–8.

Австрийский, югославский и румынский гидрологические институты предоставили и временные ряды наносов за период, предшествующий 30-летнему периоду, исследуемому в данном докладе. Таким образом, стало возможным сопоставление этих данных с данными, полученными после 1956 г. Эти данные, с точки зрения образования и транспорта наносов, отражают то состояние, когда не были построены водохранилища, и влияние оказывали лишь лесотехнические и сельскохозяйственные работы на водосборе, а также ранее проведенные работы по регулированию русла реки.

У станции Линц среднегодовое количество стока взвешенных наносов р. Дунай составило за

auf die Erosion und Förderung des Feststoffes kennzeichnen die alten Daten die Situation vor der Errichtung der Staustufen, wobei sie höchstens die Auswirkungen der im Einzugsgebiet ausgeübten forst- und landwirtschaftlichen Tätigkeiten sowie der früheren Maßnahmen der Flußregulierung widerspiegeln.

An der österreichischen Station Linz lag die jährliche mittlere Schwebstofffracht während der Periode 1928–53 bei etwa 4,75 · 10^6 t · a^{-1}, zwischen 1956–1985 aber bei 2,45 · 10^6 t · a^{-1} (die entsprechenden Konzentrationen lagen bei 103 g · m^{-3} bzw. 78 g · m^{-3}). Der recht dichte Ausbau von Staustufen an der Donau und ihren Zubringern bewirkte also eine durchschnittliche Verminderung um 48% der Schwebstofffrachten und um 24% der Schwebstoffkonzentrationen.

Aus Jugoslawien stehen für die Station Bezdan ähnliche Daten ab 1931 zur Verfügung, doch wurden die Messungen 1974 aufgegeben, so daß hier ein Vergleich nicht so vollständig sein kann wie derjenige für Linz. Die mittlere jährliche Schwebstofffracht lag in der Periode 1931–1955 bei 7,98 · 10^6 t · a^{-1}, zwischen 1956 und 1974 aber bei 6,43 · 10^6 t · a^{-1}. Die Abnahme beträgt 19%, doch zeigt eine Analyse der Datenreihe, daß die Abnahme ohne Berücksichtigung der vier letzten Beobachtungsjahre (in welchen die Proben im Gegensatz zur früher angewandten Methode nur aus der Nähe der Wasseroberfläche geschöpft worden sind) lediglich 4% beträgt. Es ist nicht bekannt, in welchem Maße diese plötzliche und äußerst bedeutende Abnahme der mittleren jährlichen Schwebstofffracht bei Bezdan dem Rückstau der 1971 in Betrieb genommenen Staustufe Eisernes Tor I zu-

период 1928–1953 гг. – 4.75 млн. т, а среднегодовая мутность – 103 г/куб. м. Вследствие возведения ряда плотин на р. Дунай и ее притоках эти значения снизились соответственно до 2.45 млн. т и 78 г/куб. м. Это составляет 48%-ное снижение для наносов и 24%-ное снижение для мутности.

В Югославии подобные данные имеются по станции Бездан с 1931 г., но здесь наблюдения над наносами в 1974 г. прекратились и, таким образом, сопоставление данных менее полноценное по сравнению с данными по станции Линц. Среднегодовое количество взвешенных наносов за период 1931–1955 гг. составило 7.98 млн. т, а за период 1956–1974 гг. – 6.43 млн. т, т.е. снижение лишь на 19%, но составные элементы временного ряда показывают, что подобное снижение средней величины после 1956 г. вызвано данными о наносах, полученных при поверхностном заборе проб за последние 4 года. Уменьшение количества наносов до 1970 г. включительно равнялось лишь 4%. Неизвестно, вызвано ли это резкое и заметное уменьшение среднегодового количества взвешенных наносов подпором плотины Железные Ворота I, сданной в эксплуатацию в 1971 году, но совпадение по времени весьма заметное. По другим двум югославским станциям нет возможности для сопоставления данных, поскольку наблюдения на них начались лишь в 1974 г.

Плотины Железные Ворота настолько повлияли на данные о величине наносов на румынском участке р. Дунай, что данные по среднегодовому количеству взвешенных наносов и по сред-

Tabelle 6. Schwebstoffdaten für die rumänische Donaustrecke, mit einer den Anfängen bedeutender anthropogener Einflüsse entsprechenden Zeiteinteilung

Таблица 6. Данные по взвешенному стоку на румынскам участке р. Дунай по периодам времени согласно началу крупных антропогенных воздействий

Station	Periode	Jährliche mittlere Schwebstoff-		Abnahme in % im Vergleich zum Wert der ersten Periode (1931–64) der Schwebstoff	
		-fracht (10^6 t · a^{-1})	-konzentration (g · m^{-3})	-fracht	-konzentration

Станция	Период	Среднегодовая величина взвешенных наносов		Снижение по отношению с предидущим периодом (1931–1964 в %-ах	
		стока (10^6 т)	мутность (г·м $^{-3}$)	стока	мутности
Orşova	1931–64	33 938	189		
	1965–70	30 947	149	9	21
	1971–84	12 747	70,5	62	63
Zimnicea	1931–64	41 515	218		
	1965–70	41 769	190	–0,6	13
	1971–84	24 321	131	41	40
Vadu Oii	1931–64	52 963	278		
	1965–70	53 495	240	–1,0	14
	1971–84	25 807	132	51	52
Ceatal Izmail	1931–64	53 252	261		
	1965–70	41 963	176	21	32
	1971–84	38 300	181	28	31

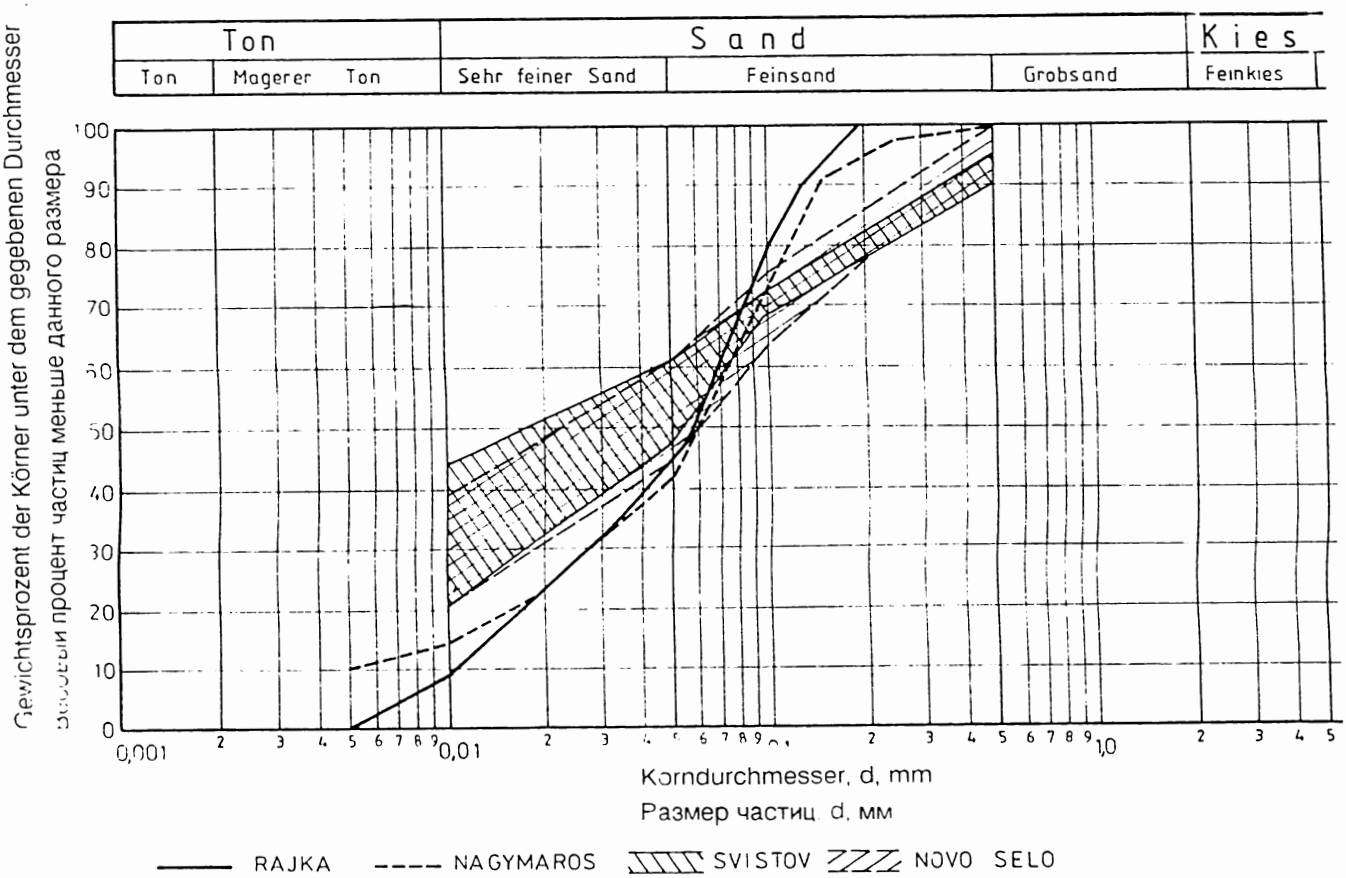


Bild 18. Kornverteilung des Schwebstoffes an der ungarischen und bulgarischen Donaustrecke

Рис. 18. Гранулометрический состав взвешенных наносов на венгерском и болгарском участках р. Дунай

zuschreiben ist; jedendalls ist die Gleichzeitigkeit der beiden Ereignisse äußerst auffallend. An den beiden anderen jugoslawischen Meßstationen wurde mit den Messungen erst 1974 begonnen; es können also keine Vergleiche angestellt werden.

Die Datenreihen der rumänisch-bulgarischen Donaustrecke wurden durch die beiden Staustufen im Eisernen Tor so stark beeinflußt, daß es zweckmäßig ist, die ab 1931 zur Verfügung stehenden Datenreihen der mittleren jährlichen Schwebstofffrachten und -konzentrationen in zwei Gruppen (vor und nach Inbetriebsetzung der Staustufe Eisernes Tor I) aufzuteilen. Der rumänische Hydrographische Dienst teilt die Datenreihe ebenfalls im Jahr 1964, also zum Zeitpunkt, als die zweite österreichische Staustufe fertiggestellt wurde und ihre Schwebstoffrückhaltwirkung zusammen mit derjenigen der deutsch-österreichischen Staustufe Jochenstein spürbar zu werden begann. In dieser Gruppierung kann man die Daten in der Tabelle 6 sehen.

1. 5. Veränderungen der Kornverteilung des Schwebstoffes

Die Kornverteilung kann sich in einem gegebenen Querschnitt in Abhängigkeit sowohl vom Durchfluß als auch von der Strömungsgeschwindigkeit ändern und ändert sich auch entlang des Stromes. Von den

ней мутности, имеющиеся в нашем распоряжении с 1931 г., целесообразно разделить на данные, полученные до и после строительства плотины Железные Ворота I. Румынская Гидрологическая Служба выделяет и 1964 год. В этом году была сдана в эксплуатацию вторая австрийская дунайская плотина, которая вместе с уже ранее построенной немецко-австрийской плотиной у Йохенштейна начала влиять на режим наносов. В этой группировке данные представлены в табл. 6.

1. 5. Изменение гранулометрического состава взвешенных наносов

Гранулометрический состав в данных створах может изменяться в зависимости от расхода воды и скорости движения воды, и, кроме этого, вдоль реки до ее устья. От стран-участниц Венгрии, Болгарии и Румынии были получены данные по гранулометрическому составу взвешенных наносов. Первые две страны предоставили данные, пригодные для получения кривых гранулометрического состава, Румыния предоставила данные только по средней и крайним величинам диаметра частиц. На рис. 18 показаны кривые гранулометрического состава, полученные на венгерском и болгарском участках Дуная.

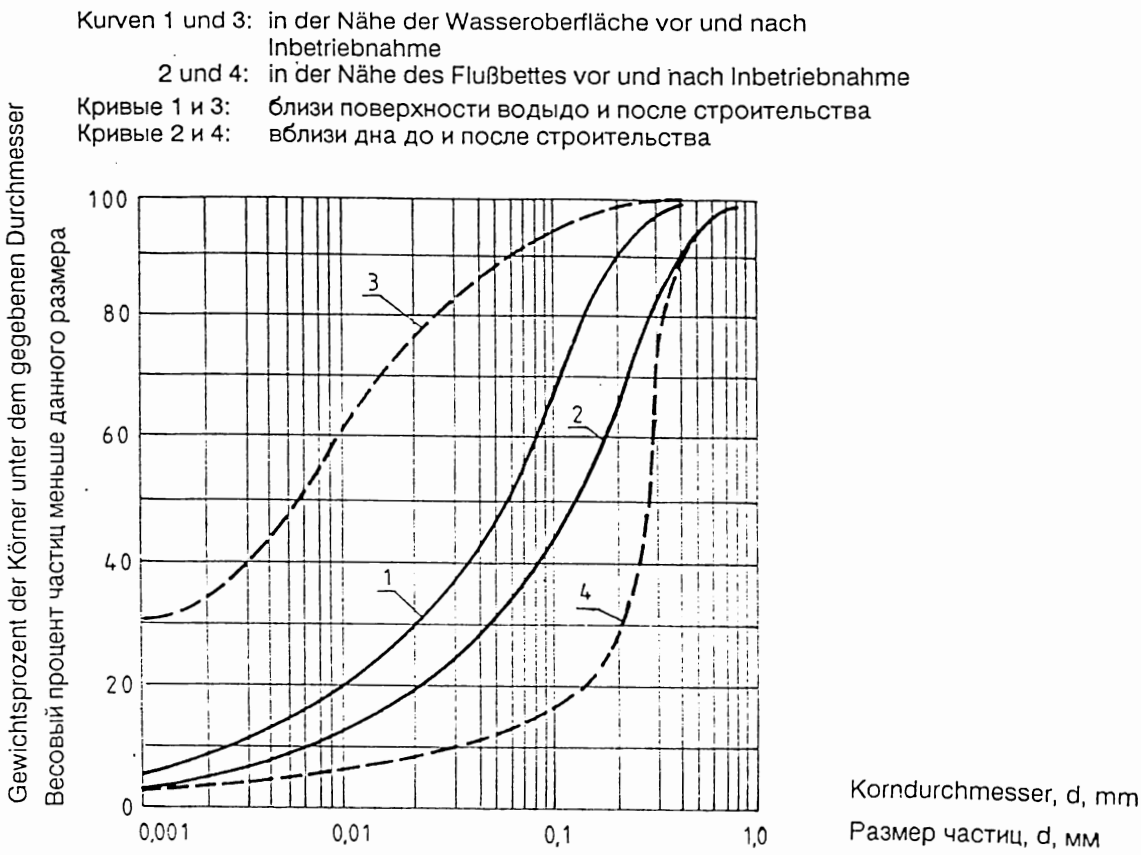


Bild 19. Kornverteilung des Schwebstoffes bei Novo Selo vor und nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Eisernes Tor I (nach Petschinov 1984)

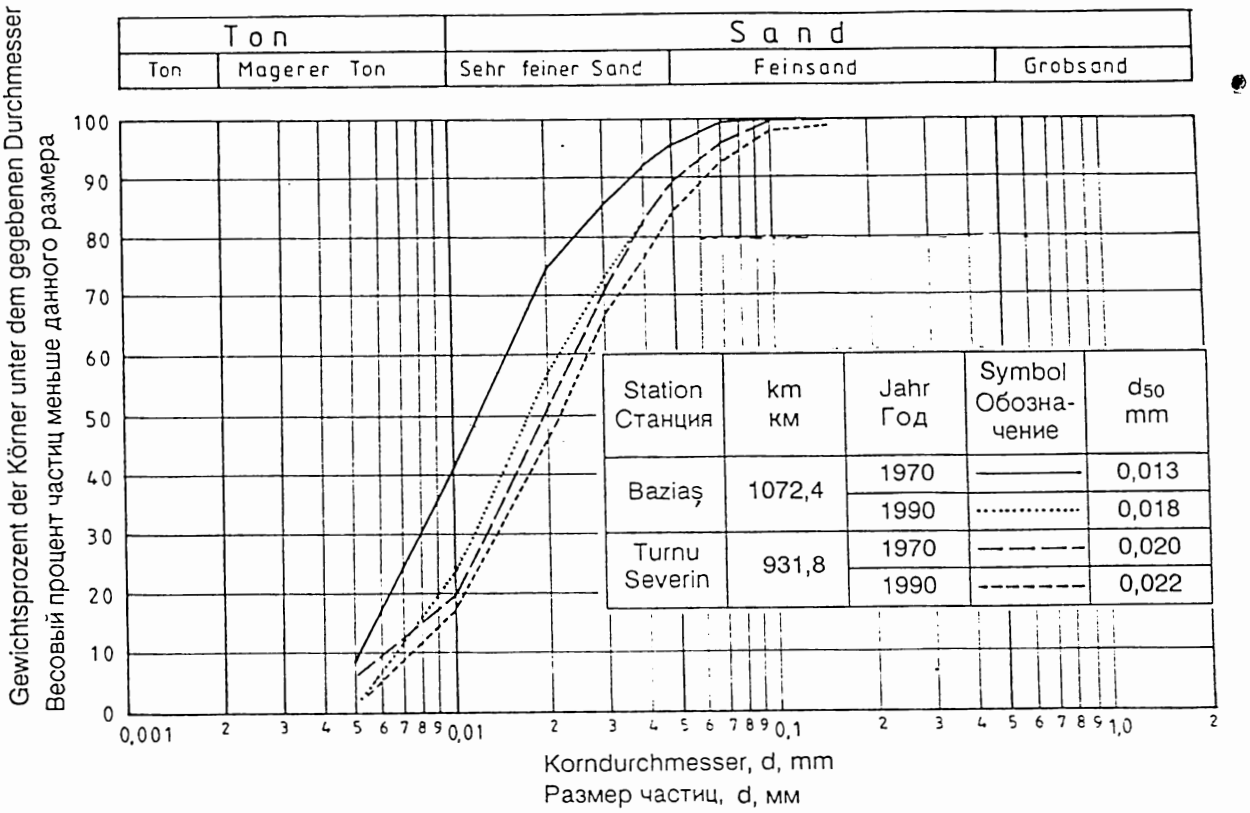
Рис. 19. Состав фракций взвешенного наноса у Нового Села до и после ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I (Печинов 1984)

mitwirkenden Donaustaaten haben Ungarn, Rumänien und Bulgarien Daten über die Kornverteilung des Schwebstoffes geliefert. Bild 18 zeigt die für die ungarische und die bulgarisch-rumänische Donaustrecke ermittelten Kornverteilungen. Der am meisten auffallende Unterschied zwischen ihnen ist, daß die für die ungarische Donaustrecke ermittelte Verteilung gleichmäßiger ist. Der Schwebstoff enthält hier wesentlich weniger Ton und Feinsand als im Stromabschnitt unterhalb von Strom-km 1000. Zwischen den Kornverteilungen der beiden ungarischen Meßstationen Rajka und Nagymaros besteht kein bedeutender Unterschied. Erfahrungsgemäß fluktuieren hier die Kornverteilungskurven in Abhängigkeit vom jeweiligen Durchfluß auch weit weniger als bei den bulgarischen Stationen Novo Selo und Svistov.

Der mittlere Korndurchmesser der ungarischen Schwebstoffproben liegt zwischen 0,06 und 0,07 mm, an der bulgarischen Donaustrecke bei Novo Selo zwischen 0,09 und 0,15 mm, bei Svistov aber zwischen 0,08 und 0,10 mm. Es ist aus dem Bild ebenfalls ersichtlich, daß die Analyse der Kornverteilung sich in Bulgarien nicht auf den Bereich unter 0,01 mm (Ton) erstreckte, was eine Erhöhung des mittleren Korndurchmessers bewirkt. Laut rumänischen Probeanalysen ist nämlich der mittlere Korndurchmesser des Schwebstoffes bei Zimnicea (d. h. bei Svistov) 0,028 mm, bei Vadu Oii 0,022 mm und bei Ceatal Izmail 0,021 mm, wobei sich die Analysen nach unten bis zum Grenzwert 0,001 mm er-

Наиболее заметное различие между ними то, что гранулометрический состав, характерный для венгерского участка, является более равномерным; он содержит значительно меньше фракций глины и пылеватого песка, чем гранулометрический состав взвешенных наносов на болгарском участке. Между кривыми гранулометрического состава в створах Райка и Надьмарош нет значительного различия. Опыт показывает, что их кривая гранулометрического состава в меньшей мере колеблится и в зависимости от расходов воды, чем кривые в створах Ново-Село или Свиштов.

Средний диаметр частиц в венгерских пробах составляет 0.06–0.07 мм, на участке ниже Оршова, согласно болгарским данным, в створе Ново-Село – 0.09–0.15 мм, и в створе Свиштов – 0.08–0.10 мм. Как видно из рисунка, анализ гранулометрического состава, выполенный в Болгарии, не расространился на фракцию ниже 0.01 мм (глина) и это обстоятельство является частично причиной увеличения среднего диаметра частиц, ибо согласно румынским анализам проб средний их диаметр составляет в створе Зимнича (т. е. Свиштов) 0.028 мм, в створе Вадул Ой 0.022 мм и в створе Чатал Измаил 0.021 мм. Согласно предоставленным крайним величинам диаметра частиц анализ был выполнен до фракции 0.001 мм. Максимальные диаметры частиц



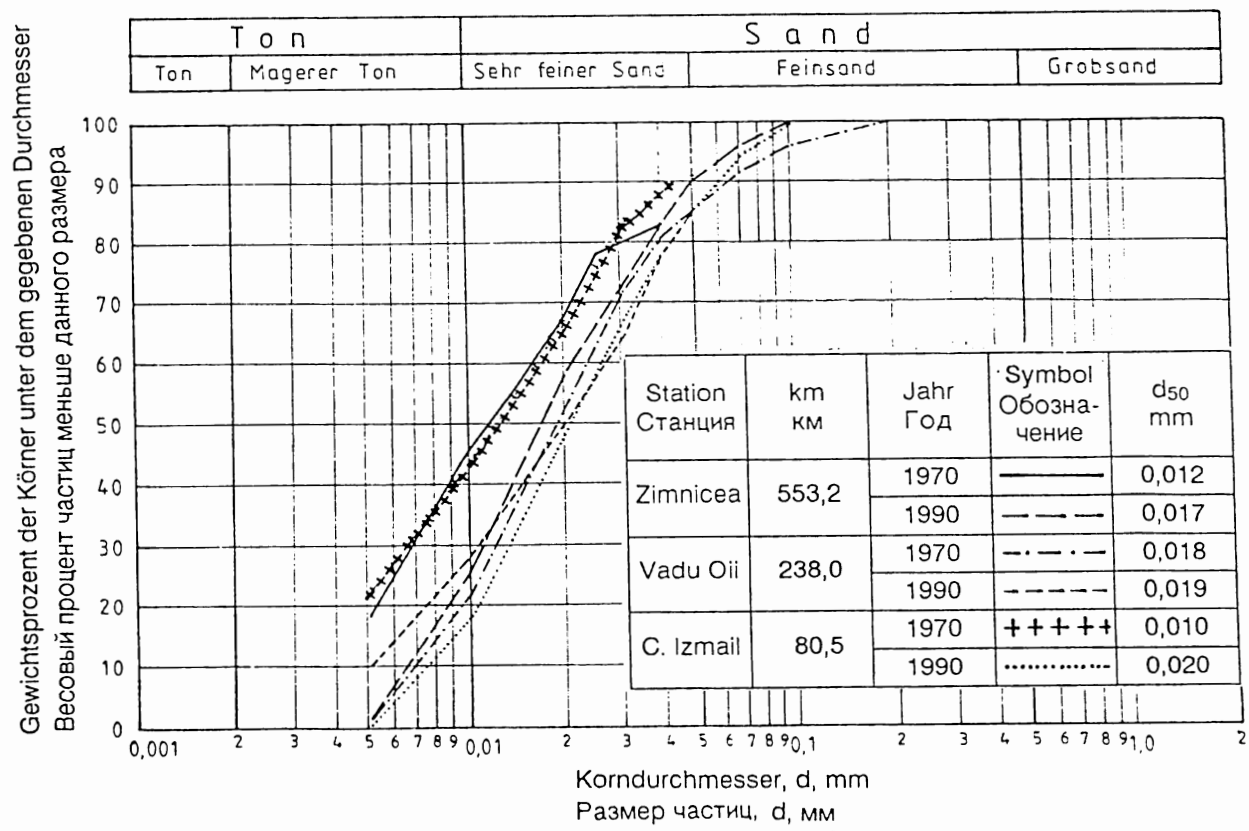


Bild 20. Kornverteilung des Schwebstoffes an der rumänischen Donaustrecke vor und nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Eisernes Tor I

Рис. 20. Состав фракций взвешенного наноса на румынском участке р. Дунай до и после ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I

streckten. Die größten Korndurchmesser von 0,4 bis 0,5 mm stimmen etwa mit den Ergebnissen der bulgarischen Analysen überein.

Auch ein Vergleich obiger Daten der Kornverteilung weist auf die Schwierigkeit hin, auf welche man bei dem Vergleich der charakteristischen Korndurchmesser von Schwebstoffproben stößt, die mit verschiedenen Geräten entnommen und nach verschiedenen Methoden analysiert worden sind. Da einer möglichst detaillierten und genauen Ermittlung der feineren Kornfraktionen aus der Sicht des Umweltschutzes – in Anbetracht ihrer holle bei der Adsorption und für den Transport von Schadstoffen industriellen Ursprungs – eine immer größere Bedeutung zukommt, wäre es wünschenswert, die Geräte und Methoden der sich auf einen möglichst breiten Kornbereich erstreckenden Laboranalysen zu vereinheitlichen.

Petschinov (1984) hat die Veränderungen der Kornverteilung des Schwebstoffes bei Novo Selo (110 km unterhalb der Staustufe) untersucht. Sein in Bild 19 mitgeteiltes Diagramm zeigt deutlich, daß nach der Inbetriebnahme der Staustufe Eisernes Tor I die Zusammensetzung der aus Oberflächennähe entnommenen Schwebstoffproben bedeutend gröber wurde, diejenige der bettsohlennahen Schicht sich aber verfeinerte. Die Kornverteilung des den Stauraum verlassenden Schwebstoffes war bei Novo Selo bemerkbar homogener als vor der Inbetriebnahme der Staustufe.

Ähnliche Veränderungen können auch an den Kornverteilungskurven beobachtet werden, die für die Querschnitte von fünf rumänischen Meßstationen (Bazias, Turnu Severin, Zimnicea, Vadu Oii und Ceatal Izmail) aus Daten konstruiert wurden, welche vom rumänischen Hydrometeorologischen Institut zur Verfügung gestellt wurden. Die Kornverteilung der Schwebstoffproben wurde auch hier feiner, aber in einem geringeren Maße als es aus Bild 19 ersichtlich ist. Das Maß der Verfeinerung nimmt mit der Entfernung von der Staustufe bemerkbar ab (Bild 20).

Es ist zu bemerken, daß die rumänischen Daten nicht dieselben Perioden charakterisieren wie die bulgarischen, sondern aus den Jahren 1970 und 1990 stammen.

1. 6. Die Schwebstofffrachten der Zubringer

Es ging bereits aus dem der längsschnittmäßigen Veränderung der Schwebstofführung der Donau gewidmeten Kapitel 1. 4 hervor, daß die Beiträge der Zubringer zur Schwebstofffracht der Donau recht bedeutend sind. Im ursprünglichen Titel des vorliegenden Berichtes war auch der Hinweis „und ihrer wichtigeren Zubringer" enthalten. Dementprechend liegen nur Daten des Schwebstoffregimes von denjenigen Gewässern vor, welche durch die mitwirkenden Staaten als „wichtig" beurteilt wurden. In Tabelle 7 werden für die Untersuchungsperiode 1956 bis 1985 die uns zur Verfügung stehenden Werte der niedrigsten, mittleren und höchsten jährlichen Schwebstofffrachten der Nebenflüsse der Donau zusammengefaßt.

Die Tabelle beginnt mit dem Inn.

составляют 0.4–0.5 мм и удовлетворительно согласуются с результатами болгарского анализа.

Сопоставление немногочисленных данных по гранулометрическому составу наносов указывает на те трудности, которые возникают при сравнении характеристик гранулометрического состава взвешенных наносов, которые измеряются различными приборами и к тому же анализируются по разной методике. Поскольку более подробный и точный анализ тонкой фракции частиц становится все более важным с точки зрения охраны окружающей среды, учитывая их роль в абсорбции и транспорте загрязнителей промышленного происхождения, поэтому целесообразна унификация приборов и методики лабораторных анализов гранулометрического состава в широких пределах изменения фракций.

Печинов (1984) исследовал изменение гранулометрического состава взвешенных наносов ниже плотины, на 110 км у станции Ново-Село. Из графика на рис. 19 видно, что после ввода в эксплуатацию плотины „Железные Ворота I" в гранулометрическом составе проб, взятых у поверхности воды, значительно увеличилось наличие более крупных фракций, а в составе проб, взятых из потока вблизи дна – более тонких фракций. Иными словами, гранулометрический состав взвешенных наносов, поступающих из зоны подпора, даже у Ново-Село стал заметно более однородным, чем раньше.

Подобные изменения можно наблюдать по кривым гранулометрического состава, составленных на основе данных по 5 станциям (Базиаш, Турну-Северин, Зимнича, Ваду Ой и Чатал Измаил), предоставленных Румынским гидрометеорологическим институтом. В гранулометрическом составе проб взвешенных наносов увеличилось доля мелких фракций, хотя степень этого увеличения меньше, чем по данным болгарских станций. Степень увеличения доли тонких фракций уменьшается до устья реки (рис. 20). Следует отметить, что румынские данные относились к 1970–1990 гг., т. е. к другим годам, нежели данные болгарских исследователей.

1. 6. Сток взвешенных наносов притоков

Как видно из главы 1. 4, то-есть из рассмотрения изменений стока взвешенных наносов реки Дунай, вынос наносов некоторыми притоками является весьма значительным. Название данного доклада связано со стоком лишь „главных притоков", поэтому имеются данные взвешенных наносов лишь по тем притокам, которые считаются значительными данной страной. Ниже, в табл. 7 приведены данные по минимальным, средним и максимальным годовым объемам взвешенных наносов за период 1956–1985 гг. по притокам, начиная с реки Инн.

Über die Schwebstofffrachten am Inn liegen Informationen für folgende Meßstellen vor:
- Oberaudorf/Inn bzw. Degerndorf/Inn
- Griesstätt/Inn bzw. Wasserburg/Inn
- Neuhaus-Schärding/Inn
- Passau/Inn.

Bei der Zusammenstellung der Tabelle 7 wurden die Meßdaten von Neuhaus-Schärding verwendet.

Für die Schwebstoffführung der March liegt für die 50 km oberhalb der Mündung befindliche Station Moravský Jan in einem ad hoc-Bericht (Hydrologie der Karpaten, 1979) ein einziger Wert vor.

Bei den Zubringern, für welche auch die monatlichen durchschnittlichen Charakteristika der Schwebstoffführung zur Verfügung standen, wurde auch der Jahresgang der Schwebstofffracht untersucht. Zwar liegt eine Untersuchung der zeitlichen Koinzidenz der Hochwasserwellen der Donau und ihrer Zubringer außerhalb des Rahmens des vorliegenden Berichtes, doch ist es unverkennbar, daß eine eventuelle Koinzidenz der häufigsten schwebstoffreichen Monate gleichzeitig auch auf die Häufigkeit der Koinzidenz der entsprechenden Hochwasserwellen hinweist, da bekanntlich gerade die Hochwasserwellen den überwiegenden Teil der jährlichen Schwebstofffrachten befördern. Es ist also zweckmäßig, die Angaben der Tabelle 8 mit denjenigen des Jahresganges der Schwebstofffracht der Donau (Tabelle 5) zu vergleichen. Es ist zu sehen, daß die Drau im Juni, die Theiß, die Save und die V. Morava hingegen Anfang des Frühlings die größten Schwebstoffmengen befördern. Ihre Wirkung ist auch am Donauabschnitt zwischen Orşova und Svistov zu bemerken, da die monatliche Schwebstofffracht der Donau hier ebenfalls während dieser Monate ihren Spitzenwert erreicht. Die Schwebstoffscheitel im Frühjahr der weniger bedeutenden Isker sowie der durchaus bedeutenden Flüsse Alt und Siret treten etwas später auf (Mai bis Juni) und führen zu Schwebstoffscheitelwerten der Donau

Данные по стоку взвешенных наносов реки Инн имеются по следующим станциям:
- Обераудорф/Инн и Дегердорф/Инн
- Гриесштат/Инн и Васербург/Инн
- Нойхаус-Шердинг/Инн
- Пассау/Инн.

При составлении табл. 7 использованы данные измерений в створе Нойхаус-Шердинг.

По стоку взвешенных наносов реки Морава (Марч) были найдены лишь одни единственные данные в докладе „Взвешенный сток рек Карпатского бассейна" временной рабочей комиссии. Данные относятся к станции Моравски Ян, расположенной в 50 км от устья.

Для тех притоков по которым имелись среднемесячные характеристики стока взвешенных наносов, исследовалось и его внутригодовое распределение за календарный год. Хотя нашей задачей не ставилось исследование совпадения во времени паводков на Дунае и его притоках, возможное совпадение месяцев с наибольшими наносами указывает и на частое совпадение паводков, которые, как хорошо известно, поставляют подавляющее большинство годового объема взвешенных наносов. Данные табл. 8 целесообразно сопоставить с внутригодовым распределением стока наносов Дуная (табл. 5). Видно, что Драва выносит наибольшее количество наносов в июне, а Тиса, Сава и В. Морава – ранней весной. Их влияние сказывается на режиме наносов р. Дунай от Оршова до Свиштова, поскольку на этих станциях максимальная величина наносов появляется также в июне. Максимальные величины весеннего стока наносов на незначительном притоке Искыр и значительных притоках Олт и Сирет появляются намного позже (май-июнь) и приводят к появлению максимумов стока наносов у Вадул Ой и Чатал Измаил в тот же период. Минимальные месячные ве-

Tabelle 7. Schwebstofffrachten der wichtigeren Zubringer der Donau
Periode 1956–1985

Таблица 7. Сток взвешенных наносов главных притоков р. Дунай
Период с 1956–1985

Name des Flusses	Einmündung in die Donau, km	Einzugsgebiet, F, km^2	Niedrigste	Mittlere	Höchste
			jährliche Schwebstofffracht (10^3 t · a^{-1})		

Название реки	Расстояние от устья, км	Водосборная площадь, F, км^2	Минимальный	Средний	Максимальный
			годовой сток взвешенных наносов (10^3т/год)		
Inn	2225	26 130	716	2819	6461
March*	1794	26 658		98	
Drau	1384	40 150	290	1572	3285
Theiß	1215	157 220	1323	4964	12 260
Save	1171	95 712	2003	5480	13 035
V. Morava	1103	37 444	1323	6904	24 457
Isker	637	8 646	130	880	2 450
Alt	604	24 010	697	6824	22 958
Siret	155	47 610	1053	11 786	31 189

* Station: Moravský Jan
(F = 9882 km^2, Periode: 1951–1974)

während dieser Zeit an den Pegeln Vadu Oii und Ceatal Izmail.

Die Monate der geringsten Schwebstofffracht der Zubringer weichen sowohl untereinander als auch von denjenigen der Donau bedeutend ab. Die niedrigste Schwebstofffracht der Drau fällt in den Februar, die der Theiß und der V. Morava in den Oktober, die der Save und Isker in den Spätsommer und schließlich diejenige der Alt (Oltul) und Siret in den Winter. Die Abweichungen sind vor allem auf die unterschiedlichen topographischen und klimatischen Verhältnisse der Einzugsgebiete der genannten Nebenflüsse zurückzuführen.

Die verschiedenen anthropogenen Maßnahmen, besonders die Speicher, beeinflussen spürbar auch die Festtofführung der Zubringer. Ein Beispiel dafür wird von Petschinova (1988) geliefert, die sich mit der Feststoffrückhaltwirkung der zwischen 1955 und 1975 an den im bulgarischen Donaueinzugsgebiet befindlichen Zubringern, errichteten 596 Staustufen unterschiedlicher Größenordnungen befaßt und in den Bildern 21 und 22 die Verminderung der Schwebstofffracht der Donau veranschaulicht. Bild 21 stellt den Verlauf der gesamten Schwebstofffracht der Zubringer für die Periode 1964–1985 dar. Trotz bedeutender Fluktuation der Jahresfrachten unterliegt die abfallende Tendenz keinem Zweifel. Bild 22 zeigt, wie die Anzahl der im Einzugsgebiet errichteten Speicher sowie das Verhältnis zwischen fertiggestelltem Gesamtvolumen und jährlicher Abflußsumme zugenommen hat. Die Feststoffrückhaltwirkung des Ausbaues von Staustufen an den Zubringern ist also auch an sich ein bedeutender Faktor der an der rumänisch-bulgarischen Donaustrecke beobachteten Abnahme der Schwebstofffrachten. Sie kann also auch neben der vorherrschenden ähnlichen Wirkung der Staustufen Eisernes Tor I und II nicht überblickt werden. Zur Abnahme der Schwebstoffführung an der behandelten Donaustrecke tragen natürlich auch die an den linken Zubringern auf rumänischem

личины наносов притоков по времени их наступления значительно различаются и друг от друга и от величин на Дунае. Если минимальный сток взвешенных наносов р. Драва наблюдается в феврале, р. Тиса и р. В. Морава – в октябре, то р. Сава и р. Искыр – в конце лета, а р. Олт и р. Сирет – зимой. Различие может объясняться, в первую очередь, различными орографичискими и климатическими условиями водосборов отдельных рек.

Антропогенная деятельность, прежде всего водохранилища заметно влияют на сток наносов на притоках. Примером этого может служить работа Печинова (1988), в которой подробно изучено задержание наносов 596 плотинами разного размера, построенных в период 1955–1975 гг. на притоках болгарской части водосбора р. Дунай; уменьшение количества взвешенных наносов р. Дунай показано на рис. 21–22. На рис. 21 представлено изменение суммарного расхода взвешенных наносов для притоков в период 1964–1985 гг. Вопреки значительному колебанию расходов за отдельные годы тенденция уменьшения очевидна. На рис. 22 показано увеличение числа водохранилищ в период 1945–1980 гг., а также соотношение суммарных емкостей уже построенных водохранилищ и полного годового объема стока. Задержание наносов в приплотинных емкостях на притоках само по себе является значительным фактором уменьшения стока взвешенных наносов на румыно-болгарском участке Дуная и им нельзя пренебрегать, даже зная, что уменьшение стока наносов, в первую очередь, вызвано плотинами Железные Ворота I и II.

Конечно, расход наносов на исследуемом участке Дуная уменьшился и вследствие сооружения плотин на левобережных румынских и

Tabelle 8. Jahresgang der Schwebstoffführung der Zubringer der Donau

Таблица 8. Внутригодовое распределение взвешенных наносов притоков р. Дунай

Name des Flusses und der Meßstation	Periode der Schwebstoffmessung	Monat des Vorkommens der		Monat des Vorkommens der	
		niedrigsten	höchsten	niedrigsten	höchsten
		monatlichen Schwebstofführung		monatlichen Schwebstoffkonzentration	

Название реки и станции	Период наблюдений взвешенных наносов	Месяц наблюдения		Месяц наблюдения	
		минимального	максимального	минимального	максимального
		месячного стока взвешенных наносов		месячного мутности взвешенных наносов	
Inn (Schärding)	1955–85				
Morava (Moravský Ján)	1951–74				
Drau (D. Miholjac)	1956–85	II	VI	II	VI
Theiß (Senta)	1956–85	X	IV	X	II
Sava (Str. Mitrovica)	1956–85	VIII	IV	IX	III
V. Morava (L. J. Most)	1956–85	X–XI	III	IX	III
Isker (Orahovica)	1961–85	VIII	V	VIII	V
Alt (Izbicen)	1956–85	XII	V	X	VI
Siret (Lungoci)	1956–85	I	IV–V	I	V

und ukrainischem Gebiet errichteten Staustufen maßgeblich bei.

Über die Staustufen der rumänischen Flüsse Alt und Siret wurden folgende Daten zur Verfügung gestellt:

– *Alt:* Zwischen 1966 und 1990 wurde das Flußbett an 24 Querschnitten gesperrt. Die meisten Talsperren wurden vor 1975 errichtet, der Bau der letzten wurde 1991 beendet. Letztere Staustufe liegt 15 km oberhalb der Mündung in die Donau.

– *Siret:* Zwischen 1975 und 1986 wurden am Fluß acht Talsperren gebaut. Die letzte, 110 km oberhalb der Mündung in die Donau liegende Staustufe wurde 1986 fertiggestellt.

1. 7. Beschreibung der eingesetzten Methoden zur Schwebstoffmessung

Deutschland

Bei den für dieses Projekt verwendeten Meßstellen erfolgt die Berechnung der Schwebstofffrachten auf-

украинских притоках. В связи с созданием плотин на румынских притоках Олт и Сирет мы получили следующие данные:

– р. Олт

В период 1966–1990 гг. русло реки было перекрыто в 24 створах. Большинство плотин построено до 1975 года. Строительство последней плотины было завершено в 1991 г. в 15 км выше устья.

– р. Сирет

В период 1975–1986 гг. было построено 8 плотин. Последняя была создана в 1986 году на 110 км выше устья.

1. 7. Описание способов измерения стока взвешенных наносов

Федеративная Республика Германия

Сток взвешенных наносов был расчитан на основании длительных рядов проб, взятых в одних

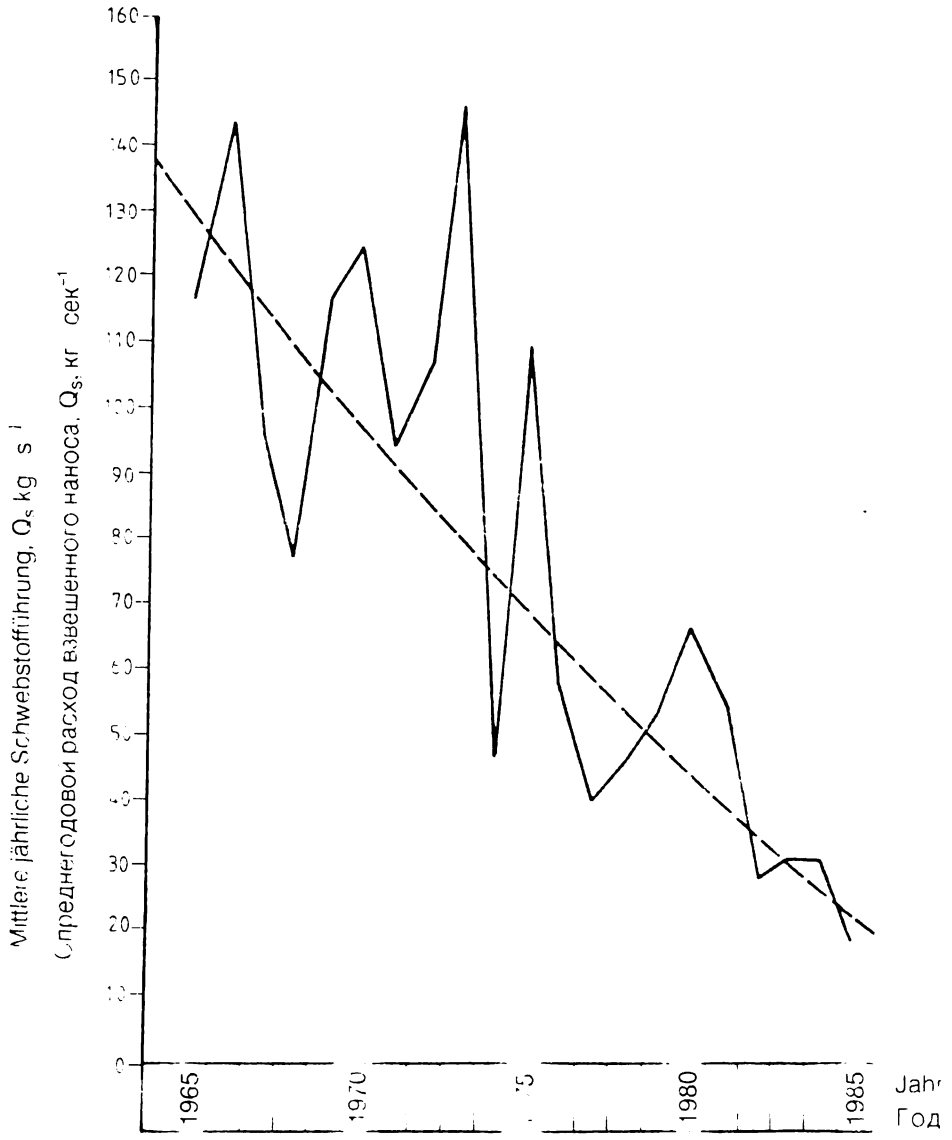


Bild 21. Entwicklung der Gesamtschwebstofführung der Zubringer der bulgarischen Donaustrecke (nach Petschinova 1988)

Рис. 21. Среднегодовой расход взвешенного наноса всех притоков болгарского участка р. Дунай (Печинова 1988)

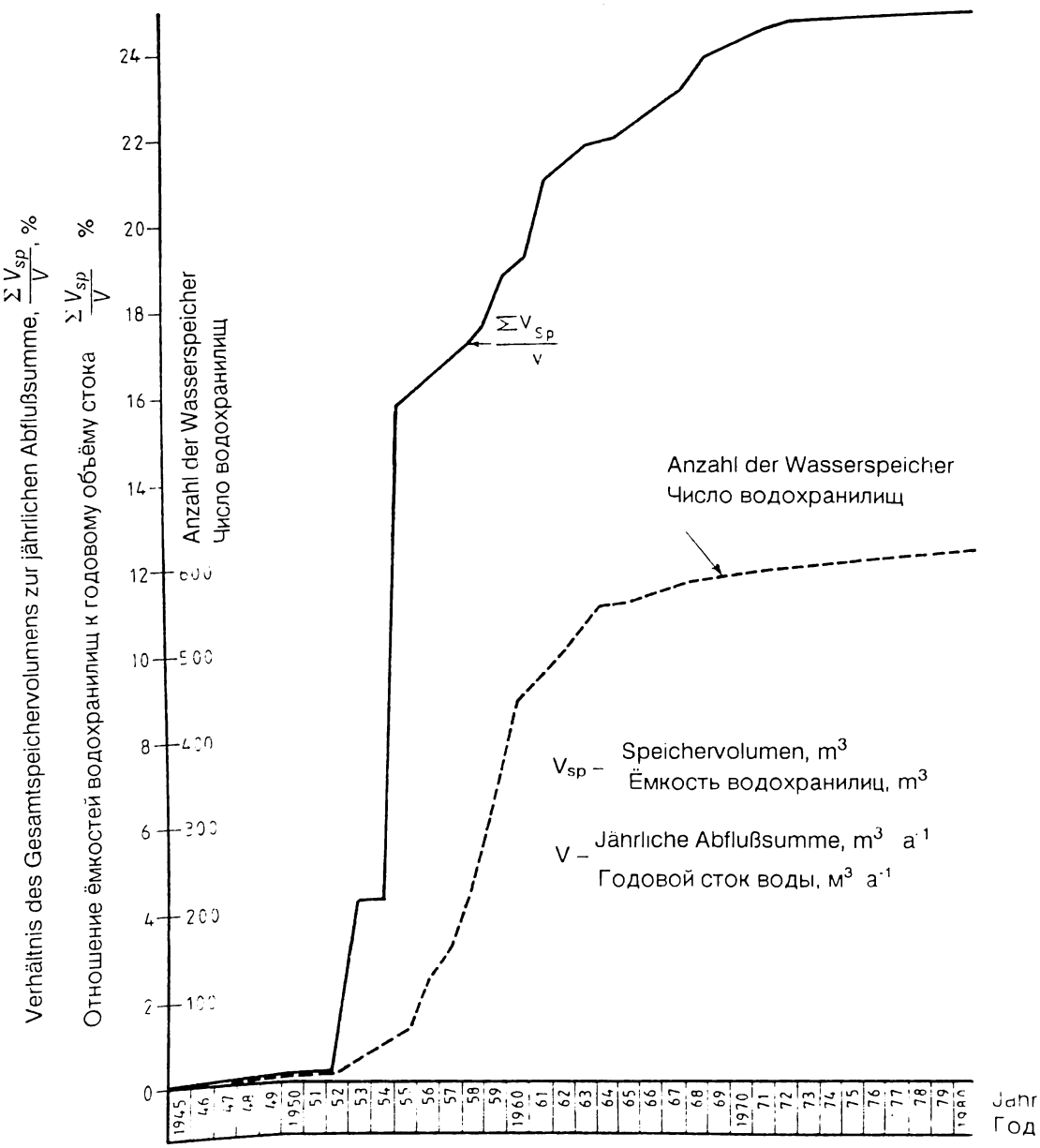


Bild 22. Veränderung der Anzahl der Speicher und des Verhältnisses des Speichervolumens zur jährlichen Abflußsumme im Einzugsgebiet der bulgarischen Donaustrecke (nach Petschinova 1988)

Рис. 22. Изменение общего числа водохранилищ, а также отношения емкостей водохранилищ к годовому объему стока на водосборе болгарского участка р. Дунай (Печинова 1988)

grund langjähriger Schwebstoffbeobachtung durch Einpunktmessung.

Die Probenahme wird dabei mit einem 10- oder 5-Liter-Eimer durchgeführt, mit Ausnahme der Meßstelle Neuhaus-Schärding. Dort werden aus einer 10-Liter-Eimerprobe 1-Liter-Proben entnommen und ausgewertet.

Die Entnahme bei der Einpunktmessung erfolgt möglichst im Stromstrich einer geraden, ungestörten Fließstrecke. Die Häufigkeit der Beprobung ist wasserstandsabhängig, wobei als Grundlage der jeweilige mittlere Abfluß an der Meßstelle dient. Je nach Wasточках на тех станциях, которые были перечислены в настоящем докладе. Пробы были взяты 10- или 15-ти литровой посудой, за исключением станций Пассау и Нойхауз/Шардинг. На этих двух станциях из 10-и литровой посуды в дальнейшем отбирались однолитровые пробы.

В случае одноточечного взятия проб они, по возможности, отбирались вблизи фарватера на прямых, ненарушенных участках реки. Частота взятия проб зависит от уровня воды. Были учтены актуальные величины среднего расхода воды по выбранной станции наблюдения. Частота

serstand werden einmal wöchentlich bis zu achtmal täglich und öfter Proben entnommen (in Neuhaus-Schärding ein- bis viermal täglich). An den Meßstellen Vilshofen, Passau und Jochenstein wird täglich eine Messung durchgeführt, die bei Hochwasser teilweise durch zwei bis drei weitere Messungen ergänzt werden.

Gelegentliche Vielpunktmessungen, bei denen in mehreren Lotrechten in verschiedenen Tiefen eines Querschnitts 1-Liter-Proben entnommen werden, dienen zur Überprüfung der Ergebnisse der Einpunktmessungen.

Der Schwebstoffgehalt wird durch Filtration bestimmt. Die verwendeten naßfesten, mittel- weitporigen Faltenfilter haben einen Durchmesser von 385 mm (bei 1-Liter-Proben 185 mm Rundfilter). Die leeren wie auch die vollen Filter werden vor ihrer Wägung zunächst an der Luft und dann 40 Minuten bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend weitere 40 Minuten im Exsikkator aufbewahrt. Für die Meßstellen Vilshofen, Passau und Jochenstein kommt ein vereinfachtes Verfahren zu Anwendung ohne Trockung im Trockenschrank.

Zur ermittelten Filtergewichtsdifferenz werden 0,04 g zum Ausgleich von Schwebstoffverlusten addiert (nicht bei 1-Liter-Proben und nicht an den Meßstellen Vilshofen, Passau und Jochenstein).

Österreich

1-Liter-Proben werden täglich an sieben Meßstationen, aus je einem Punkt – vom Abflußregime abhängig – ein- bis viermal entnommen. Bei unterdurchschnittlichen Wasserständen werden die Proben von einem Kahn aus in 4 m Entfernung vom Ufer, bei höheren Wasserständen jedoch den Lotrechten größter Turbulenz der Brücken- bzw. Stauwehröffnungen entnommen, wobei das Probenahmegerät von der Brükkenkonstruktion herabgehängt wird (Bors, 1991). Die somit ermittelten jährlichen mittleren Konzentrationen stehen in gutem Einklang miteinander, obwohl eingeräumt werden muß, daß die Probenahmen aus mehreren Punkten im Querschnitt Vorteile bieten würden.

Ungarn

In den Querschnitten der Hauptpegel werden – in vom Abflußregime abhängigen Zeitabständen – jährlich mindestens fünf vollständige Schwebstoffprobenahmen durchgeführt. Während der Hochwasserereignisse kommt es auch zu wesentlich häufigeren außerordentlichen Probenahmen. Die Probenahme erfolgt mit einer 1-Liter-Flasche aus je 7 Lotrechten des Querschnittes. Jeder Lotrechten werden aus äquidistanten Punkten je 10 Proben entnommen. Sie werden dann zusammengegossen, wodurch je Lotrechte eine 10-Liter-Probe entsteht, mit deren Konzentration die durchschnittliche Schwebstoffkonzentration der jeweiligen Lotrechte charakteristiert wird. Die weitere Behandlung der Proben (Filtrierung, Trokkung, Abwägung des Trockenstoffgehaltes) ähnelt der oben beschriebenen deutschen Praxis.

взятия проб изменяется от одной пробы в неделю до 8 и более проб в сутки в зависимости от уровня воды (у станции Нойхауз/Шардинг пробы берутся 1–4 раза в сутки).

Иногда производится многоточечное взятие проб. В этом случае с разной глубины на нескольких вертикалях в одном поперечном створе берутся 1-литровые пробы для контролирования результатов одноточечных измерений.

Содержание взвешенных наносов в пробах определяется фильтрованием. Диаметр принятого специального складчатого фильтра составляет 385 мм. Для 1-литровых проб используется круговой фильтр диаметром 185 мм. Пустые и заполненные фильтры перед взвешиванием просушивают вначале на воздухе, потом в течении 40 минут в сушильном шкафу при температуре 105°C, затем еще 40 минут в эксикаторах. К величине веса сухого остатка, полученной при измерении после фильтрования, добавляют 0,04 г для компенсации потери (при 1-литровых пробах подобного добавления нет).

Австрия

На 7 измерительных станциях берут одноточечные и однолитровые пробы 1–4 раза в сутки в зависимости от режима стока. Пробы взяты следующим образом: до средней воды – с лодки на расстояние 4 м от берега, во время высокой воды – с моста в пролетах моста или затворов плотины, где турбулентность является максимальной (Борш, 1991). Среднегодовые величины концентрации наносов, определенные таким образом, хорошо согласуются между собой, хотя автор признает, что многоточечное взятие проб имело бы ряд преимуществ.

Венгрия

В створах главнейших водомерных постов ежегодно выполняется не менее 5 полных взятий взвешенных наносов через разные интервалы времени в зависимости от водного режима. Во время паводков осуществляется еще более частое внеочередное взятие проб. Взятие проб осуществляется 1-литровой бутылкой на 7 вертикалях по створам. На каждой вертикали берут по 10 проб. При этом точки взятия проб находятся друг от друга на равном расстоянии. Все пробы, взятые на одной вертикали сливаются вместе и определяется средняя величина мутности для 10-литровой пробы, что является характерной величиной мутности на данной вертикали.

Обработка проб: фильтрация, сушение и взвешивание сухого остатка производится таким же способом, как и в уже изложенной практике ФРГ.

Югославия

Около 25 лет взятие проб взвешенных наносов осуществляется электрическим насосом и при

Jugoslawien

Seit etwa 25 Jahren werden aus mehreren Lotrechten des jeweiligen Querschnittes und aus beliebiger Tiefe, Wasserproben mit Hilfe einer elektrischen Pumpe und eines biegsamen Rohres entnommen. Die Wasserprobe gelangt zunächst in einen Behälter und wird dann in Plastikgefäße umgefüllt. Die Strömungsgeschwindigkeit wird am Ort der Probenahme gleichzeitig gemessen. Vorübergehend für einige Jahre, unmittelbar vor der Verlegung des Meßquerschnittes, wurden die Proben aus der Nähe der Wasseroberfläche geschöpft, wie z. B. bei der Station Bezdan.

Rumänien

Der rumänische Hydrologische Dienst mißt den Abfluß, den Schwebstoff und das Geschiebe entsprechend, den Empfehlungen der Donaukommission jährlich sieben- bis achtmal zwischen März und Oktober während typischer Abflußsituationen. In den hydrometrischen Meßquerschnitten werden täglich 1-Liter-Proben aus der Nähe der Wasseroberfläche geschöpft. Die Beziehung zwischen der somit gemessenen punktmäßigen Schwebstoffkonzentration und der mittleren Querschnittskonzentration wird auf Grund der Ergebnisse von sieben bis acht, unter verschiedenen Abflußverhältnissen durchgeführten, sich jeweils auf den ganzen Querschnitt erstreckenden Serienmessungen ermittelt.

Bulgarien

Mit einem Flaschenbeprober wird – wie auch in manchen oben erwähnten anderen Ländern – je eine Probe pro Querschnitt entnommen, aus deren Konzentration die mittlere Konzentration des Querschnittes über einen im voraus bestimmen empirischen Koeffizienten berechnet wird. Dieses Verfahren ist weitverbreitet, da es zweifellos weit schneller ist, als z. B. die in Ungarn angewandte Probenahme aus 70 Punkten der 7 Lotrechten jedes Querschnittes.

Allgemein

Der Vorteil der Einpunktmethode liegt besonders während Hochwasserwellen auf der Hand, besonders wenn der Wasseranstieg sehr rasch ist. Bei der Anwendung der Einpunktmethode muß man aber besonders umsichtig sein, vor allem bei der Auswahl des Meßquerschnittes (ein unregelmäßiger Querschnitt an einer schlängelnden Flußstrecke eignet sich z. B. keineswegs für diese Methode). Das Verhältnis zwischen der Schwebstoffkonzentration im Meßpunkt und der mittleren Konzentration des Querschnittes muß über sehr sorgfältig und detailliert durchgeführte und von Zeit zu Zeit wiederholte Mehrpunktprobenahmen kontrolliert werden.

Falls an einer zwischen zwei Staaten liegenden Grenzflußstrecke beide Dienste die Methode der Einpunktbeprobung anwenden, ist es unbedingt erforderlich, daß die gemessenen Werte der Schwebstoffkonzentration – zwecks gemeinsamer Ermittlung (oder

помощи гибкого шланга на нескольких вертикалях поперечного сечения и в различных точках этих вертикалей. Вначале эти пробы заливаются в бак, откуда переливаются в пластиковую посуду. Скорость течения потока измеряется в местах взятия проб одновременно с их взятием. В течение нескольких лет пробы брались вблизи поверхности воды, как, например, у Бездана, до перенесения измерительного створа.

Румыния

Румынская Гидрологическая служба, согласно рекомендациям Дунайского Комитета, выполняет 7–8 раз в год измерения расходов воды, взвешенных и влекомых наносов в характерные периоды водного режима – март-апрель. На гидрометрических створах берут ежесуточно 1-литровые пробы взвешенных наносов, вблизи поверхности воды. Между величиной мутности воды, полученной таким образом, и средней по створу величиной мутности устанавливается связь на основании результатов подробных измерений, выполняемых 7–8 раз при различном режиме стока. В подробных измерениях взятие проб осуществляется по полному сечению створа.

Болгария

Как и во многих странах, в которых пробы берутся в одной точке с помощью бутылки, средняя величина мутности воды для створа рассчитывается при помощи переходного коэффициента, определяемого эмпирическим путем. Этот способ широко используется, потому что он выполняется быстро, несмоненно быстрее, чем многократное взятие проб на 7-и вертикалях в каждом створе, как это делается в Венгрии.

Общее примечание

Преимущество одноточечного способа особенно показательно во время высоких вод, и в первую очередь во время интенсивного подъема воды. Применение такого способа требует большого внимания при выборе места измерения (например, способ непригоден на извилистых участках реки, в поперечных сечениях неправильной формы), а переходный коэффициент необходимо контролировать при многоточечных измерениях, произведенных подробно и точно через определенные периоды.

Если две страны выполняют измерения взвешенных наносов на общем участке реки по одноточечному способу, желательно регулярно согласовывать данные измерений мутности, а также совместное определение или хотя бы сопоставление переходного коэффициента. Можно считать полностью справедливым желание болгарской стороны (письменное сообщение Гергова, 1992), чтобы придунайске страны согласовали и приборы, и способы взятия и лабораторной обработки проб. Это могло бы по-

zumindest eines Vergleiches) des erwähnten Umrechnungskoeffizienten – regelmäßig aufeinander abgestimmt werden. Um Abweichungen, wie sie bei dem Vergleich der an den einander gegenüber liegenden Stationen Zimnicea und Svistov voneinander unabhängig gemessenen Daten festgestellt wurden und sonstige ähnliche Schwierigkeiten zu vermeiden, sollte der bulgarischerseits geäußerte Wunsch (Gergov, 1992, persönliche Mitteilung)) berücksichtigt werden, die an der Donau liegenden Staaten ihre Instrumente, Probenahme- und Labormethoden für Feststoffmessung untereinander vereinheitlichen sollen.

мочь преодолеть такие проблемы, которые возникли, например, при сопоставлении данных измерений по станциям Зимнича и Свиштов.

2. GESCHIEBEREGIME DER DONAU VON 1956 BIS 1985

2. 1. Gang der jährlichen Geschiebefrachten

Die Anzahl der auf die Geschiebefracht bezogenen Daten ist wesentlich geringer als diejenige der Schwebstofffrachten, auch in den Staaten, in welchen beide Arten der Feststoffführung der Flüsse systematisch beprobt werden. Eine Ursache dafür ist, daß der Anteil des Geschiebes an der gesamten Feststoffführung in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle recht gering ist. Darüber hinaus ist die Beprobung des Geschiebes bekanntlich schwieriger (während Hochwasserperioden oft sogar völlig undurchführbar), die Probenahmegeräte weisen verschiedene konstruktionsbedingte Einflüsse auf, die Beprobung ist infolge des streifenartigen und zeitlich periodischen Charakters der Geschiebebewegung mit großen Unsicherheiten belastet usw. So ist es nur allzu verständlich, daß die Meßdaten des Geschiebes in der Regel weit mehr streuen als diejenigen des Schwebstoffes, also auch ihr Vergleich schwieriger und gewiß ungenauer ist. In den im oberen und mittleren Teil des Donaubeckens liegenden Staaten werden die systematischen Geschiebemessungen in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten nur noch sporadisch durchgeführt oder wurden sogar völlig eingestellt.

Die Informationen über den Wandel des Geschieberegimes der deutschen und österreichischen Donaustrecke können nicht den zugeschickten Fragebögen, sondern der Fachliteratur entnommen werden. In seiner 1965 veröffentlichten Studie schätzt Bauer die mittlere jährliche Geschiebefracht der Donau bei Kelheim (km 2414) mit 111.000 $t \cdot a^{-1}$ ab und meint, die oberhalb Regensburg noch zur Verfügung stehende Geschiebemenge reiche ab 1960 abhängig, vom Abflußregime, noch für weitere 10 bis 18 Jahre aus. Dies bedeutet, daß diese Reserve bis zum Ende der Untersuchungsperiode des vorliegenden Berichtes höchstwahrscheinlich völlig erschöpft wurde. Zum Vergleich seien noch, ebenfalls für das Jahr 1960, einige weitere Daten für die unterhalb Kelheim liegende Donaustrecke genannt:

Donauwörth (km 2509)	13.000 $t \cdot a^{-1}$
Ingolstadt (km 2459)	94.000 $t \cdot a^{-1}$
Straubing (km 2318)	81.000 $t \cdot a^{-1}$
Metten (km 2228)	72.000 $t \cdot a^{-1}$

Bauer befaßt sich eingehend auch mit den Auswirkungen der an der deutschen Donaustrecke errichteten Staustufen und der zu industriellen Zwecken durchgeführten Baggerungen. Seine hauptsächlichen Feststellungen werden im folgenden Kapitel 2. 2 zusammengefaßt.

Die Geschiebeführung der österreichischen Donaustrecke wurde durch Schmutterer (1961) mit folgenden Daten charakterisiert:

Jochenstein (km 2205)	540.000 $t \cdot a^{-1}$
Ybbs-Persenbeug (km 2060)	822.000 $t \cdot a^{-1}$
Bad Deutsch-Altenburg (km 1887)	1,080.000 $t \cdot a^{-1}$

2. РЕЖИМ ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ Р. ДУНАЙ В ПЕРИОД 1956–1985 ГГ.

2. 1. Изменение годового объема влекомых наносов

Данных наблюдения по влекомым наносам значительно меньше, чем по взвешенным даже и в таких странах, которые регулярно берут пробы по обоим видам наносов. Одной из причин этого является то, что пропорция влекомых наносов в суммарном количестве наносов в большинстве случаев незначительна. Кроме этого, хорошо известно, что взятие проб влекомых наносов более трудно, а во время высоких вод, возможно, и невыполнимо, при этом приборы для взятия проб имеют ряд конструктивных ошибок. К тому же взятие проб является неопределенным вследствие полосного движения влекомых наносов, а также периодического его изменения во времени. Поэтому и понятно, что разброс данных наблюдений, как правило, является более значительным, чем разброс взвешенных наносов, и таким образом, и их сглаживание является более трудным и неточным. Измерения влекомых наносов, в первую очередь в странах верхнего и среднего участков Дуная 2–3 десятилетия тому назад стали нерегулярными или вообще прекратились.

По режиму влекомых наносов на немецком и австрийском участках Дуная имеющеся в нашем распоряжении данные были не из высланных анкет, а из разных литературных источников. В докладе Бауэра, изданном в 1965 г., среднегодовой объем влекомых наносов Дуная оценивается в 111 000 т/год у Кельхейма, расположенного на середине немецкого участка реки (2414 км). По мнению Бауэра количество наносов выше Регенсбурга достаточно, начиная с 1960 года, еще на 10 –18 лет, в зависимости от режима расхода воды. Это значит, что эти запасы, с большой вероятностью, полностью истощились к концу исследуемого периода. Для сравнения приведем еще несколько данных для участков выше и ниже Келхейма, а также для 1960 года.

Донауверт (2509 км) – 13 000 т/год,
Ингольштадт (2459 км) – 94 000 т/год,
Штраубунг (2318 км) – 81 000 т/год,
Меттен (2288 км) – 72 000 т/год.

Автор подробно занимается вопросами влияния плотин, созданных на немецком участке р. Дунай, а также выполняемыми здесь промышленными добычами. Главнейшие выводы приведены в следующей главе.

Сток влекомых наносов на австрийском участке Дуная характеризуется Шмуттерерым (1961) следующими данными:

Иохенштеий (2205 км) – 540 000 т/год,
Иббс-Персенбейг (2060 км) – 822 000 т/год,
Бад Дайч-Альтенбург (1887 км) – 1 080 000 т/год.

Rechnet man mit einer Dichte von 1,8 t · m^{-3}, entsprechen dem letzteren Wert 600.000 m^3 · a^{-1}. Seinerzeit kam also diese Geschiebemenge am oberen Ende des gemeinsamen tschechoslowakisch-ungarischen Donauabschnittes an, doch hat sich davon dann, entlang der ersten 50 bis 60 km, mehr als die Hälfte abgesetzt. Laut Bogárdis Schätzung (1971) lag die jährliche Geschiebefracht bei Dunaremete (km 1825) nur bei 100.000 t a^{-1}. Es kann festgestellt werden, daß an der durch ein vergleichsweise großes Gefälle gekennzeichneten deutschen und österreichischen Donaustrecke der Anteil des Geschiebes an der gesamten Feststoffführung (20 bis 30%) verhältnismäßig groß war. Heute kann die den unteren österreichischen Grenzquerschnitt überschreitende Geschiebefracht kaum geschätzt werden, weil sich die Bedingungen für die Ablagerung entlang der erwähnten gemeinsamen tschechoslowakisch-ungarischen Strekke grundlegend verändert haben.

Unterhalb des etwa bei Stromkilometer 1810 vorhandenen plötzlichen Gefällebruches nimmt die Geschiebetransportfähigkeit der Donau dermaßen ab, daß die jährlichen Geschiebefrachten im Querschnitt Nagymaros während der 30jährigen Untersuchungsperiode i. allg. zwischen 6.000 und 10.000 t · a^{-1} lagen, in Trockenjahren bis auf 3.000 t · a^{-1} sanken und auch in den besonders feuchten Jahren kaum 20.000 t · a^{-1} erreichten. Hier erreicht also die Geschiebefracht oft nicht einmal 1% der Schwebstofffracht. Eine mäßige Zunahme der Geschiebefrachten ist an der überwiegend in Sand gebetteten Donaustrecke in der Umgebung von Mohács zu verzeichnen, wo das Minimum bei 9.000 t · a^{-1}, der Mittelwert bei 15.000 t · a^{-1} und der – in den beiden niederschlagsreichsten Jahren erreichte – Höchstwert bei 28.000 t · a^{-1} lag.

Über die Geschiebeführung der unteren Donau hat Rumänien Daten zur Verfügung gestellt. Laut dieser Mitteilung wird das Geschiebe ab 1970 an den folgenden vier Meßstationen gemessen:

	Minimum	Mittelwert	Maximum
	der jährlichen Geschiebefracht		
	10^3 t · a^{-1}		
Orşova	–	88	209
Zimnicea	112	493	1353
Vadu Oii	54	141	358
Ceatal Izmail	17	73	279

Die geringen Geschiebefrachten bei Orşova weisen auf die Rückstauwirkung der Staustufe Eisernes Tor I hin, während die bei Vadu Oii und Ceatal Izmail gefundene weitere Abnahme auf die – auch anhand der Schwebstoffdaten nachweisbaren – Ablagerung im durch Inseln aufgeteilten Stromabschnitt oberhalb des Deltas sowie auf das in der Nähe der Mündung reduzierte Gefälle bzw. auf die somit verminderte Schleppkraft des Flusses zurückzuführen ist.

Это последнее, принимая объемный вес щебня равным 1. 8 т/куб. м, соответствует 600 000 куб. м. Этот объем наносов поступал когда-то на чехословацко-венгерский участок реки, а здесь на первом 50–60 километровом участке более половины отложилось. Годовой объем влекомых наносов был оценен Богарди (1971) у Дунаремете (1825 км) лишь в 100 000 куб. м. Можно высказать, что доля влекомых наносов в суммаром объеме наносов на немецком и австрийском участках с относительно большими уклонами является больше чем обычно (20–30%). В настоящее время годовой объем влекомых наносов на границе с Австрией оценивается лишь в 200 000 куб. м/год или 360 000 т/год и также значительно изменились условия отложения на вышеупомянутом чехословацко-венгерском участке, являющимся переходным с точки зрения транспортирующей способности.

Вследствие быстрого уменьшения уклона в районе 1810 км настолько уменьшается транспортирующая способность влекомых наносов р. Дунай, что величина их колебалась за 30-тилетний период наблюдений в пределах 6000–10 000 т/год, а в сухие годы снижалась до 3000 т/год и только в очень дождливые годы повышалась до 20 000 т/год. Здесь годовой объем влекомых наносов часто не достигает даже 1% объема взвешенных наносов. Умеренный рост наблюдается на участке вблизи Мохача, где русло, как правило, сложено песком, где минимальная величина составляет 9000 т/год, средняя величина – 15 000 т/год, и в двух наиболее дождливых годах максимальная величина влекомых наносов составила 28 000 т/год.

Для нижнедунайского участка данные были предоставлены лишь Румынией. Согласно полученным данным влекомые наносы измеряются с 1970 года на 4-х станциях:

	Влекомые наносы		
	минимальные	средние (за год)	максимальные
	10^3 т/год		
Оршова	–	88	209
Зимнича	112	493	1353
Вадул Ой	54	141	358
Чатал Измаил	17	73	279

Малые величины влекомых наносов у станции Оршова указывают на влияние подпора плотины Железные Ворота I, а снижение наносов у Вадул Ой и Чатал Измаил является следствием уменьшения уклона и транспортирующей способности на участке выше дельты, расчлененном островами, а также близости устья, что вызывает отложение наносов.

2. 2. Anthropogene Einflüsse auf das Geschieberegime

Die Staustufen und die industriellen Baggerungen großen Ausmaßes wirken sich stärker auf das Geschieberegime als auf das Schwebstoffregime aus. Die ganze von oben anlangende Geschiebemenge kommt in der Umgebung der Stauwurzeln zum Stillstand und häuft sich an. Demgegenüber setzt sich nur 30 bis 40% der Schwebstofffracht ab. Das Entstehen von Baggergruben kann nicht genau berechnet werden. Sie haben eine zwar vorübergehende, aber doch mannigfaltige Auswirkung auf die Geschiebebewegung. Einerseits wird nämlich infolge der Beseitigung der aus gröberen Material bestehenden, eventuell bereits konsolidierten und widerstandsfähigen natürlichen Flußbettpanzerung oft ein großes Volumen von bislang stabil eingebettetem feinem Material freigelegt und in Bewegung gesetzt. Andererseits werden durch die größeren und tieferen Baggergruben bzw. durch die von denselben bewirkten lokalen Gefälleerhöhungen sich stromaufwärts weit auswirkende Auskolkungen und Umstrukturierungsprozesse des Strombettes ausgelöst. Letztgenannter Prozeß dauert solange, bis die Baggergrube mit Schwebstoff, besonders aber mit Geschiebe soweit wieder gefüllt wird, daß ihre lokale Wirkung praktisch aufhört. Im häufig vorkommenden Fall, das das jährliche Volumen des gebaggerten Materials bei dem Mehrfachen des jährlichen Feststoffnachschubs liegt (Überbaggerung), kann der erwähnte Prozeß recht lange dauern, falls die einzige oder hauptsächliche Quelle der Wiederauffüllung das Flußbettmaterial der oberhalb der Baggergrube befindlichen Flußstrecke ist.

In seinem bereits zitierten Werk analysiert Bauer (1965) ausführlich die Auswirkungen der vor 1960 errichteten Staustufen und durchgeführten bedeutenderen Baggerungen, infolge deren die Geschiebeführung der deutschen Donaustrecke drastisch abgenommen hat. Im Stauraum der 1952 errichteten Staustufe Böfinger Halde (km 2582) hat sich im Durchschnitt eine jährliche Geschiebemenge von 19.000 $m^3 \cdot a^{-1}$ ($\cong$ 34.000 $t \cdot a^{-1}$) abgelagert. An der deutschen Donaustrecke wurden, nach einem 1894 begonnenen und seitdem stark reduzierten Baggerungsprogramm, im Jahre 1960 noch immer 140.000 bis 150.000 $m^3 \cdot a^{-1}$ (etwa 250.000 bis 270.000 $t \cdot a^{-1}$) gebaggert.

Was die Geschiebeführung der Zubringer der deutschen Donaustrecke angeht, so ging die ursprünglich im Mittel bei 54.000 $t \cdot a^{-1}$ liegende Geschiebefracht der Iller bis 1952 auf die Hälfte zurück und ging dann infolge der Inbetriebnahme der Staustufe Böfinger Halde praktisch auf Null zurück. Auch die ursprüngliche Geschiebefracht von 180.000 $t \cdot a^{-1}$ des Lech hat sich zunächst halbiert und hörte um 1960 praktisch auf. Die ursprüngliche Geschiebefracht von 172.000 $t \cdot a^{-1}$ der Isar hat sich bis 1960 nur in geringem Maße auf 160.000 $t \cdot a^{-1}$ gemindert, doch liegt ihr Wert heute schon bei 90.000 $t \cdot a^{-1}$ und wird nach dem Ausbau der Staustufen ihres unteren Abschnittes wahrscheinlich ebenfalls völlig aufhören. Der Inn hat bis zur Errichtung seiner ersten Staustufe im Durchschnitt eine

2.2. Антропогенное влияние на режим влекомых наносов

Плотины и промышленная добыча в больших объемах оказывает влияние на движение влекомых наносов в большей степени, чем на движение взвешенных наносов. Влекомые наносы, приходящие сверху, полностью осаждаются и накапливаются в районах подпора, то-есть их осаждается не 30–40%, как в случае взвешенных наносов. Создание ям при выемке руслового материала оказывает неточно расчитываемое, периодическое, но многостроннее влияние в первую очередь на движение влекомых наносов. Во-первых, с удалением весьма устойчивого и установившегося естественного покрытия дна русла, состоящего из крупного песка, освобождается большой объем более мелких фракций, которые начинают двигаться. Во-вторых, крупные и глубокие ямы вызывают местные уменьшения уклона вследствие отсасывающего влияния на горизонт воды, что приводит к размыву русла в продольном направлении и вверх по течению, а также к переформированию русла. Этот процесс не прекратится до тех пор, пока ямы выемок не заполнятся взвешенными и влекомыми наносами до той степени, когда влияние депресси не станет пренебрегаемым. В тех частых случаях, когда годовое количество добытых наносов в несколько раз превышает объем приносимых наносов (т. е. имеется передобыча), то этот процесс может длиться долго, поскольку единственным или главным источником заполнения ям является лишь размываемый материал выше ямы.

Бауэр подробно анализирует в своем, уже упомянутом докладе влияние плотин, построенных до 1960 года, а также большого объема добычи гравия, вследствие которых весьма существенно снизился сток наносов на немецком участке Дуная. В водохранилище плотины Бофингэр Халде (2582 км), созданной за 8 лет до составления доклада, ежегодная осадка влекомых наносов составила в среднем 19 000 куб. м/год или 34 000 т/год. Согласно программе уменьшения темпа добычи, начавшейся в 1894 гг., в настоящее время интенсивность добычи заметно уменьшилась, хотя в 1960 году еще 140–150 тыс. куб. м, то-есть 250 000–270 000 т/год щебня было изъято на немецком участке реки.

Что касается стока влекомых наносов на притоках немецкого участка реки Дунай, то среднегодовой объем наносов р. Иллер, который вначале составил 54 000 т/год, снизился на половину к 1952 году, а после сдачи в эксплуатацию плотины у Бофингэр Халдэ практически прекратился. Объем наносов р. Лех, который составил 180 000 т/год, сперва уменьшился до половины, а в 1960 году также прекратился. Объем влекомых наносов р. Изар, равный 172 000 т/год, в 1960 году только мало уменьшился (160 000 т/год), а в настоящее время его величина только 90 000 т/год и нет сомнений, что после построе-

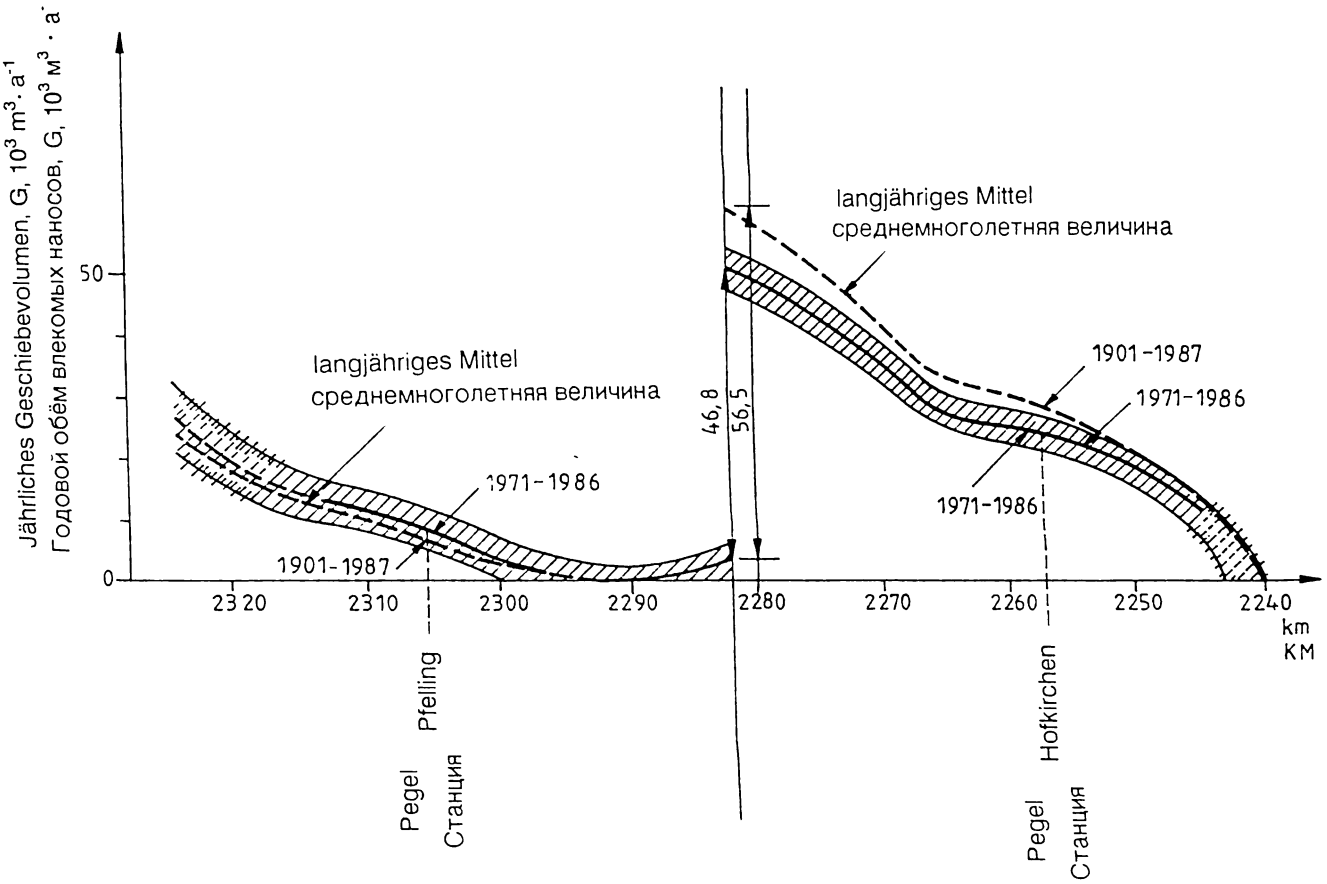


Bild 23. Ganglinie des jährlichen Geschiebevolumen an der deutschen Donaustrecke (nach Angaben der Bundesanstalt für Wasserbau)

Рис. 23. Изменение годового объема влекомых наносов на немецком участке р. Дунай (по данным Федерального ведомства по гидротехническому строительству)

mittlere Geschiebefracht von 540.000 $t \cdot a^{-1}$ der Donau zugeführt. Bis 1960 wurde dieser Wert auf 180.000 $t \cdot a^{-1}$ herabgesetzt und ging dann auf Null zurück.

Die gegenwärtige Lage kann am besten mit dem nachstehenden Zitat aus dem Brief des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft vom März 1991 gekennzeichnet werden:

Seit 1965 wurde der Ausbau der Donau und ihrer Zuflüsse mit Staustufen fortgesetzt, so daß Ausbaulücken derzeit nur noch zwischen den Donaustufen Donauwörth (km 2511,9) und Bertoldsheim (km 2490,2), Vohburg (km 2444, im Bau) und Bad Abbach (km 2401,6) sowie Straubing (km 2324, im Bau) und Kachlet (km 2230,5) bestehen.

Da der Geschiebetransport durch die oberliegenden Staustufen unterbunden ist, kann der derzeit in den freien Fließstrecken noch vorhandene Restgeschiebetransport nur durch Sohlerosion entstehen. Die Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, hat 1989 im Rahmen einer flußmorphologischen Untersuchung der Donau im Abschnitt Straubing–Vilshofen Geschiebetransportmessungen durchgeführt, deren Ergebnis im Geschiebefrachtlängsschnitt (Bild 23) verarbeitet ist. Im Bild sind dargestellt das Mittel der Jahre 1971–1986 und das extrapolierte langjährige Mittel (Jahresreihe 1901–1987) konstruiert durch Abgleich verschiedener Methoden zur Geschiebebilanz mit Sohlhöhenänderungen, Baggerungen und Abrieb sowie Geschiebe–Abfluß–Relationen aus Geschiebetransportmessungen an den Pegeln Plattния плотины на нижнем участке реки образование наносов полностью прекратится. Перед строительством первой плотины р. Инн выносил в Дунай в среднем 540 000 т/год влекомых наносов. Эта величина в 1960 году составила лишь 180 000 т/год, а потом полностью прекратилась.

Для характеристики существующего положения наиболее показательным является письмо Баварского земельного ведомства водного хозяйства от марта 1991 г.

С 1965 г. на Дунае и его притоках продолжается строительство плотин, так что в настоящее время незарегулированные участки сохраняются лишь между подпорными ступенями Донауверте (2511.9 км) и Бертольдсхеймом (2490.2 км), Бохбургом (2444 км, строящаяся) и Бад Абахом (2401.6 км), также как и между Штраубингом (2324 км, строящаяся) и Кахлетом (2230.5 км).

Среднее значение за 1971–1986 гг. и среднее приведенное к периоду 1901–1987 с учетом различных методов расчета баланса наносов основанных на оценке изменения дна русла, землечерпательных работ, отмыва и связей между транспортом влекомых наносов и расходом воды изходящих из результатов измерений в створах г. Платинг-р. Изар; г. Пфелинг-р. Дунай и г. Хофкирхен-р. Дунай.

Поскольку транспорт наносов через вышерасположенные плотины затруднен, то существующее поступление наносов на незарегулированных участках рек происходит только за счет

2. 2. *Anthropogene Einflüsse auf das Geschieberegime*

Die Staustufen und die industriellen Baggerungen großen Ausmaßes wirken sich stärker auf das Geschieberegime als auf das Schwebstoffregime aus. Die ganze von oben anlangende Geschiebemenge kommt in der Umgebung der Stauwurzeln zum Stillstand und häuft sich an. Demgegenüber setzt sich nur 30 bis 40% der Schwebstofffracht ab. Das Entstehen von Baggergruben kann nicht genau berechnet werden. Sie haben eine zwar vorübergehende, aber doch mannigfaltige Auswirkung auf die Geschiebebewegung. Einerseits wird nämlich infolge der Beseitigung der aus gröberen Material bestehenden, eventuell bereits konsolidierten und widerstandsfähigen natürlichen Flußbettpanzerung oft ein großes Volumen von bislang stabil eingebettetem feinem Material freigelegt und in Bewegung gesetzt. Andererseits werden durch die größeren und tieferen Baggergruben bzw. durch die von denselben bewirkten lokalen Gefälleerhöhungen sich stromaufwärts weit auswirkende Auskolkungen und Umstrukturierungsprozesse des Strombettes ausgelöst. Letztgenannter Prozeß dauert solange, bis die Baggergrube mit Schwebstoff, besonders aber mit Geschiebe soweit wieder gefüllt wird, daß ihre lokale Wirkung praktisch aufhört. Im häufig vorkommenden Fall, das das jährliche Volumen des gebaggerten Materials bei dem Mehrfachen des jährlichen Feststoffnachschubs liegt (Überbaggerung), kann der erwähnte Prozeß recht lange dauern, falls die einzige oder hauptsächliche Quelle der Wiederauffüllung das Flußbettmaterial der oberhalb der Baggergrube befindlichen Flußstrecke ist.

In seinem bereits zitierten Werk analysiert Bauer (1965) ausführlich die Auswirkungen der vor 1960 errichteten Staustufen und durchgeführten bedeutenderen Baggerungen, infolge deren die Geschiebeführung der deutschen Donaustrecke drastisch abgenommen hat. Im Stauraum der 1952 errichteten Staustufe Böfinger Halde (km 2582) hat sich im Durchschnitt eine jährliche Geschiebemenge von 19.000 $m^3 \cdot a^{-1}$ ($\cong$ 34.000 $t \cdot a^{-1}$) abgelagert. An der deutschen Donaustrecke wurden, nach einem 1894 begonnenen und seitdem stark reduzierten Baggerungsprogramm, im Jahre 1960 noch immer 140.000 bis 150.000 $m^3 \cdot a^{-1}$ (etwa 250.000 bis 270.000 $t \cdot a^{-1}$) gebaggert.

Was die Geschiebeführung der Zubringer der deutschen Donaustrecke angeht, so ging die ursprünglich im Mittel bei 54.000 $t \cdot a^{-1}$ liegende Geschiebefracht der Iller bis 1952 auf die Hälfte zurück und ging dann infolge der Inbetriebnahme der Staustufe Böfinger Halde praktisch auf Null zurück. Auch die ursprüngliche Geschiebefracht von 180.000 $t \cdot a^{-1}$ des Lech hat sich zunächst halbiert und hörte um 1960 praktisch auf. Die ursprüngliche Geschiebefracht von 172.000 $t \cdot a^{-1}$ der Isar hat sich bis 1960 nur in geringem Maße auf 160.000 $t \cdot a^{-1}$ gemindert, doch liegt ihr Wert heute schon bei 90.000 $t \cdot a^{-1}$ und wird nach dem Ausbau der Staustufen ihres unteren Abschnittes wahrscheinlich ebenfalls völlig aufhören. Der Inn hat bis zur Errichtung seiner ersten Staustufe im Durchschnitt eine

2.2. *Антропогенное влияние на режим влекомых наносов*

Плотины и промышленная добыча в больших объемах оказывает влияние на движение влекомых наносов в большей степени, чем на движение взвешенных наносов. Влекомые наносы, приходящие сверху, полностью осаждаются и накапливаются в районах подпора, то-есть их осаждается не 30–40%, как в случае взвешенных наносов. Создание ям при выемке руслового материала оказывает неточно расчитываемое, периодическое, но многостроннее влияние в первую очередь на движение влекомых наносов. Во-первых, с удалением весьма устойчивого и установившегося естественного покрытия дна русла, состоящего из крупного песка, освобождается большой объем более мелких фракций, которые начинают двигаться. Во-вторых, крупные и глубокие ямы вызывают местные уменьшения уклона вследствие отсасывающего влияния на горизонт воды, что приводит к размыву русла в продольном направлении и вверх по течению, а также к переформированию русла. Этот процесс не прекратится до тех пор, пока ямы выемок не заполнятся взвешенными и влекомыми наносами до той степени, когда влияние депресси не станет пренебрегаемым. В тех частых случаях, когда годовое количество добытых наносов в несколько раз превышает объем приносимых наносов (т. е. имеется передобыча), то этот процесс может длиться долго, поскольку единственным или главным источником заполнения ям является лишь размываемый материал выше ямы.

Бауэр подробно анализирует в своем, уже упомянутом докладе влияние плотин, построенных до 1960 года, а также большого объема добычи гравия, вследствие которых весьма существенно снизился сток наносов на немецком участке Дуная. В водохранилище плотины Бофингэр Халде (2582 км), созданной за 8 лет до составления доклада, ежегодная осадка влекомых наносов составила в среднем 19 000 куб. м/год или 34 000 т/год. Согласно программе уменьшения темпа добычи, начавшейся в 1894 гг., в настоящее время интенсивность добычи заметно уменьшилась, хотя в 1960 году еще 140–150 тыс. куб. м, то-есть 250 000–270 000 т/год щебня было изъято на немецком участке реки.

Что касается стока влекомых наносов на притоках немецкого участка реки Дунай, то среднегодовой объем наносов р. Иллер, который вначале составил 54 000 т/год, снизился на половину к 1952 году, а после сдачи в эксплуатацию плотины у Бофингэр Халдэ практически прекратился. Объем наносов р. Лех, который составил 180 000 т/год, сперва уменьшился до половины, а в 1960 году также прекратился. Объем влекомых наносов р. Изар, равный 172 000 т/год, в 1960 году только мало уменьшился (160 000 т/год), а в настоящее время его величина только 90 000 т/год и нет сомнений, что после построе-

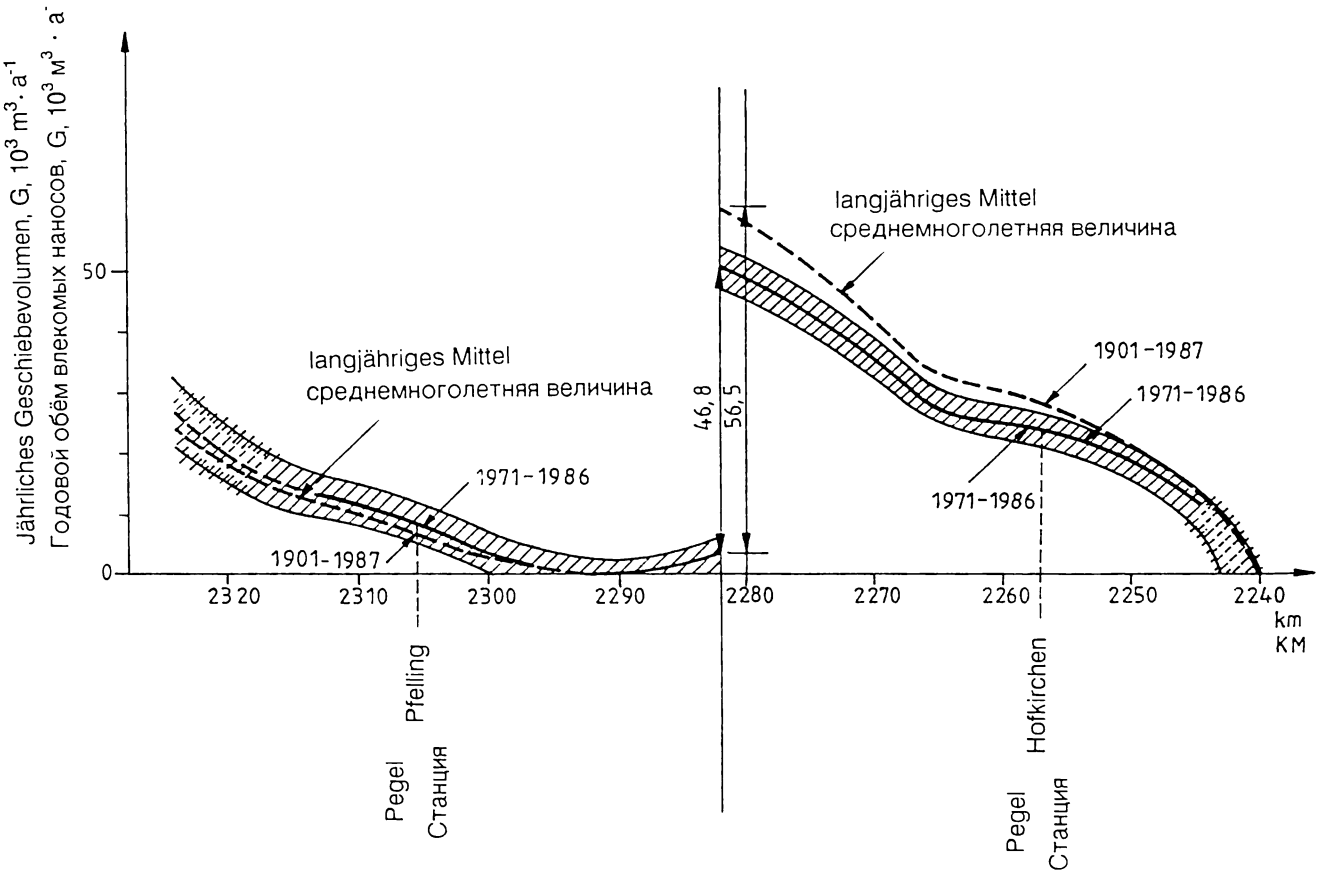


Bild 23. Ganglinie des jährlichen Geschiebevolumen an der deutschen Donaustrecke (nach Angaben der Bundesanstalt für Wasserbau)

Рис. 23. Изменение годового объема влекомых наносов на немецком участке р. Дунай (по данным Федерального ведомства по гидротехническому строительству)

mittlere Geschiebefracht von 540.000 $t \cdot a^{-1}$ der Donau zugeführt. Bis 1960 wurde dieser Wert auf 180.000 $t \cdot a^{-1}$ herabgesetzt und ging dann auf Null zurück.

Die gegenwärtige Lage kann am besten mit dem nachstehenden Zitat aus dem Brief des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft vom März 1991 gekennzeichnet werden:

Seit 1965 wurde der Ausbau der Donau und ihrer Zuflüsse mit Staustufen fortgesetzt, so daß Ausbaulücken derzeit nur noch zwischen den Donaustufen Donauwörth (km 2511,9) und Bertoldsheim (km 2490,2), Vohburg (km 2444, im Bau) und Bad Abbach (km 2401,6) sowie Straubing (km 2324, im Bau) und Kachlet (km 2230,5) bestehen.

Da der Geschiebetransport durch die oberliegenden Staustufen unterbunden ist, kann der derzeit in den freien Fließstrecken noch vorhandene Restgeschiebetransport nur durch Sohlerosion entstehen. Die Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, hat 1989 im Rahmen einer flußmorphologischen Untersuchung der Donau im Abschnitt Straubing–Vilshofen Geschiebetransportmessungen durchgeführt, deren Ergebnis im Geschiebefrachtlängsschnitt (Bild 23) verarbeitet ist. Im Bild sind dargestellt das Mittel der Jahre 1971–1986 und das extrapolierte langjährige Mittel (Jahresreihe 1901–1987) konstruiert durch Abgleich verschiedener Methoden zur Geschiebebilanz mit Sohlhöhenänderungen, Baggerungen und Abrieb sowie Geschiebe–Abfluß–Relationen aus Geschiebetransportmessungen an den Pegeln Plattния плотины на нижнем участке реки образование наносов полностью прекратится. Перед строительством первой плотины р. Инн выносил в Дунай в среднем 540 000 т/год влекомых наносов. Эта величина в 1960 году составила лишь 180 000 т/год, а потом полностью прекратилась.

Для характеристики существующего положения наиболее показательным является письмо Баварского земельного ведомства водного хозяйства от марта 1991 г.

С 1965 г. на Дунае и его притоках продолжается строительство плотин, так что в настоящее время незарегулированные участки сохраняются лишь между подпорными ступенями Донауверте (2511.9 км) и Бертольдсхеймом (2490.2 км), Бохбургом (2444 км, строящаяся) и Бад Абахом (2401.6 км), также как и между Штраубингом (2324 км, строящаяся) и Кахлетом (2230.5 км).

Среднее значение за 1971–1986 гг. и среднее приведенное к периоду 1901–1987 с учетом различных методов расчета баланса наносов основанных на оценке изменения дна русла, землечерпательных работ, отмыва и связей между транспортом влекомых наносов и расходом воды изходящих из результатов измерений в створах г. Платинг-р. Изар; г. Пфелинг-р. Дунай и г. Хофкирхен-р. Дунай.

Поскольку транспорт наносов через вышерасположенные плотины затруднен, то существующее поступление наносов на незарегулированных участках рек происходит только за счет

ling/Isar, Pfelling und Hofkirchen/Donau. Zu diesem Längsschnitt ist zu bemerken, daß die derzeit von der Isar noch ankommende Geschiebefracht mit rd. 50.000 $m^3 \cdot a^{-1}$ im Verlauf der weiteren Sohlstützungsmaßnahmen an der unteren Isar (Staustufen, Sohlschwellen) in wenigen Jahren auf Null zurückgehen wird.

Der Geschiebezulauf aus den sonstigen wichtigeren alpinen Zubringern der Donau beträgt:

Iller: 12 000 $m^3 \cdot a^{-1}$ (1965/87)

Lech: 0 (Staustufenausbau bis zur Mündung)

Inn: 0 (Staustufenausbau bis zur Mündung)."

Das im Inn transportierte Geschiebe wird an den Geschiebeeintragestellen durch Baggerungen vollständig entfernt. Diese Baggerungen erfolgen am oberen Inn an der jeweiligen Kopfstufe, zur Zeit Nußdorf, sowie weiter unterstrom an der Alzmündung und in der Salzach im Stauwurzelbereich der Stufe Braunau-Simbach. Im staugeregelten Inn wird daher kein Geschiebe durch die Staustufenkette transportiert.

Wie bei Hack (1985, 1989) beschrieben sind Auflandung und Abtrag von Feststoffen in den Stauräumen des Inn weitgehend ausgeglichen, d. h. sie befinden sich etwa in einem morphologischen Gleichgewichtszustand. Eine weitere Verlandung findet im wesentlichen nicht mehr statt.

Im Zusammenhang mit der Geschieberückhaltwirkung der österreichischen Donaustaustufen haben Kobilka und Hauck (1982) die Auflandung des Stauraumes der Staustufe Ybbs-Persenbeug untersucht, wobei sie für die auf die Inbetriebsetzung folgenden ersten vier Jahre die Ablagerung einer Geschiebemenge von 1.440.000 t nachgewiesen haben. Oberhalb der 1968 in Betrieb genommenen Staustufe Wallsee-Mitterkirchen befand sich bis 1973 eine 44 km lange, von 1973 bis 1979 eine 28 km lange freie Stromstrecke, so daß das aus diesem Strombett ausgewaschene Geschiebe an der Stauwurzel aufgehalten wurde. In den Hochwasserjahren 1970 und 1975 haben sich hier beträchtliche Geschiebemengen abgelagert (540.000 bzw. 720.000 $t \cdot a^{-1}$). Das abgesetzte Kiesmaterial wurde bei beiden erwähnten Staustufen fast völlig ausgebaggert.

An der gemeinsamen tschechoslowakisch-ungarischen und an der ungarischen Donaustrecke wurden ab 1968 Baggerungen durchgeführt, deren ausgehobenes Volumen das Mehrfache des natürlichen jährlichen Geschiebenachschubs ausmachte. Ein teilweises und dann ein vollständiges Baggerungsverbot wurde erst Ende der 70er Jahre für die Donaustrecke zwischen Nagymaros und Budapest erlassen. Danach ging die zwischen km 1708 und km 1560 im Jahre 1975 gebaggerte Menge von 4,7 Mio $m^3 \cdot a^{-1}$ ($\cong$ 8,5 Mio $t \cdot a^{-1}$) um 80% zurück. An der oberhalb Nagymaros liegenden, gemeinsamen tschechoslowakisch-ungarischen Donaustrecke lag das Volumen des gebaggerten Materials in manchen Jahren sogar über 1,0 Mio $m^3 \cdot a^{-1}$. Die verhältnismäßig niedrigen Geschiebefrachten im Querschnitt Nagymaros sind wahrscheinlich auch auf die Tatsache zurückzuführen, daß ein beträchtlicher Teil des oberhalb dieses Querschnittes entstandenen Geschiebes in den Baggergruben der gemeinsamen Strecke hängen blieb.

эрозии почв. Федеральное учреждение по гидротехническому строительству в Карсруэ проводило в 1989 г. в рамках морфологических исследований русла Дуная измерения транспорта влекомых наносов на участке Штраубинг-Вильшофен, результаты которых представлены на рис. 23. Из этого продольного разреза заметно, что поступающий тогда с Изара объем влекомых наносов порядка 50 000 $м^3$/год в ходе дальнейших мероприятий по укреплению дна на нижнем участке Изара (подпорные сооружения, донные пороги) за несколько лет снизился до нуля.

Приток наносов из других крупных альпийских притоков Дуная составляет:

Иллер: 12 000 $м^3$/год (1965–1987 гг.),

Лех: 0 (постройка плотины выше устья),

Инн: 0 (постройка плотины выше устья)".

Транспортируемые Инном влекомые наносы в местах их отложения полностью удаляются путем землечерпания. Эти землечерпания проводятся на верхнем участке Инна в головном подпорном сооружении вблизи Нусдорфа, а также ниже по течению у устья Альца и на Зальцахе в подпорном сооружении Браунау-Симбах. На зарегулированных участках Инна никаких влекомых наносов через цепь подпорных сооруженнй не переносится.

Как пишет Хак (1985, 1989), отложение наносов и смыв твердых наносов в водохранилищах на Инне значительно уравновешиваются, т. е. они находятся почти в состоянии морфологического равновесия. Дальнейшее заиление является весьма несущественным.

С целью определения влияния австрийских плотин на задержание влекомых наносов Кобилка и Хаук изучили процесс заполнения приплотинных водохранилищ Иббс-Персенбайг, и согласно их исследованиям количество влекомых наносов составило 1 440 00 т/год за первые четыре года после пуска в эксплуатацию плотины. Выше плотины Валлзее-Миттеркирхэн, сданной в эксплуатацию в 1968 году, длина участка, на котором влияние подпора плотины не было ощутимым, составило до 1973 года 44 км, а с 1973 до 1979 года – лишь 28 км. Влекомые наносы, образовавшиеся на данном участке, были задержаны верхней частью водохранилища. В многоводные годы (1970, 1975) здесь осаждалось количество наносов: 540 000 и 720 000 тони. Это количество щебня почти полностью выработали в обоих упомянутых водохранилищах.

На общем чехословацко-венгерском участке и на венгерском участке Дуная с 1968 года велась добыча, годовой объем которой многократно превышал годовой объем естественного возобновления влекомых наносов. Частичный, а потом и полный запрет добычи был введен на участке Надьмарош–Будапешт только в конце 70-ых годов. После этого объем материала, добытого на участке между 1708 и 1560 км, составил всего 20% от объема добычи в 1975 году (равного 4,7 млн. куб. м или 8,5 млн. тони). Выше Надьма-

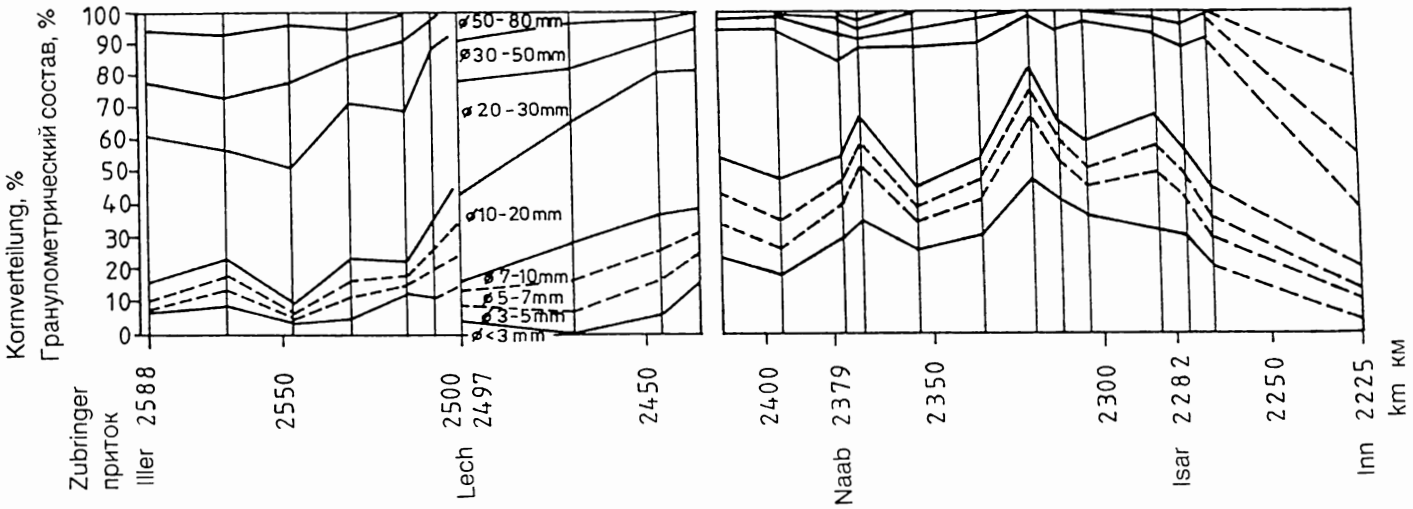


Bild 24. Veränderung der Kornverteilung des Geschiebes an der deutschen Donaustrecke (nach Bauer 1965)

Рис. 24. Изменение гранулометрического состава руслового материала на немецком участке р. Дунай (по Бауэру 1965)

Petschinova (1988) weist darauf hin, daß die sieben wichtigeren Zubringer des bulgarischen Teiles des Donaubeckens insgesamt eine jährliche Abflußsumme von $5{,}92 \cdot 10^9$ m$^3 \cdot$ a^{-1} der Donau zuführen und dadurch ihren Durchfluß um etwa 3% erhöhen. Vor dem Ausbau ihrer Staustufen haben diese Zubringer jährlich eine Geschiebemenge von $5{,}1 \cdot 10^6$ t $\cdot$ a^{-1} (mit einer durchschnittlichen Fracht von 162 kg $\cdot$ s^{-1}) gefördert. Bis heute haben sich diese Werte auf $1{,}8 \cdot 10^6$ m$^3 \cdot$ a^{-1} bzw. 56 kg $\cdot$ s^{-1} reduziert. Die Geschiebeförderung hat wahrscheinlich deshalb nicht vollständig aufgehört, weil an den Flußstrecken unterhalb der untersten Staustufen auch weiterhin noch etwa ein Drittel der früheren Geschiebemenge produziert wird. Von den sieben Nebenflüssen ist der Beitrag der Isker und der Jantra am größten. Diese beiden Flüsse fördern z. Z. mehr als die Hälfte der gesamten Geschiebemenge.

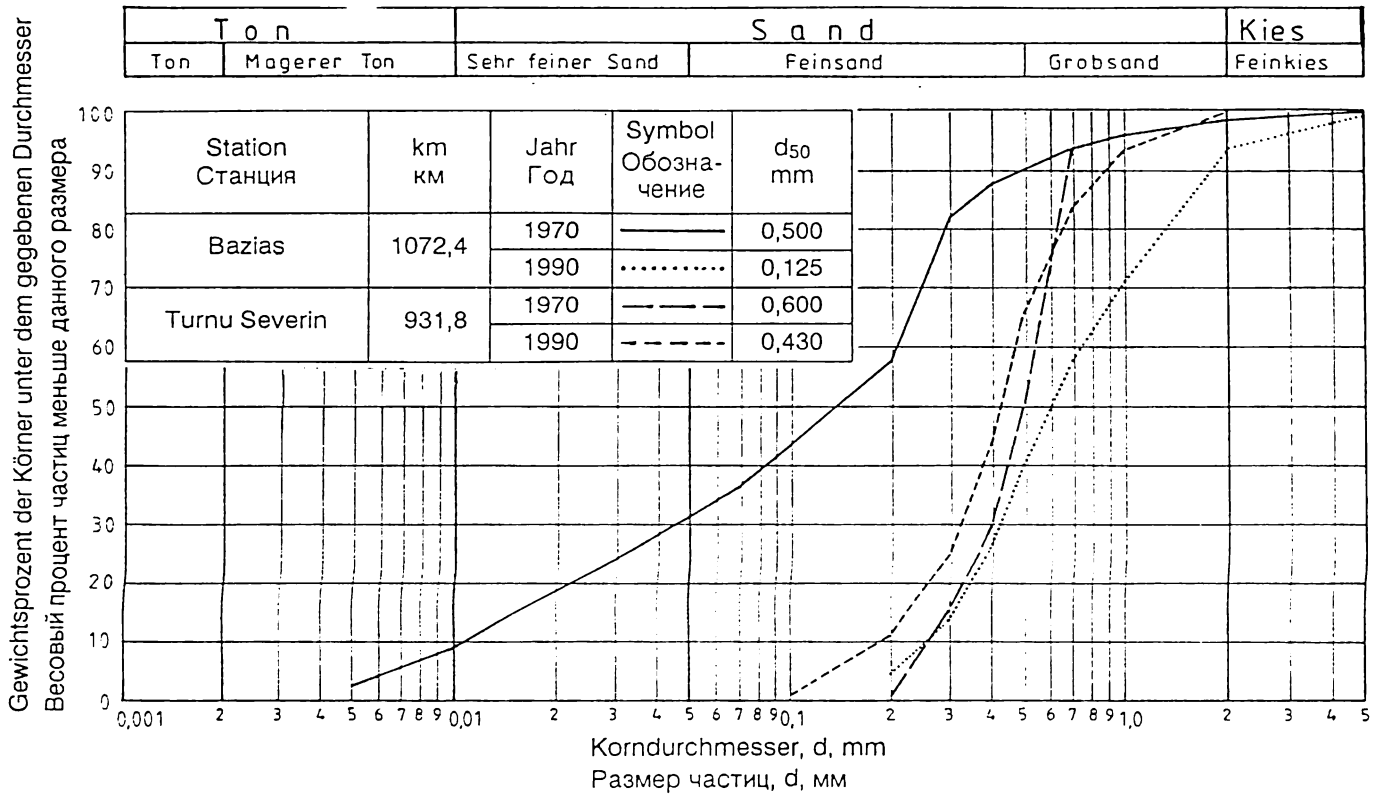
2. 3. Veränderungen der Kornverteilung des Geschiebes

Die Kornverteilung des Geschiebes verändert sich in Abhängigkeit vom Ort und von der Zeit. Für den Mechanismus der Geschiebebewegung ist kennzeichnend, daß sie während andauernder Niedrigwasserperioden auch völlig aufhören kann. Bei Mittel- und Hochwasserdurchflüssen entwickelt sie sich in einem oder mehreren Teilen des Querschnittes und erstreckt sich nur bei außerordentlichen Hochwässern auf die ganze Breite des Flußbettes und auf sämtliche Fraktionen des Flußbettmaterials. Die schon erwähnte natürliche Panzerung des Flußbettes bleibt oft auch noch bei mittleren Hochwässern stabil, so daß mit dem Probenahmegerät eine überraschend geringe Geschiebemenge gemessen wird, da es unter Umständen entlang einer längeren Flußstrecke zu keiner lokalen Geschiebeproduktion kommt. Nach Aufreißen dieser Panzerung nimmt nicht nur die Geschiebemenge zu, sondern es ändert sich auch seine Kornverteilung, wobei letztere sich gewöhnlich, infolge der Einроша, на общем чехословацко-венгерском участке годовой объем добычи в отдельных случаях превышал 1 млн. куб. м/год. Можно предположить, что сравнительно низкая величина расхода влекомых наносов в створе Надьмарош, хотя бы частично, является следствием того, что значительная часть образовавшихся на данном участке наносов задержалась в ямах ранее проводимой добычи.

Печинова (1988) показывает, что суммарный объем стока воды 7 наиболее значительных притоков болгарского участке р. Дунай ежегодно составляет 5920 млн. куб.м, и что на 3% увеличивает сток Дуная. Влекомые наносы этих притоков до построения плотин составили 5,1 млн. т, а расход наносов – 162 кг/с. К настоящему времени эти значения снизились соответственно до 1,8 млн. т и 56 кг/с. Влекомые наносы не прекратили полностью поступать, по всей вероятности, потому, что на участках рек, расположенных ниже самых нижних водохранилищ, и в настоящее время образуются влекомые наносы, объем которых составляет 1/3 от объема того, что ранее образовывалось. Между прочим, из 7 притоков больше всего наносов выносят реки Искыр и Янтра. Они дают больше половины влекомых наносов в настоящее время.

2. 3. Изменение гранулометрического состава влекомых наносов

Гранулометрический состав влекомых наносов изменяется в зависимости от места и времени. Механизм движения влекомых наносов характеризуется тем, что оно может полностью прекращаться в меженные периоды, а во время малой и средней водности оно развивается по полосам в одной или нескольких частях поперечного сечения, и только во время высоких вод оно охватывает полное сечение русла и все фракции частиц руслового материала. Уже упомяну-



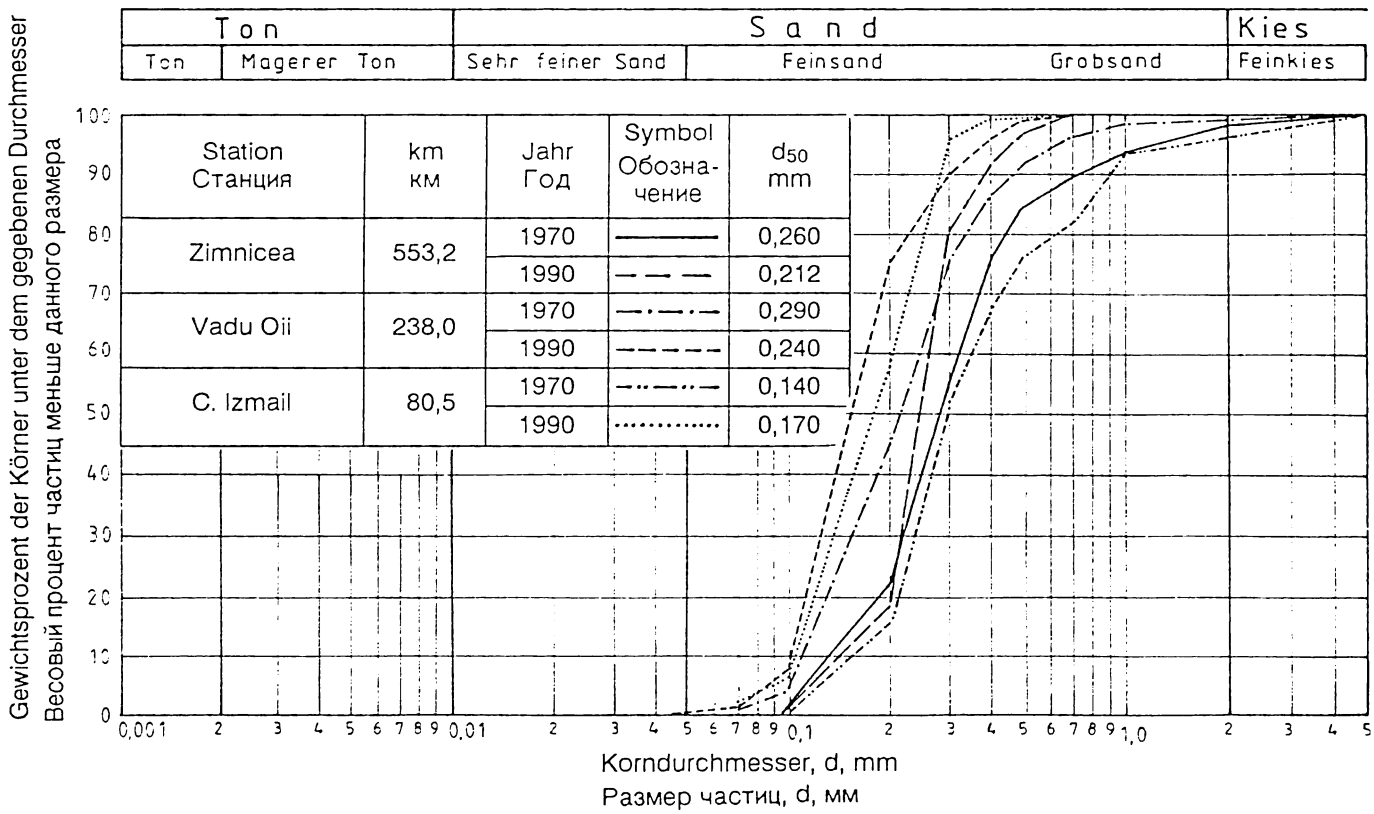


Bild 25. Kornverteilung des Geschiebes an der rumänischen Donaustrecke vor und nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Eisernes Tor I

Рис. 25. Состав фракций влекомых наносов на румынском участке р. Дунай до и после ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I

beziehung des bislang zugedeckten Materials, in Richtung der feineren Fraktionen verschiebt.

Bauer (1965) teilt für die deutsche Donaustrecke die Veränderungen der Kornverteilung des Geschiebes in einer einzigen zusammenhängenden Abbildung mit (Bild 24). Zwar stellt sie die Verhältnisse des Jahres 1960 dar, doch können die stromabwärts erfolgende Verfeinerung der Kornverteilung, die lokalen Vergröberungen bei den Einmündungen der Nebenflüsse sowie die darauf folgenden raschen Verfeinerungen gut beobachtet werden.

Für die österreichische Donaustrecke teilt Schmutterer (1961) maßgebende Werte der Korndurchmesser mit: bei km 2092 ist dieser Wert 37 mm, bei km 2084 22 mm und bei Bad Deutsch-Altenburg 13 mm. An der obersten Probenahmestelle war 2,3% des Materials feiner als 3 mm und 6,5% gröber als 70 mm.

Nach Bogárdi's (1971) Angaben liegt der durchschnittliche Korndurchmesser am oberen Ende der gemeinsamen tschechoslowakisch-ungarischen Donaustrecke, in Übereinstimmung mit der untersten österreichischen Angabe, zwischen 10 und 15 mm. Er beträgt bei Nagymaros nur noch 0,2 bis 0,4 mm und liegt auch bei Mohács lediglich bei 0,3 mm.

Das Bukarester Hydrometeorologische Institut untersuche die Veränderungen der Kornverteilung des Geschiebes an denselben Meßstationen, an denen auch der Schwebstoff beobachtet wird. Die aus den zur Verfügung gestellten Daten konstruierten Kurven sind in Bild 25 zu sehen. Während der auf die Inbetriebnahme der Staustufe Eisernes Tor I folgenden Periode kann überall eine mehr oder weniger ausgeprägte Verfeinerung der Kornzusammensetzung verzeichnet werden. Das Maß der Abnahme des Korndurchmessers verringert sich gegen die Mündung der Donau ins Schwarze Meer, doch kann eine Abnahme auch noch bei der Station Ceatal Izmail beobachtet werden.

тое естественное покрытие на дне русла часто остается устойчивым даже во время средневысоких вод, таким образом в батометр-ловушку попадает удивительно малое количество влекомых наносов, поскольку возможно, что на длинном участке реки нет местного образования наносов. После вскрытия естественной облицовки не только увеличивается количество влекомых наносов, но изменяется и их гранулометрический состав, и, как правило, увеличивается доля мелких частиц.

Бауэр показывает изменение гранулометрического состава влекомых наносов на немецком участке на одном общем рисунке (рис. 24). Хотя график отражет состояние на 1960 год, хорошо прослеживается увеличение доли более мелких частиц по течению, а также местное увеличение доли более крупных частиц у притоков с дальнейшим увеличением доли более мелких частиц.

Для австрийского участка реки Дунай расчетные диаметры частиц приведены Шмуттерером следующим образом: у 2092 км – 37 мм, у 2084 км – 22 мм и у Бад Дайч-Алтенбурга – 13 мм. На наиболее вышерасположенном месте взятия проб 2.3% материала имел диаметр частиц меньше 3 мм и 6.5% – больше 70 мм.

На венгерском участке, согласно данным Богарди, средний диаметр частиц влекомого наноса изменяется в пределах 10–15 мм в соответствии с данными на упомянутом наиболее нижерасположенном австрийском участке реки, но в створе Надьмарош изменяется в пределах 0.2–0.4 мм, а в створе Мохач около 0.3 мм. На нижнем участке реки Дунай данными по гранулометрическому составу влекомых наносов мы не паспологаем. Изменение гранулометрического состава влекомого наноса было исследовано бухарестским Гидрометеорологическим Институтом по тем же станциям, что и взвешенные наносы. Кривые, составленные по полученным данным, видны на рис. 24. После ввода в эксплуатацию плотины „Железные Ворота I" везде наблюдается увеличение доли малых фракций, подобно тому, как это видно для проб взвешенных наносов, взятых из потока вблизи дна. Степень уменьшения диаметра фракций также уменьшается у устья р. Дунай, что можно наблюдать и на станции Чатал Измаил, расположенной на расстоянии 80.5 км от устья.

3. KORNVERTEILUNG DES STROMBETTMATERIALS DER DONAU

Die Kornverteilung des Bettmaterials von alluvialen Flüssen ist räumlich und zeitlich noch veränderlicher als diejenige des Geschiebes. Zwar stellt die Probenahme aus dem Flußbettmaterial eine einfachere Aufgabe dar als bei dem Geschiebe, doch werden in einigen Staaten überhaupt keine oder nur äußerst seltene Proben dem Flußbett entnommen. Das Flußbettmaterial eines größeren Stromes, wie z. B. der Donau, kann auch nicht mit einer einzigen Probe pro Querschnitt gekennzeichnet werden, da es ja innerhalb desselben Querschnittes gleichzeitig auflandende, auswaschende und stabile Teile geben kann, deren Kornverteilungen voneinander verschieden sind. Vielfach wird jedoch nur diese örtliche Variabilität der Kornverteilung erkannt, obwohl die Kornverteilungskurven desselben Querschnittes auch erheblichen zeitlichen Veränderungen unterworfen sind, z. B. abhängig davon, ob die Probe während einer längeren Niedrigwasserperiode, einer Hochwasserperiode oder eines allmählichen Sinkens der Wasserstände entnommen wird.

Im allgemeinen weist das Flußbettmaterial eines Flusses von oben nach unten eine allmähliche Verfeinerung auf, welche nur durch die einmündenden Zubringer oder durch die auf die Strömung ausgeübten Wirkungen der verschiedenen wasserbaulichen Anlagen gestört wird.

Die Veränderungen der Kornverteilungen der entlang der zwischen Aschach und Silistra befindlichen Donaustrecke entnommenen Bettmaterialproben wurden durch Rajnov et al. (1979) untersucht. Die Kornverteilungskurven der in insgesamt 31 Meßquerschnitten entnommenen Proben werden in dem Bild 26 mit der Angabe des Stromkilometers jeder Station gezeigt. Zwar kann die Zusammensetzung der der obersten, einige Zentimeter dicken Schicht entnommenen Proben, von Ort und Zeit abhängig, in äußerst weiten Grenzen variieren, trotzdem bringen die Kurven zum Ausdruck, wie sich das Flußbettmaterial von der österreichischen Donaustrecke bis zur Mündung allmählich, aber keineswegs kontinuierlich verfeinert. Es ist zu sehen, daß das an der österreichischen Strecke eine gewisse Verpanzerung aufweisende Kiesbett entlang der ungarischen Strecke aufhört und die Donau unterhalb Bezdan praktisch in einem Sandbett weiterfließt. An der verhältnismäßig kurzen, etwa 25 km langen Strecke unterhalb der Staustufe Eisernes Tor I wird das Flußbett, infolge der erhöhtem Auskolkungskraft der über die Staustufe stürzenden Wassermenge, wieder zu einem Kiesbett. 130 km unterhalb der Staustufe herrschen schon wieder die Sandfraktionen vor und noch 50 km weiter flußabwärts trifft man erneut auf das von der Strecke unterhalb Belgrad bereits bekannte feine Sandbett.

3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУСЛОВОГО МАТЕРИАЛА Р. ДУНАЯ

Гранулометрический состав руслового материала аллювиальных рек показывает еще большую изменчивость в пространстве и во времени, чем влекомых наносов. Хотя взятие проб руслового материала является более простой задачей, чем взятие проб влекомых наносов, в некоторых странах вообще не производится или производится весьма редко взятие проб руслового материала. Русловой материал таких крупных рек, какой является Дунай, нельзя характеризовать одной пробой в поперечных сечениях, потому, что в одном поперечном створе одновременно могут располагаться участки размыва, заполнения и равновесия, гранулометрический состав которых сильно различается. Многие признают лишь эту изменчивость, т. е. изменчивость по месту расположения, хотя кривиые гранулометрического состава в данном створе могут значительно изменяться и во времени, например, в период длительной межени, во время паводков или медленного спада.

В русловом материале по течению реки наблюдается постепенное увеличение доли более тонких фракций. Постепенность изменения нарушается в местах впадения притоков или различных гидротехнических объектов, которые заметно влияют на русловые течения потока. Изменения гранулометрического состава руслового материала участка р. Дунай между Силистрой и Ашахом были исследованы Райновым и его сотрудниками (1979). Кривые гранулометрического состава проб, взятых на 31-ной станции, показаны на рис. 26 с указанием расстояния станций от устья. Хотя состав проб, взятых из верхнего слоя дна русла несколькими способами, может измениться в значительной мере в зависимости от места и времени, эти рисунки наглядно показывают постепенное, хотя и непостоянное, увеличение доли мелких фракций в русловом материале от австрийского участка реки до устья. Видно, что русло с гравийным, панцырным покрытием, еще характерное для австрийского участка, исчезает на венгерском участке и ниже Бездана Дунай практически имеет русло, сложенное песком. Ниже плотины „Железные Ворота I", на сравнительно коротком участке примерно в 25 км русло опять сложено щебнем, вследствие размыва русла водой, переливающейся через плотину. На расстоянии 130 км ниже плотины уже превалирует песчаная фракция, а еще ниже, на 50-ом км, русло опять становится песчаным, подобно руслу ниже Белграда.

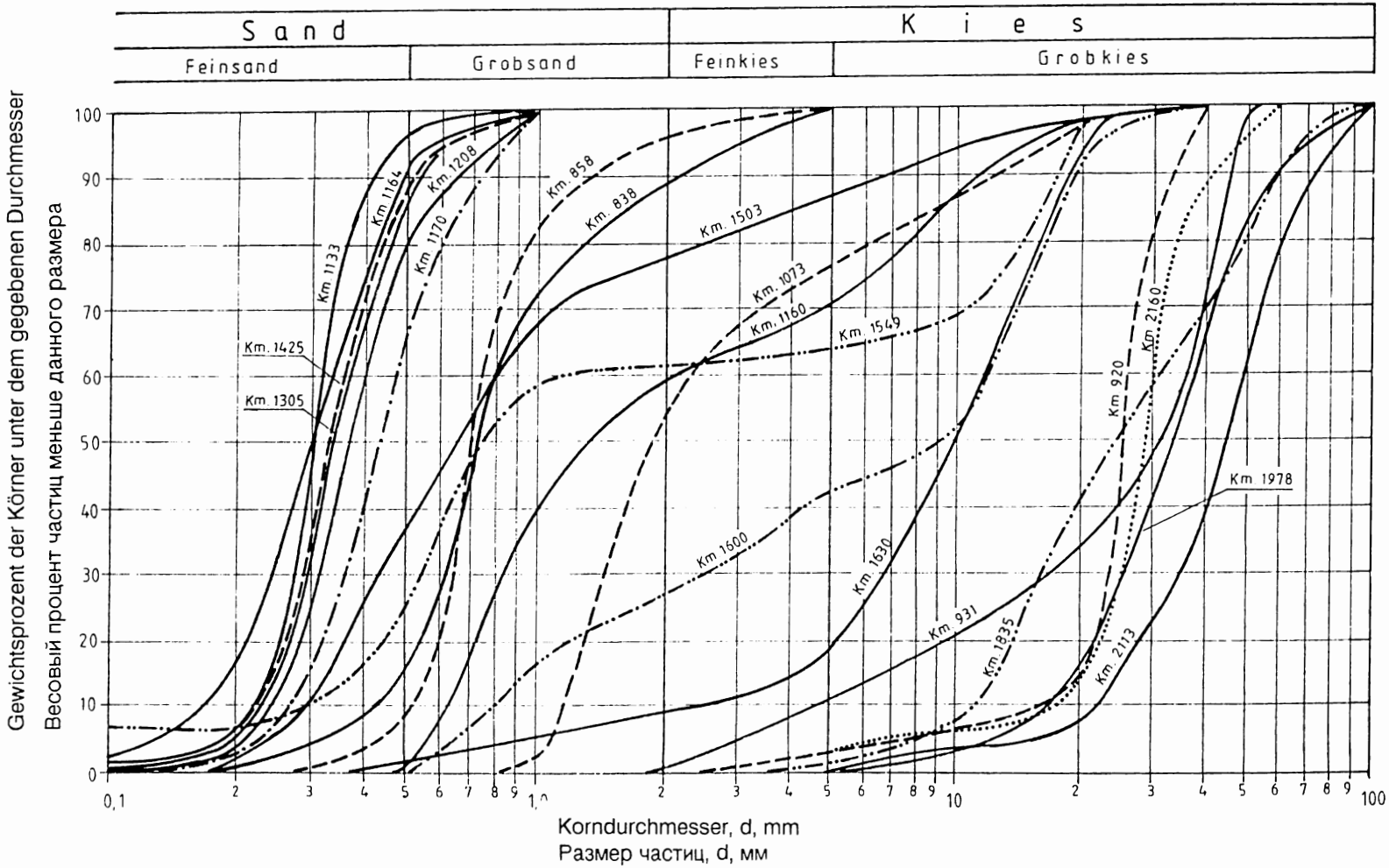


Bild 26. Granulometrische Zusammensetzung der Flußsohle der Donau von km 833 bis km 2161 (Rajnov et al. 1979)

Рис. 26. Состав руслового материала р. Дунай между 833 и 2161 ркм (Райнов и др. 1979)

4. AUSBLICK

4. 1 Die Donau führt aus ihrem 817.000 km^2 großen Einzugsgebiet jährlich 25 bis 80 Mio t Schwebstoff dem Schwarzen Meer zu. Das Verhältnis der in einem beliebigen Meßquerschnitt beobachteten maximalen und minimalen jährlichen Schwebstofffracht liegt bei 5 bis 6. Der Anteil der Geschiebeführung am gesamten Feststofftransport erreicht 10% nur an der oberen Donaustrecke, sonst liegt er bei 1%. Das dem Aufsatz von Kresser und Lászlóffy (1964) entnommene Bild 27 veranschaulicht daß auf der oberen Donaustrecke der Anteil des Geschiebes an der gesamten Feststofführung nicht zu vernachlässigen war. Die oft sogar 20% erreichenden Anteile charakterisieren den Zustand vor unserer Untersuchungsperiode, als noch wenige der heute bestehenden Staustufen in Betrieb waren. Die Menge des in die Donau gelangenden Schwebstoffes hängt neben den Bodenbedingungen von der Größe und der zeitlichen Verteilung des Niederschlages (Schnee- und Eisschmelze inbegriffen) ab. Dementsprechend wirkt sich die während der Untersuchungsperiode 1956–1985 beobachtete tendenzmäßige Abnahme von Niederschlag und Abfluß auch in einer fallenden Tendenz der Feststofffrachten aus. Die Schwebstofffracht nimmt bei den verhältnismäßig nahe beieinander liegenden Einmündungen der größten Zubringer (Theiß, Save, V. Morava) sprungartig zu, doch kann bereits oberhalb des Mündungsdeltas der Donau ins Schwarze Meer eine spürbare Ablagerung nachgewiesen werden.

4. 2 Die menschliche Tätigkeit beeinflußt das Entstehen und die natürliche Weiterbeförderung des Feststoffes in einem bedeutenden, aber zeitlich wie räumlich veränderlichen Maße. Die anthropogenen Auswirkungen sind vor allem auf die Staustufen, auf die Flußbettbaggerungen sowie auf die Anlagen zur Flußregulierung und zum Hochwasserschutz zurückzuführen. Die größte Anzahl von Staustufen wurde an den durch bedeutendes Gefälle gekennzeichneten Strecken der Donau und ihrer Zubringer erbaut, doch wurde während der Untersuchungsperiode, zwischen dem mittleren und unteren Abschnitt der Donau, auch die Staustufe Eisernes Tor I errichtet. Die Staustufen halten das ganze Geschiebe und höchstens 30 bis 40% des Schwebstoffes zurück bzw. bewirken die Absetzung des letzteren. An den unterhalb der Staustufen liegenden freien Flußstrecken erhöht sich zwar die Auswaschung, doch bleibt ihre Menge i. allg. hinter derjenigen des abgesetzten Schwebstoffes zurück. Außerdem kann die Stauwurzel der einzelnen Staustufen an Flußstrecken mit größerem Gefälle ganz in der oberen Nachbarstaustufe liegen, wobei die Auskolkung völlig ausfällt. Die industrielle Flußbettbaggerung, deren Volumen das Mehrfache der jährlichen Geschiebefracht erreichen kann, vermindert ebenfalls die in die flußabwärts liegenden Strecken gelangende Feststoffmenge, da die von oben ankommende Schwebstoff- und Geschiebemenge teilweise zur Wiederauffüllung der Baggergruben in Anspruch genommen wird. Die Bauwerke der Flußregulierung können entweder zu Auskolkungen oder zu Auflandungen führen, doch gleichen sich ihre Auswirkungen für die ganze Donau praktisch aus.

4. ОБОБЩЕНИЕ

4. 1. Река Дунай, имеющая площадь водосбора 817 000 кв. км, выносит ежегодно 25–8 млн. тонн взвешенных наносов в Черное море. Годовое количество наносов по отдельным станциям показывает 5–6 кратное колебание. Доля влекомых наносов в суммарном количестве только на верхнем участке достигает 10%, а в целом она составляет около 1% (рис. 27; согласно Крессеру и Ласлоффи, 1964). Количество взвешенных наносов Дуная – помимо почвенных условий – зависит от величины и временного распределения осадков (включая и стаивание снега и льда). Таким образом снижение осадков и стока, наблюдаемое за исследуемый период 1956–1985 гг., сопровождалось уменьшением стока наносов. Сток взвешенных наносов резко увеличивается в местах впадения значительных притоков (Тиса, Сава, В. Морава), расположенных сравнительно близко друг от друга, но уже выше уственной дельты наблюдается осаждение наносов.

4. 2. Человеческая деятельность в разной степени во времени и в пространстве, но заметно влияет на образование и транспорт наносов. Антропогенное влияние особенно вызывается плотинами, добычей руслового материала, гидротехническими сооружениями регулирования русла и защиты от наводнений. Наибольшее количество плотин было сооружено на участках Дуная с большими уклонами, но за исследуемый период была построена и плотина „Железные Ворота I" между средним и нижнем течениями Дуная. Плотины задерживают влекомые наносы полностью и, в крайних слуаях, до 30–40% взвешенных наносов. На свободных участках реки ниже плотин, хотя и увеличивается размыв русла, но объем размыва, как правило, меньше, чем объем отложенных наносов. Кроме этого, на участках с большими уклонами влияние подпора отдельных плотин распространяется до вышележащей плотины, и таким образом размыв может полностью отсутствовать. Промышленная добыча руслового материала, многократно превышающая количества годового объема влекомых наносов, также снижает количество наносов на нижележащих участках, поскольку часть поступающих сверху взвешенных и влекомых наносов направляются на заполнения ям выемок. Сооружения, регулирующие русло реки, могут вызвать местные размывы и заполнения, но их влияние, в целом, более-менее уравновешивается по длине реки Дунай.

4. 3. Периодические изменения климата континентальной Европы, что проявилось во второй половине исследуемого периода сериями засушливых лет, привело к тенденции уменьшения годового стока взвешенных наносов на 19-ти станциях из 20. Это обстоятельство само по себе имело ряд преимуществ: уменьшается объем добыч в приплотинных водохранилищах, судоходных шлюзах и т. д., легче производится

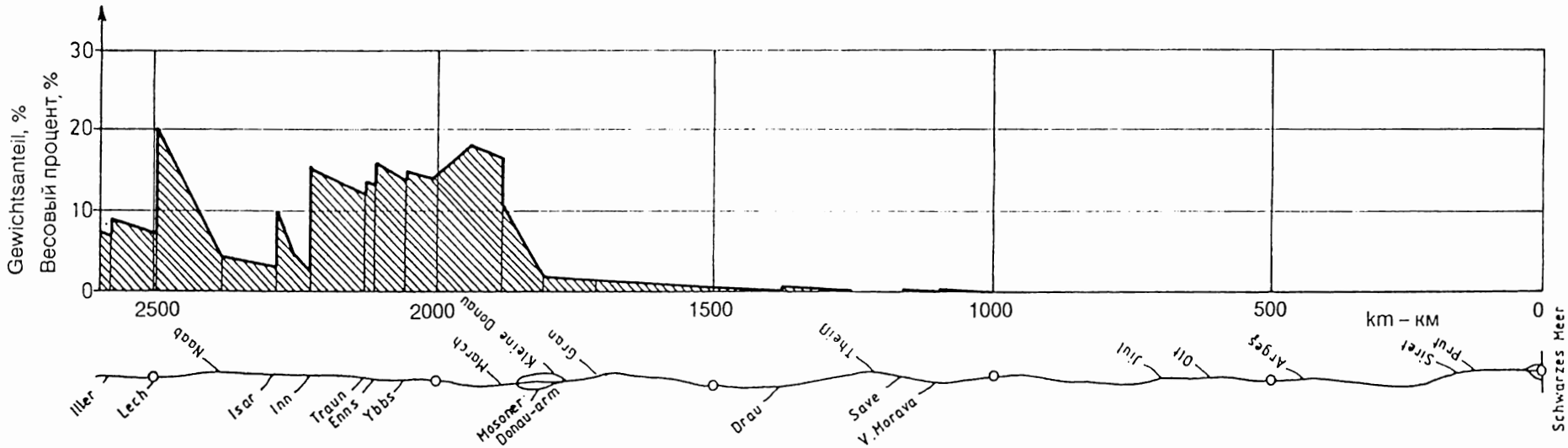


Bild 27. Anteil des Geschiebes an der Feststoffführung der Donau vor 1960 (nach Kresser und László́ffy 1964)

Рис. 27. Процент влекомых наносов в суммарном твердом стоке р. Дунай до 1960 года (по Крессеру и Ласлоффи 1964)

4. 3 Die periodischen Schwankungen der klimatischen Bedingungen in Kontinentaleuropa, die während der zweiten Hälfte der Untersuchungsperiode eine Reihe von Trockenjahren hervorbrachten, sind eine zusätzliche Ursache bei 19 von den untersuchten 20 Meßstationen für einen fallenden Trend der jährlichen Schwebstofffrachten. Dieser Umstand an sich geht mit einer Reihe von Vorteilen einher. Das Volumen der für die Instandhaltung der Stauräume, Schiffsschleusen und ähnlicher Bauwerke notwendigen Baggerungen nimmt ab. Das für verschiedene Zwecke entnommene Rohwasser der Donau kann leichter aufbereitet werden. Die für die Ergiebigkeit der uferfiltrierten Brunnen ungünstige Kolmation wird langsamer. Natürlich führt diese Tendenz auch zu andauernden Niedrigwasserperioden, was zur Verschlechterung der Bedingungen für die Schiffahrt und die Wasserentnahme führt.

4. 4 Unter dem Gesichtspunkt der Erhaltung der Wasserqualität wäre es von besonderem Interesse zu untersuchen, wie die andauernde Zunahme der Anzahl der Niedrigwasserjahre den Transport der Elemente der in die Donau eingeleiteten Abwässer beeinflußt, insbesondere derjenigen Elemente, welche sich an kolloidalen schwebenden Partikeln haftend bewegen und zeitweise anhäufen. Dazu wäre jedoch eine genauere und eingehendere Messung der Schwebstoffkonzentration mit besonderer Rücksicht auf den Anteil der kolloidalen Fraktionen notwendig.

In diesem Zusammenhang soll hier nur auf zwei Ergebnisse hingewiesen werden. Benedek (1988) teilt mit, daß die Quecksilberkonzentration der Donau an der österreichischen Strecke zwischen 0,03 und 0,06 $\mu g \cdot dm^{-3}$, an der ungarischen Strecke zwischen 0, 1 und 0,3 $\mu g \cdot dm^{-3}$, bei Smederevo zwischen 0,6 und 0,8 $\mu g \cdot dm^{-3}$ und bei Galati zwischen 0,24 und 3,86 $\mu g \cdot dm^{-3}$ liegt. Rumänische Forschungen ergaben, daß die Gesamtfracht an gelösten Stoffen bei Ceatal Izmail zwischen 1945 und 1986 sich von 1410 $kg \cdot s^{-1}$ auf 3070 $kg \cdot s^{-1}$ erhöhte, inzwischen aber im Jahr 1970 sogar den Wert von 3498 $kg \cdot s^{-1}$ erreicht hat (Bondar et al. 1990). Zwar ist das Forschungsthema der Gelöststofführung der Donau eine vornehmliche Aufgabe der Institutionen und internationalen Organisationen, die für die Güteuntersuchungen des Donauwassers verantwortlich sind, doch wäre eine Abstimmung der Schwebstoffbeprobungen mit den Wassergütebeprobungen bzw. ein Vergleich der Feststoffdaten mit den kontinuierliche Datenreihen liefernden Stationen für Wassergütekontrolle sowohl für die Hydrologen als auch für die Wissenschaftler der Wassergüte besonders nützlich.

4. 5 An den Grenzgewässerabschnitten – sowohl wo die Donau aus einem Staatsgebiet in ein anderes tritt, als auch wo Meßstationen zweier Staaten in der Nähe oder gar einander gegenüber betrieben werden – wäre es äußerst wichtig, die Geräte und Methoden der Messung, Analyse und Datenverarbeitung wirksamer zu vereinheitlichen, als es bislang der Fall war. Unsere besondere Aufmerksamkeit verdienen die Zubringer Velika Morava, Siret, usw. deren Feststofffrachten auf die höchsten spezifischen Bodenverluste deuten, so daß in ihren Einzugsgebieten stärkere Maßnahmen zur Verminderung der Erosion erwogen werden sollten.

очистка воды реки, изымаемой для разных целей, замедляется скорость кольматации, ухудшающей водоотдачу скважин забора воды в береговой зоне и т. г. Но нельзя забывать, что данная тенденция сопровождается более длительными периодами меженных вод, т. е. ухудшаются условия судоходства и забора воды.

4. 4. С точки зрения охраны качества воды, было бы полезно выполнение самостоятельного исследования, как влияет увеличение числа маловодных лет на транспорт элементов (компонентов) сточных вод, поступающих в Дунай, и, в первую очередь, тех элементов, которые переносятся, соединяясь с коллоидальными взвешенными частицами и временно оседают. Для этого потребуются более точные и подробные измерения мутности взвешенных наносов, уделяя при этом особое внимание доле коллоидальных фракций. В связи с этим ссылаемся лишь на следующие данные: по Бенедеку (1988) содержание ртути в дунайской воде на австрийском участке составляет 0.03–0.06 μг/л, на венгерском – 0.6–0.8 μг/л, а у Галаца – 0.24–3.86 μг/л. Согласно румынским исследованиям суммарный расход растворимых солей у Чатал Измаил возрос в период 1945–1986 гг. с 1410 до 3070 кг/с, при этом в 1970 году достиг 3498 кг/с (Бондар и др., 1990). Хотя изучение стока растворимых веществ является задачей институтов и международных организаций по исследованию качества воды, но согласование взятия проб по взвешенным наносам и по качества воды, предоставленные станциями, продолжительное время изучающие качество воды, было бы полезным и для гидрологов, и для специалистов по изучению качества воды.

4. 5. На пограничных участках, где река переходит из одной страны в другую, и там, где имеются близкорасположенные измерительные станции двух стран или они расположены на противоположных берегах вблизи одного створа, нужно приложить больше усилий, чтобы унифицировать приборы и способы измерения, анализа и обработки данных проб наносов. Нужно больше внимания уделить притокам, выносимым наносы в таком количестве, которое свидетельствует о значительном смыве почвы на их водосборах (В. Морава, Сирет) и нужно обдумать необходимость принятия каких-либо мероприятий для уменьшения эрозии в их водосборах.

Verzeichnis der verwendeten Symbole – Список симболов – List of applied symbols

Zeichen – Символь – Symbol	Einheit – Единица – Dimension		Erklärung	Примечание	Definition
C	$g \cdot m^{-3}$	$г \cdot м^{-3}$	Schwebstoffkonzentration	Мутность взвешенного стока	Concentration of suspended sediment
F	km^2	$км^2$	Einzugsgebiet	Водосбор	Catchment area
E_s	$t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$	$т \cdot км^{-2} \cdot a^{-1}$	Spezifischer jährlicher Bodenverlust	Удельная величина годового смыва почвы	Specific annual soil loss
G	$m^3 \cdot a^{-1}$	$м^3 \cdot a^{-1}$	Jährliches Geschiebevolumen	Годовой объём влекомых наносов	Annual volume of bed-load
M_s	$t \cdot a^{-1}$	$т \cdot a^{-1}$	Jährliche Schwebstofffracht	Годовой сток взвешенных наносов	Annual mass of suspended sediment
Q	$m^3 \cdot s^{-1}$	$м^3 \cdot сек^{-1}$	Abfluß, Wasserführung	Расход воды	Water discharge
Q_s	$kg \cdot s^{-1}$	$кг \cdot сек^{-1}$	Schwebstofführung	Расход взвешенных наносов	Discharge of suspended sediment
T	–	–	Zahl der Jahre nach 1900	Число годов после 1900	Number of years after 1900
V	$m^3 \cdot a^{-1}$	$м^3 \cdot a^{-1}$	Jährliche Abflußsumme	Годовой сток воды	Annual volume of runoff water
V_{sp}	m^3	$м^3$	Speichervolumen	Ёмкость водохранилищ	Volume of storage reservoirs
d	mm	мм	Korndurchmesser	Размер частиц	Diameter of particle

Literatur – Список литературы – References

Zitierte Werke – Литературные источники – Quoted references

Bauer, Fr.: Der Geschiebehaushalt der bayerischen Donau im Wandel wasserbaulicher Maßnahmen. Die Wasserwirtschaft 55. Jg, H. 4/5, (1965) D

Benedek, P.: River Danube pollution and its risk assessment. In: M. L. Richardson (ed.): Risk Assessment of Chemicals in the Environment. University of Surrey. Guildford, U. K. 1988 E

Bogárdi, J.: Feststoffführung der Gewässer. Akademischer Verlag, Budapest, 1971 H

Bondar, C., State, I.: The Danube river contribution with water and silts to the Black Sea. Cercetâri Marine, I. R. C. M. No. 10, 1977 E

Bondar, C., Harabagiu, E., State, G.: The evolution in time (1946–1989) of the salt runoff of the Danube from the inlet at the Romanian border to the outlet into the Black Sea. Meteorology and Hydrology, Vol. 20, 2/1990 E

Bors, W.: Prognosemöglichkeiten für den Schwebstoffgehalt der österreichischen Donau. XV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Varna, 1990 D

Hack, H.-P.: Die Verlandung der Stauhaltungen des Inn am Beispiel der Innstufen Ering-Frauenstein und Egglfing-Obernberg. Die Talsperren Österreichs, Heft 28, 1985 D

Hack, H.-P.: Langzeiterfahrungen in der Behandlung der Sedimentfracht beim Betrieb der Wasserkraftanlagen des Inn. 4. DVWK-Fortbildungslehrgang Technische Hydraulik, Berechnung des Feststofftransportes für die Ingenieurpraxis, München-Neubiberg, 19. 04.–21. 04. 1989 D

Гидрология Карпат, Тема 5. 1: Сток взвешенных наносов по рекам Карпат. Заключительный отчёт (Hydrologie der Karpaten: Schlußbericht der internationalen Arbeitsgruppe. Thema 5. 1: Schwebstofführung der Karpatenflüsse), 1979 R

Kobilka, J. G., Hauck, H. H.: Feststoffhaushalt in den Stauräumen der österreichischen Donaukraftwerke. Internationale Talsperrenkommission, 14. Talsperrenkongress, 1982 D

Kresser, W., Lászlóffy, W.: Hydrologie du Danube. La Houille Blanche, No. 2, 1964 F

Lászlóffy, W.: Die Donau, hydrologisch betrachtet. In: Liepolt, R.: Limnologie der Donau. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 1967 D

Miloradov, M.: Yugoslav experiences with the operation of the barrages Iron Gate I and II. (Lecture) Workshop of WHO, IIASA & VITUKI: „Impacts of barrages on the water quality of the Danube". Budapest, 1984 E

Petschinov, D.: Änderungen in der granulometrischen Zusammensetzung der Schwebstoffe im Fluß Donau unter dem Einfluß des Hydrosystems „Eisernes Tor". XII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Bratislava, 1984 R

Petschinov, D.: Veränderung des Schwebstoffabflusses der Donau im bulgarischen Abschnitt unter dem Einfluß von anthropogenen Faktoren. 25. Arbeitstagung der IAD. Passau, 1987 R

Печинова, М.: Тенденции изменения стока наносов на болгарских притоках реки Дуная (Petschinova, M.: Tendenzen in den Änderung der Schwebstofführung der bulgarischen Donaunebenflüsse) XIV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Kiev, 1988 R

Prazan, H.: Über Schwebstoffablagerungen in den Stauräumen der Donaukraftwerke. Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 42, Heft 3/4, 1990 D

Райнов Щ., Нинов И., Василев С., Печинов Д.: Влияние гидротехнического комплекса „Железные Ворота" на расход и режим взвешенных наносов р. Дунай (Rajnov, S. Ninov, I., Vasilev, S., Petschinov, D.: Der Einfluß der Staustufe „Eisernes Tor" auf die Schwebstofführung der Donau). VIII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Regensburg, 1975 R

Райнов, Щ. И. Нинов, С. Василев, Д. Печинов: Гранулометрический состав донных отложений реки Дунай (Rajnov, S., Ninov, I., Vasilev, S., Petschinov, D.: Granulometrische Zusammensetzung der Bodenablagerungen der Donau.) X. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Wien, 1979 R

Rákóczi, L.: Vorhersage von Flußbettveränderungen an der ungarischen Donaustrecke. XV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Varna, 1990 D

Schmutterer, J.: Geschiebe- und Schwebstoffführung der österreichischen Donau. Wasser und Abwasser, Jg. 1961 D

Tippner, M.: Schwebstofftransport im Bereich der deutschen Donau. X. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Wien, 1979 D

*) In der vorliegenden zweisprachigen Ausgabe werden die Titel sämtlicher Werke in der Originalsprache oder – wo dies nicht möglich was – in Russisch angegeben. Mit Ausnahme der englischen und französischen Werke, wird nach jedem Titel, in Klammern, auch seine deutsche Übersetzung mitgeteilt. Am rechten Rand des Literaturverzeichnisses wird bei jedem Werk die Originalsprache unter Anwendung folgender Symbole vermerkt: BG – bulgarisch, D – deutsch, E – englisch, F – französisch, H – ungarisch, R – russisch, RO – rumänisch, SL – slowakisch, SK – serbo-kroatisch.

В настоящем двух-язычном издании перечисленные работы приведены обычно на языке оригинале, а где это было невозможным, названия даются на русском языке. За исключением литератирных источников на английском и французком языках прилогается и немецкий перевод названия. После каждой библиографической единицы, на правой полосе указан симболь языка оригинала: BG – болгарский, D – немецкий, E – английский, F – французкий, H – венгерский, R – русский, RO – румынский, SL – словацкий, SK – сербо-хорватский.

Sonstige einschlägige Werke – Другие работы по теме – Other relevant references

Bundesrepublik Deutschland – Федеральная Республика Германия

DVWK: Schwebstoffmessungen. Regeln zur Wasserwirtschaft 125. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1986 D

Fuchs, Holleis, Schweiger: Wasserkraftnutzung an der oberen Donau, DWW 1963 D

Mangelsdorf, J., Scheurmann, K.: Flußmorphologie. Oldenbourg Verlag, München 1980 D

Schleiermacher: Modellversuch: Sicherung der Schiffahrtsrinne in der Donau im Bereich der Innmündung bei Passau. 1963 D

Wasser- und Energiewirtschaft: Sonderheft Donau Nr. 3/4, Baden (Schweiz), 1973 D

Wittmann: Geschiebetrieb und Flußregulierung. DWW 1942 D

Österreich – Австрия

Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau: Österreichischer Wasserkraft-Kataster, Donau II. Abschnitt II/B: Schwebstoff- und Geschiebeführung, Wien, 1956 D

Gruber, O.: Gewässerkunde und Hydrographie im Bundesstrombauamt. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 1/2, 1969 D

Gruber, O.: Gewässerkunde und Hydrographie im Bundesstrombauamt. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 9/10, 1978 D

Hydrographischer Dienst in Österreich: Schwebstoff- und Geschiebeaufnahmen einiger österreichischer Flüsse. Wien, 1937 D

Hydrographisches Zentralbüro Wien: Geschiebe- und Schwebstoffuntersuchungen. Mitteilungsblatt Nr. 15, 1956 D

Kreps, H.: Das Problem der Ermittlung einer Jahresgeschiebefracht aus einer beschränkten Zahl von Messungen. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 5/6, 1961 D

Kreps, H.: Über die Auswertung von Geschiebemessungen. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 4, 1962 D

Kresser, W.: Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstofführung der Gewässer. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 1/2, 1964 D

Kresser, W.: 75 Jahre wasserwirtschaftliche Forschung in Österreich. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 9/10, 1984 D

Pelikan, B.: Methoden und Probleme direkter Geschiebemessungen. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 9/10, 1983 D

Rémy, – Berzencovich, E.: Eine neue Methode zur Ermittlung des Feststofftriebes in Flußläufen. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 3, 1959 D

Rémy – Berzencovich, E.: Feststofftrieb und Hydraulik. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 1, 1961 D

Rémy – Berzencovich, E.: Hydrographie: Wasserwirtschaftliche Grundlagenforschung. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 10/11, 1962 D

Schöberl, F.: Abpflasterungs- und Stabilisierungsvermögen erodierender Gerinne. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 7/8, 1981 D

Schöberl, F.: Auftretenshäufigkeiten spezifischer Feststoffgrößen an österreichischen Flußläufen. XII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Bratislava, 1984 D

Zottl, A.: Geschiebeführung natürlicher Flußläufe unter Berücksichtigung von Regulierungs-Maßnahmen. Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 6, 1962 D

Tschechoslowakei – Чехословакия

Szolgay, J., Náther, B.: Niektoré poznatky zo študia splaveninového rezimu Dunaja. (Einige Ergebnisse der Untersuchung der Feststoffverhältnisse der Donau). Vodohosp. Časopis, č. e. 1954 SL

Náther, B.: Priame meranie splavenín na Dunaji. (Direktmessung des Geschiebes an der Donau). Práce a Študie VÚV, Bratislava, c. 18. 1963 SL

Szolgay, J.: Úprava československého úseku Dunaja vzhl'adom na hydrologický výskum plavenín a splavenín (Regulierung der tschechoslowakischen Donaustrecke mit besonderer Rücksicht auf die Erforschung des Schwebstoffes und des Geschiebes). Práce a Studie VÚV, Bratislava, č. 21. 1964. SL

Náther, B.: Akost' materiálu dna Dunaja z Čs.-rakúského úseku. (Qualität des Strombettmaterials der tschechoslowakisch–österreichischen Donaustrecke). Informacija VÚV, Bratislava, 1967 D

Csoma, J.: A Felső-Dunára vonatkozó tanulmányok értékelése (Auswertung der auf die Obere Donau bezogenen Studien). Jahresbericht der Forschungsanstalt für Wasserwirtschaft VITUKI für 1962. Budapest, 1965 — H

Csoma, J.: A vízfolyások által szállított görgetett hordalék mennyiségének meghatározása (Ermittlung der durch die Flüsse geförderten Geschiebemenge). Hidrológiai Közlöny, Heft 2/1966 — H

Csoma, J.: A dunai vízerőműrendszer hatása a hordalékviszonyok alakulására (Auswirkung des Staustufenssytems an der Donau auf die Feststoffverhältnisse). Jahresbericht der Forschungsanstalt für Wasserwirtschaft VITUKI für 1966. Budapest, 1968 — H

Csoma, J.: A nagymarosi vízerőmű alatti Duna-meder vizsgálata (Untersuchung des Donaustrombettes unterhalb der geplanten Staustufe Nagymaros). Vízügyi Közlemények, Heft 2/1987 — H

Csoma, J., Kovács, D.: A Duna Rajka–Gönyű közötti szakaszán végzett szabályozási munkák hatásának értékelése (Bewertung des Auswirkung der an der Donaustrecke zwischen Rajka und Gönyű durchgeführten Regulierungsarbeiten). Vízügyi Közlemények, Heft 2/1981 — H

Goda, L.: A dunai gázlók és a hajózás (1961–1968) (Die Furten der Donau und die Schiffahrt (1961–1968)). Vízügyi Közlemények, Heft 2/1971 — H

Kovács, D.: A Duna-ankét 1977-ben. (Donau-Enquete im Jahre 1977). Vízügyi Közlemények, Heft 1/1978 — H

Laczay, I.: Folyószabályozás, ipari kotrás és parti szűrésű vízbázis (Flußregulierung, industrielle Baggerung und uferfiltrierte Wassergewinnung). Vízügyi Közlemények, Heft 3/1987 — H

Laczay, I.: A folyószabályozás és az ipari kotrás hatása a Nagymaros–Budapest közötti Duna-szakasz medervíszonyaira (Auswirkungen der Stromregulierung und der industriellen Baggerung auf die Strombettverhältnisse der Donaustrecke zwischen Nagymaros und Budapest). Vízügyi Közlemények, Heft 4/1988 — H

Laczay, I.: Ipari kotrások hatása a Komárom–Nagymaros közötti Duna-szakasz medervíszonyaira (Auswirkungen der industriellen Baggerungen auf die Strombettverhältnisse der Donaustrecke zwischen Komárom und Nagymaros). Vízügyi Közlemények, Heft 3/1989 — H

Rákóczi, L.: Önburkolódásra hajlamos folyószakaszok alakulásának előrejelzése (Vorshersage der Entwicklung von zur Selbstpanzerung neigenden Flußstrecken). IX. Vorhersagekonferenz der Donauländer, Budapest, 1977 — H

Rákóczi, L.: Vízlépcsők hatása a hordalék- és medervíszonyokra (Auswirkungen der Staustufen auf die Feststoff- und Flußbettverhältnisse). Vízügyi Közlemények, Heft 1/1989 — H

Tőry, K.: A Duna és szabályozása (Die Donau und ihre Regulierung). Verlag Akadémiai Kiadó, Budapest, 1952 — H

Tőry, K.: A Duna Rajkától Budapestig (Die Donau von Rajka bis Budapest). VITUKI, Budapest, 1971 — H

Zorkóczy, Z.: A Felső-Duna szabályozása (Regulierung der Oberen Donau). Vízügyi Közlemények, Heft 1/1969 — H

Jugoslawien – Югославия

Bruk, S., Miloradov, V.: Untersuchung der hydraulischen Zusammenwirkungen beim Schwebstoff und Feinsandtransport an der jugoslawischen Donaustrecke. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Koblenz, 1966 — D

Bruk, S., Miloradov, V.: Matematicko modeliranje nanosa u akumulacojama i rekama (Mathematische Modellierung der Auflandung in Rückhaltebecken und Flüssen). Congress IAHR, Baden-Baden, 1977 — E

Bruk, S.: Mogučnosti u oblasti modeliranja transporta suspendovanog nanosa (Möglichkeiten zur Modellierung des Schwebstofftransports). Simpozijum: Turbulentni transportni procesi u fluidu, Sarajevo, 1977 — SK

Bruk, S., Pavlović, R.: Sedimentation calculation in canals and rivers. Congress of Hydrologists of Iraq, Baghdad, 1981 — E

Bruk, S., Miloradov, V., Milišić, V.: Sedimentation in the Iron Gates Reservoir – Discussion on the paper of Mr. Fosca. ASCE Journal of Hydro-Division, HY DEC., 1984 — E

Jovanović, S., Vukmirović, V.: Istraživanja režima vučenog nanosa, saopštenja (Untersuchung der Geschiebeführung). Institute „Jaroslav Černi", Beograd, 1967, br. 41–42 — SK

Miloradov, V.: Neki rezultati merenja talozenja nanosa na Velikoj Moravi (Einige Meßergebnisse der Auflandung am Fluß Velika Morava). Saopštenja Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi", 1967, br. 30. — SK

Miloradov, V., Dordević, B.: Istrazivanja režima suspendovanog nanosa (Schwebstofforschung). Saopštenja Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi", 1967, No 41–42. — SK

Miloradov, V.: Istraživanja suspendovanog nanosa na Dunavu i pritokama (Untersuchung der Schwebstoffführung der Donau und ihrer Zubringer). Proceedings Symposium: Current Problems in River Training and Sediment Movement, 1968, Budapest — E

Miloradov, V.: Istraživanja suspendovanog nanosa za potrebe inženjerske prakse. (Untersuchung der Schwebstoffführung für den Bedarf des praktischen Ingenieurs). Seminar „Erozija, bujicni tokovi i rečni nanos", Jugoslovenski komitet za Medjunarodnu hidrološku deceniju, Beograd, 1970 — SK

Miloradov, V., Bruk, S., Petrič, J., Petrić, Z., Brujić, V., Ionescu, F., Amaftiesei, R., Razvan, E.: Studija kretanja nanosa uzvodno od brane (Untersuchung der Geschiebewegung oberhalb der Staustufe). Saopštenja Instituta J. Černi, br. 50–53, Beograd, 1972 SK

Pavlović, R., Bruk, S.: Napomene u vezi sa proračunom prenošenja finog nanosa u rekama i kanalima (Zur Berechnung der Feinfeststoffführung von Flüssen und Kanälen). Vode Vojvodine, Novi Sad, 1983 SK

Pavlović, R., Varga, S.: Investigation of morphological changes of the Danube due to sediment movement. Proceedings, XIII. Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecastings, Belgrade, 1986 E

Varga, S., Bruk, S., Babi-Mladenović, M., Malešev, M.: Metode istraživanja i rezultati merenja pronosa nanosa na Dunavu i pritokama u zoni uticaja HE Derdap I. Savetovanje u uticaju uspora HE Derdap I na režim Dunava i priobalja (Untersuchungsmethoden und Meßergebnisse über die Feststoffführung der Donau und ihrer Zubringer in der Umgebung des Wasserkraftwerkes Eisernes Tor I). Vodoprivreda, br. 123–124, 1990 SK

Rumänien – Румыния

Bondar, C.: Tendences d'evolution de l'ecoulement d'alluvions sur le cours inferieur du Danube. Symposions on the Efects of Man on the Interface of the Hydrological Cycle with the Physical Environment. Paris 1974. Bulletin of the International Association of Hydrological Sciences, Vol. 20, No. 1/1973 F

Bondar, C.: Закономерности переноса влекомих наносов в нижнем течении Дуная (Messung der Schwebstofffracht an der Unteren Donau). VII. Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, 1973. Сборниц Докладов, София, 1975 R

Bondar, C., State I.: The Danube River contribution with water and silts to the Black Sea. Cercetâri marine, IRCM nr. 10, Constanţa, România, 1977 E

Bondar, C.: Date asupra tranzitului şi depunerilor de aluviuni în sectorul româno-iugoslav al lacului de retenţie Porţile de Fier 1, pe anii 1971–1981 (Einige Daten über die Geschiebeführung und -absetzung entlang des rumänisch-jugoslawischen Donauabschnittes bei der Stauhaltung Eisernes Tor I, zwischen 1971 und 1981). Hidrotehnica, Vol. 28, nr. 12/1983, Bucureşti RO

Bondar, C.: Scurgerea aluviunilor în suspensie so tîrîte pe Dunăre în sectorul Dobreta/Turnu Severin–Isaccea în perioada 1948–1982 (Schwebstoff- und Geschiebeführung der Donaustrecke zwischen Dobreta–Turnu Severin–Isaccea, von 1948 bis 1982). Hidrotehnica Vol. 31, nr. 11/1986, Bucureşti RO

Diaconu, C. şi colab.: Zona de vârsare a Dunarii. Monografie hidrologica (Das Flußgebiet der Donau. Eine hydrologische Monographie). Bucureşti, 1963 RO

Diaconu, C. şi colab.: Rîurile României. Monografie hidrologică (Rumänische Flüsse. Eine hydrologische Monographie). Bucureşti 1971 RO

Дунайская Комиссия, Рекомендации по координации годрометеорологической службы на Дуная (Donaukommission: Empfehlungen für die hydrometeorologischen Dienste an der Donau). Budapest, 1979 R

Stânescu, V. şi colab.: Dunărea între Baziaş şi Ceatal Izmail. Monografie hidrologica (Die Donau zwischen Bazias und Ceatal Izmail). Bucureşti 1967 RO

Bulgarien – Болгария

Георгиев, Б.: Локальные антропогенные температурные воздействия на р. Дунай и их прогноз. (Georgiev, B.: Lokale anthropogene Auswirkungen auf das Temperaturregime der Donau und dessen Vorhersage) XII. конференция дунайских стран по гидрологическим прогнозам, Братислава, 1984 R

Гергов, Г.: Типы русловых процессов на притоках р. Дунай в Болгарии. (Gergov, G.: Typologie der Abflußprozesse der bulgarischen Zubringer der Donau.) Сборник докладов , VII. конференция дунайских стран по гидрологическим прогнозам, Варна, 1973 R

Гергов, Г., Ненов, Ив.: Изменение высотноао расположения островов в Болгаро-Румынском участке р. Дунай при бытовом и нарушенном режиме. (Gergov, G. und Nenov, I.: Veränderungen der Inselhöhen entlang der bulgarisch-rumänischen Donaustrecke unter natürlichen Umständen und unter anthropogenen Einflüssen.) X. конференция дунайских стран по гидрологическим прогнозам, Вена, 1979 R

Гергов, Г., Ненов, Ив.: Морфологцческие характеристики островных участков на р. Дунай в районе от 375 км до 845 км. (G. Gergov,Nenov I.: Morphologische Charakteristika der Flußinseln an der Donau im Stromabschnitt zwischen km 375 und km 845). XII. конференция дунайских стран по гидрологическим прогнозам, Братислава, 1984 R

Гергов, Г., Блъскова, Ст.: Гранулометрический состав взвешенных наносов болгарских притоков реки Дунай. (Gergov, G. und S. Blaskova: Kornverteilung des Schwebstoffes der bulgarischen Donauzubringer.) XIII. конференция дунайских стран по гидрологическим прогнозам, Белград, 1986 R

Гергов, Г.: Научни и научно-технически проблеми на абиотичнама среда в Българския сектор на р. Дунав. (Gergov, G.: Wissenschaftliche und technische Probleme der Abiota am bulgarischen Donauabschnitt.) Journal of the Bulgarian Academy of Sciences, No 2. Sofia, 1992 BG

Нинов, Пл.: Иследване на максималната мътност на р. Дунав в българския участък. (Ninov, P.: Maximale Turbidität des bulgarischen Donauabschnittes.) Problems of Meteorology and Hydrology, No. 7, Sofia, 1990 BG

Печинов, Д.: Плаващи наноси на р. Дунав (Petschinov, D.: Schwebstofführung der Donau.) Hydrology and Meteorology, No. 2. 1961 BG

Печинов, Д.: Проучоване на наносите в българския участък на р. Дунав. (Petschinov, D.: Untersuchung der Feststoffe der Donau) Proceedings of the Institute for Hydrology and Meteorology, Vol. XIV. Sofia, 1968 BG

Печинов, Д., Гергов, Г., Ненов, Ив.: Прогноз русловых деформарии в нижнем бьефе гидроузла Никопол-Т. Мъгуреле. (Petschinov, D., Gergov, G., und Nenov, I.: Vorhersage der Flußbettdeformationen unterhalb der Staustufe Eisernes Tor I.) Proceedings of the VIII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting, Regensburg, 1977 R

Печинов, Д.: Плаващи наноси в бълаарския сектор на р. Дунав. (Petschinov, D.: Schwebstoffe im bulgarischen Donauabschnitt.) The Danube river limnology, Sofia, 1978 BG

Райнов, Щ. и др.: Острова и их происхождение. (Rajnov, S. et al.: Die Flußinseln der Donau und ihre Herkunft.) Proceedings of the State Institute on Hydrology, Leningrad, Gidrometeoizdat, Vol. 263, 1980 R

Райнов, Щ. и др.: Острови и островообразуване в българо–румьнския участък на река Дунав. (Rajnov, S. et al.: Flußinseln und Inselformationen am bulgarisch–rumänischen Donauabschnitt). The Danube River Hydrological Studies Vol. I, Sofia, BAS, 1981 BG

Райнов, Щ. и др.: Плаващи наноси в българо–румьнския участък на река Дунав. (Rajnov, S. et al.: Schwebstofführung am bulgarisch-rumänischen Donauabschnitt.) The Danube River Hydrological Studies. Vol. I, Sofia, BAS, 1981 BG

Verzeichnis der Tabellen – Список таблиц – List of tables

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1. Schwebstoff- und Geschiebeangaben aus den einzelnen Donauländern

Tabelle 2. Heranzogene Meßstationen der Donau zur Untersuchung der Schwebstofffracht und des Geschieberegimes

Tabelle 3. Jährliche Schwebstofffrachten der einzelnen Stationen von 1956 bis 1985

Tabelle 4. Höchste, mittlere und niedrigste jährliche Schwebstoffrachten und Kennzahlen ihrer Variabilität an den einzelnen Stationen

Tabelle 5. Jahresgang der Schwebstofffracht der Donau

Tabelle 6. Schwebstoffdaten für die rumänische Donaustrecke mit einer den Anfängen bedeutender anthropogener Einflüsse entsprechenden Zeiteinteilung

Tabelle 7. Schwebstofffrachten der wichtigeren Zubringer der Donau

Tabelle 8. Jahresgang der Schwebstofführung der Zubringer der Donau

Список таблиц

Таблица 1. Данные по наносам, полученные от придунайских стран

Таблица 2. Пункты наблюдений, ипользованных в исследованиях режима твердого стока

Таблица 3. Годовое количество взвешенных наносов по отдельным пунктам наблюдений в период 1956–1985 гг.

Таблица 4. Максимальное, среднее и минимальное годовое количество взвешенных наносов по отдельным пунктам наблюдений

Таблица 5. Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов р. Дунай

Таблица 6. Данные по взвешенному стоку на румынском участке р. Дунай по периодам времени согласно начала крупных антропогенных воздействий

Таблица 7. Сток взвешенных наносов главных притоков р. Дунай

Таблица 8. Внутригодовое распределение взвешенных наносов притоковв р. Дунай

List of tables

Table 1. Suspended sediment and bed-load data supplied by the Danube countries

Table 2. Gauging stations involved into the investigation of suspended sediment and bed-load regime

Table 3. Annual suspended sediment transport measured at selected gauging stations between 1956 an 1985

Table 4. Maximum, mean and minimum annual suspended sediment transport and its variability at selected gauging stations

Table 5. Variation within the year of the suspended sediment transport of the Danube

Table 6. Suspended sediment data for the Romanian Danube reach, using time periods selected according to the major anthropogeneous interferences

Table 7. Suspended sediment transport of the major tributaries of the Danube

Table 8. Variation within the year of suspended sediment transport of the tributaries

Verzeichnis der Bilder – Список рисунков – List of figures

Verzeichnis der Bilder

Bild 1. Das Einzugsgebiet der Donau

Bild 2. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Ulm, Ingolstadt und Hofkirchen

Bild 3. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Passau, Linz und Bad Deutsch-Altenburg

Bild 4. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Rajka, Nagymaros und Mohács

Bild 5. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Bezdan, Bogojevo und Pancevo

Bild 6. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Orsova (seit 1971: Dobreta–Turnu Severin, 937 km), Novo Selo und Lom

Bild 7. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Svistov, Zimnicea und Silistra

Bild 8. Ganglinien der jährlichen Schwebstofffrachten und der Abflußsummen bei Vadu Oii und Ceatal Izmail

Bild 9. Längsschnitt der Donau

Bild 10. Schwebstoffkonzentration vom 1.6–9. 6.1976 (nach Tippner 1979)

Bild 11. Veränderung der mittleren jährlichen Schwebstoffkonzentration und -führung bei Svistov (km 554) zwischen 1961 und 1985 (nach Petschinov 1987)

Bild 12. Längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten in drei ausgewählten wasserarmen Jahren

Bild 13. Längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten in drei ausgewählten wasserreichen Jahren

Bild 14. Längsschnittmäßige Verteilung der jährlichen Schwebstofffrachten an den Meßstationen

Bild 15. Veränderung der jährlichen mittleren Schwebstofführung an der bulgarischen Donaustrecke (nach Gergov 1977)

Bild 16. Mittlerer spezifischer jährlicher Bodenverlust der Teileinzugsgebiete des Donaubeckens

Bild 17. Trend der jährlichen Schwebstofffrachten am Donaupegel Rajka von 1956 bis 1985

Bild 18. Kornverteilung des Schwebstoffes an der ungarischen und bulgarischen Donaustrecke

Bild 19. Kornverteilung des Schwebstoffes bei Novo Selo vor und nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Eisernes Tor I (nach Petschinov 1984)

Bild 20. Kornverteilung des Schwebstoffes an der rumänischen Donaustrecke vor und nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Eisernes Tor I

Bild 21. Entwicklung der Gesamtschwebstofführung der Zubringer der bulgarischen Donaustrecke (nach Petschinova 1988)

Bild 22. Veränderung der Anzahl der Speicher und des Verhältnisses des Speichervolumens zur jährlichen Abflußsumme im Einzugsgebiet der bulgarischen Donaustrecke (nach Petschinova 1988)

Bild 23. Ganglinie des jährlichen Geschiebevolumens an der deutschen Donaustrecke (nach Angaben der Bundesanstalt für Wasserbau)

Bild 24. Veränderung der Kornverteilung des Geschiebes an der deutschen Donaustrecke (nach Bauer 1965)

Bild 25. Kornverteilung des Geschiebes an der rumänischen Donaustrecke vor und nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Eisernes Tor I

Bild 26. Granulometrische Zusammensetzung der Flußsohle der Donau von km 833 bis km 2161 (Rajnov et al. 1979)

Bild 27. Anteil des Geschiebes an der Feststoffführung der Donau vor 1960 (nach Kresser und László ffy 1964)

Список рисунков

Рис. 1. План водосбора р. Дунай

Рис. 2. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Улм, Инголштадт,Хофкирхэн)

Рис. 3. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Пассау, Линц, Бад Дайч-Алтенбург)

Рис. 4. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Райка, Надьмарош, Мохач)

Рис 5. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Бездан, Богоево, Панчево)

Рис. 6. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Оршова с 1971 года: Добрета-Турну Северин, 937 ркм; Ново-Село, Лом)

Рис. 7. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Свиштов, Зимнича, Силистра)

Рис. 8. Изменение годового стока взвешенных наносов и жидкого стока (Ваду Оии, Чатал Измаил)

Рис. 9. Продольный профиль р. Дунай

Рис. 10. Изменение мутности взвешенного стока в период 1–9 июня 1976 года. (Типпнер, 1979)

Рис. 11. Изменение величин среднегодового расхода воды, взвешенного наноса и мутности у Свиштова (554 ркм) в период 1961–1985 (Печинов, 1987)

Рис. 12. Изменение годового стока взвешенных наносов по длине реки в трех выбранных маловодных годах

Рис. 13. Изменение годового стока взвешенных наносов по длине реки в трех выбранных маловодных годах

Рис. 14. Изменение максимального, среднего и минимального годового стока по длине реки

Рис. 15. Изменение среднегодового расхода воды и наносов в 1977-ом году на болгарском участке р. Дунай (Гергов, 1977)

Рис. 16. Изменение удельной величины среднего годового смыва почвы по длине р. Дунай

Рис. 17. Тенденция изменения годового стока взвешенных наносов у станции Райка в период 1956–1985 гг.

Рис. 18. Гранулометрический состав взвешенных наносов на венгерском и болгарском учстках р. Дунай

Рис. 19. Состав фракций взвешенного наноса у Нового Села до и после ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I (Печинов, 1984)

Рис. 20. Состав фракций взвешенного наносов на румынском участке р. Дунай до и после ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I

Рис. 21. Среднегодовой расход взвешенного наноса всех притоков болгарского участка р. Дунай (Печинова 1988)

Рис. 22. Изменение общего числа водохранилищ, а также отношения ёмкостей водохранилищ к годовому объёму стока на водосборе болгарского участка р. Дунай (Печинова 1988)

Рис. 23. Изменение годового объёма влекомых наносов на немецком участке р. Дунай (по данным Федерального ведомства по гидротехническому строительству)

Рис. 24. Изменение гранулометрического состава руслового материала на немецком участке р. Дунай (по Бауэру 1965)

Рис. 25. Состав фракций влекомых наносов на румынском участке р. Дунай до и после ввода в эксплуатацию плотины Железные Ворота I

Рис. 26. Состав руслового натериала р. Дунай между 833 и 2161 ркм (Райнов и др. 1979)

Рис. 27. Процент влекомых наносов в суммарном твердом стоке р. Дунай до 1960 года (по Крессеру и Ласлоффи 1964)

List of figures

Fig. 1. The Danube Basin

Fig. 2. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Ulm, Ingolstadt and Hofkirchen

Fig. 3. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Passau, Linz and Bad Deutsch-Altenburg

Fig. 4. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Rajka, Nagymaros and Mohács

Fig. 5. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Bezdan, Bogojevo and Pancevo

Fig. 6. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Orsova, Novo Selo and Lom

Fig. 7. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Svistov, Zimnicea and Silistra

Fig. 8. Time series of annual suspended sediment transport and annual summarized flow discharge at the gauging stations Vadu Oii and Ceatal Izmail

Fig. 9. Longitudinal section of the Danube River

Fig. 10. Concentration of suspended sediment between 1 and 9 June 1976 (after Tippner 1979)

Fig. 11. Variation of the annual average suspended sediment concentration and transport at Svistov (km 554) between 1961 and 1985 (after Pechinov 1987)

Fig. 12. Variation of annual suspended sediment transport along the Danube in three selected dry years

Fig. 13. Variation of annual suspended sediment transport along the Danube in three selected wet years

Fig. 14. Variation of the maximum, mean and minimum annual suspended sediment transport along the river at the measuring stations

Fig. 15. Variation of mean annual suspended sediment discharge along the Bulgarian Danube reach (after Gergov 1977)

Fig. 16. Mean annual specific loss of soil from the various subbasins of the Danube

Fig. 17. Trend of time series of annual suspended sediment transport at the station Rajka between 1956 and 1985

Fig. 18. Grain-size distribution of suspended sediment at the Hungarian and the Bulgarian Danube reach

Fig. 19. Grain-size distribution of suspended sediment at the station Novo Selo before and after the putting into operation of the Iron Gate I hydroelectric power plant (after Pechinov 1984)

Fig. 20. Grain-size composition of suspended sediment in the Romanian Danube reach before and after the putting into operation of the Iron Gate I hydroelectric power plant

Fig. 21. Development of the total suspended sediment transport of the tributariens along the Bulgarian Danube reach (after Pechinova 1988)

Fig. 22. Variation of the number of reservoirs and that of the ratio between total storage volume and annual summarized flow discharge in the basin of the Bulgarian Danube reach (after Pechinova 1988)

Fig. 23. Time series of annual bed-load transport along the German Danube reach (after information from the Federal Institute for Hydraulic Engineering)

Fig. 24. Variation of the grain-size distribution of bed-load along the German Danube reach (after Bauer 1965)

Fig. 25. Grain-size distribution of bed-load on the Romanian Danube reach before and after the putting into operation of the Iron Gate I hydroelectric power plant

Fig. 26. Grain-size distribution of the bed material of the Danube between km 833 and 2161 (after Rajnov et al. 1979)

Fig. 27. Share of bed-load in the total sediment transport of the Danube before 1960 (after Kresser and László ffy 1964)