

XV КОНФЕРЕНЦИЯ ДУНАЙСКИХ СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ
XV KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN

8—13 октября 1990 г.
ВАРНА
БОЛГАРИЯ

8—13 oktober 1990
VARNA
BULGARIEN

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
KONFERENZBERICHT

Издание Национального Комитета Болгарии по Международной
Гидрологической Программе — ЮНЕСКО
Herausgegeben von Nationalkomitee Bulgarien für das
Internationale Hydrologische Programm — UNESCO

СОФИЯ/SOFIA
1991

XV. КОНФЕРЕНЦИЯ ДУНАЙСКИХ СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ
XV KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN

8 - 13 октября 1990 г.
В а р н а
Б О Л Г А Р И Я

8.- 13. OKTOBER 1990
V A R N A
B U L G A R I E N



СБОРНИК ДОКЛАДОВ KONFERENZBERICHT

Издание Болгарского Национального Комитета по Международной
Гидрологической Программе - ЮНЕСКО

Herausgegeben von Nationalkomitee Bulgarien für das
Internationale Hydrologische Programm - UNESCO

СОФИЯ/SOFIA
1991

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Национальный Комитат РБ по Международной Гидрологической
Программе Болгарская Академия Наук
Национальная Комисия РБ по ЮНЕСКО
Институт по Метеорологии и Гидрологии

VERANSTALTER:

Nationalkomitee der RB zum Internationalen Hydrologischen
Programm Die Bulgarische Akademie der Wissenschaften
Die nationale bulgarische UNESCO-Komission
Institut für Meteorologie und Hydrologie

Сборник докладов подготовили к печати:

д.т.н. Д. Мандаджиев, к.т.н. Сн. Дакова , к.ф.м.н. Д. Димитров

Konferenzbericht Gaben zur Ausgabe:

Dr. D. Mandadjiev, Dr. Sn. Dakova, Dr. D. Dimitrov

СОДЕРЖАНИЕ - INHALTSVERZEICHNIS

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ДОКЛАДЫ

NATIONALBEITRÄGE

Национальный доклад Федеративной Республики Германии к XV Конференции Дунайских стран по гидрологическим прогнозам <i>Д-р инж. Райнхард Шмидке</i>	1
Nationalbeitrag der Bundesrepublik Deutschland zur XV Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen <i>Dr. Ing. Reinhard F.Schmidtke</i>	1
Гидрологические прогнозы в Австрии - состояние на 1990 г. <i>Ф.Нобилис</i>	11
Hydrologische Vorhersagen in Österreich - Stand 1990 <i>F.Nobilis</i>	11
Оперативный мониторинг гидрометеорологической системы для обеспечения гидрометеорологических прогнозов <i>Иван Кунш, Магда Чижикова, Братислава</i>	18
Operativer Monitoring des hydrometeorologischen Systems zur Sicherung hydrologischer Vorhersagen <i>Ivan Kunsch, Magda Cizova, Bratislava</i>	18
Опыт развития оперативного обмена гидрометеорологической информацией во время прохождения паводков <i>Балинт Габор, Боди Кароя, Венгрия</i>	23
Versuch zur Entwicklung des Austausches der Hydrometeorologischen Information während des Hochwasserverlaufes <i>Balinski Gabor, Bodi Karoi, Ungarn</i>	23
Достижения в области гидрологических прогнозов по Дунаю и его притокам от предыдущей Конференции до настоящего времени <i>Подани Мирча, Румыния</i>	29
Leistungen auf dem Gebiet der Hydrologischen Vorhersagen für die Donau und ihre Nebenflüsse seit der vorigen Konferenz bis heute. <i>Podani Mirtscha, Rumänien</i>	29
Состояние гидрологических прогнозов в СФРЮ <i>Т.Петкович, Белград</i>	32
Die Lage der Hydrologischen Vorhersagen in Jugoslawien <i>T. Petkovitsch, Belgrad</i>	32
Вопросы научного и оперативного обеспечения гидрологических прогнозов в Болгарии. <i>Добри Димитров, Болгария</i>	35
Allgemeine Fragen über die wissenschaftliche und operative Sicherung der hydrologischen Vorhersagen in Bulgarien <i>Dobri Dimitroffp Bulgarien</i>	35
Служба гидрологических прогнозов СССР <i>А. П. Жидиков, Москва</i>	40
Hydrologischer Vorhersagedienst der UdSSR <i>A. P. Zhidikov, Moskau</i>	40

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОКЛАДЫ

INDIVIDUELLE BEITRÄGE

Раздел I - Современные методы краткосрочных и долгосрочных гидрологических прогнозов

Teil I - Gegenwärtige Methoden der kurz und langfristigen hydrologischen Vorhersagen

Краткосрочный прогноз паводков с помощью фильтра Кальмана <i>Барт Фридрих, ФРГ</i>	52
Kurzfristige Hochwasservorhersage unter Anwendung des Kalman-filters <i>Barth Friedrich, BRD</i>	52
Стохастическая модель прогнозирования минимального месячного стока р. Дунай в болгарском участке <i>М. Генев, Г. Дамьянов, Болгария</i>	59
Stochastisches Modell zur Vorhersage des minimalen Monatsabflusses der Donau an der bulgarischen Strecke <i>M. Genev, G. Damjanov, Bulgarien</i>	59
Генерирование одновременных гидрографов стока для реки Дунай и р. Изар <i>Вольфганг Крон, Юрген Ирингер, Эрих Плате, ФРГ</i>	69
Generierung von gleichzeitigen Abflussganglinien für Donau und Isar <i>Wolfgang Kron, Jürgen Ihringer, Erich Plate, BRD</i>	69
Некоторые вопросы применения мультилинейной каскадной модели, связанной с стохастической моделью предсказания ошибок на реках с боковым притоком <i>Ян Шолгай, Борис Минарик, ЧСФР</i>	76
Überlegungen zur Abflussvorhersage mittels einer mit Bayesschen Fehlergliedmodell gekoppelten multilinearen Speicherkaskade auf Flussstrecken mit seitlichen Zuflüssen <i>Jan Szolgay - Boris Minarik, CSBR</i>	76
О результатах применения модели прогнозирования притока вод на р. Драу на практическом примере 1989 г. <i>Куги, Австрия</i>	84
Erfahrungsbericht über den Einsatz des Zufließsvorhersagemodells an der Drau anhand praktischer Beispiele des Jahres 1989 <i>W. Kugi, Österreich</i>	84
Рекурсивные оценки при помощи стохастической модели <i>Ионел Злате-Подани, Румыния</i>	98
Recursive Einschätzungen anhand des stochastischen Modells <i>Jonel Zlate-Podani, Rumänien</i>	98
Применение метода минимизации максимальных ошибок в прогнозах пика паводков <i>Ковач Шандор, Венгрия</i>	105
Anwendung der Methode der Minimilisation der Maximalen Fehler bei Vorhersagen des Hochwassergipfels <i>Kowatch Shandor, Ungarn</i>	105

Применение линейной модели каскады водохранилища с учетом возвратных вод на р. Одер <i>Messal H.</i>	112
Anwendung des Modells der Linearen Speicherkaskade mit Berücksichtigung von Rückstauwirkungen an der Oder <i>Messal, H.</i>	112
Долгосрочные прогнозы притока воды в водохранилище на горной реке <i>Мухин В. М., Москва</i>	119
Langfristige Vorhersagen des Zuflusses im Wasserspeicher am Bergfluss <i>Muchin V. M., Moskau</i>	119
<u>Раздел II - Использование прогнозов метеозаэментов и особенно количества осадков в гидрологических прогнозах</u>	
<u>Teil II - Nutzung von Prognosen der meteorologischen Elemente und insbesondere der quantität der Niederschläge für hydrologische Vorhersagen</u>	
Применение математической модели формирования дождевого стока с распределенными параметрами при краткосрочном прогнозировании паводков <i>Соседко М.Н., Маслова Т. В., Лукьянец О. И., УССР</i>	126
Anwendung des mathematischen Modells bei der Formierung des Regenabflusses mit verteilten Parametern bei der kurzfristigen Vorhersage des Hochwassers <i>Sosedko M.N., Maslova T.V., Lujanez O.I., UkrSR</i>	126
Возможности гидрологического прогноза краткосрочных паводков в гидрографических бассейнах проливного режима <i>Д-р инж. В. А. Станеску, А. Станчу, Румыния</i>	132
Möglichkeiten für hydrologische Vorhersagen der kurzfristigen Hochwasser in hydrographischen Becken im territorialen Regime <i>Dr. Ing. V. Stanesku, A. Stanchu, Rumänien</i>	132
Использование физико-математических моделей дождевого и талого стока для краткосрочных прогнозов расходов воды в речной сети <i>В. Н. Демидов, Н. А. Назаров, Москва</i>	137
Anwendung der physisch-mathematischen Modelle bei Regen - und Schmelzwasser Abflusses für kurzfristige Vorhersagen der Abflussmenge im Flussnetz <i>V. N. Demidov, N. A. Nasarov, Moskau</i>	137
Изучение по определенным случаям моделей долгосрочного прогноза в период таяния снега в горных бассейнах <i>Д-р инж. В. А. Станеску, Румыния</i>	144
Untersuchung bestimmter Modelle für Langfristige Vorhersagen in der Zeit der Schneeschmelze in Gebirgsbecken <i>Dr. ing. V. A. Stanesku, Rumänien</i>	144

Об использовании метеорологических прогнозов в краткосрочных прогнозах стока в период весеннего половодья <i>Бельчиков В. А., Корень В. И., Нечаева Н. С., СССР</i>	152
Über die Anwendung meteorologischer Prognosen im kurzfristigen Vorhersagen des Abflusses zur Zeit des Frühlings hochwassers <i>Beljchikov V. A., Korenj V. I., Nechaeva N. S. UdSSR</i>	152
Прогноз дождевых паводков реки Прут у входного створа Костештского водохранилища по осадкам <i>Горная А.И., Серенко Л.К. СССР</i>	159
Vorhersage des Regenhochwassers des Prutflusses am Eingangsprofil des Kotesch Wasserbeckens nach den Niederschlägen <i>Gornaja A.I., Serenko L.K. UdSSR</i>	159
Измерение и прогноз осадков с помощью радара погоды <i>Йохан Ридл, ФРГ</i>	165
Niederschlagsmessung und - Vorhersage mittels Wetterradar <i>Johann Riedl. BRD</i>	165
 <u>Раздел III - Применение гидрологических прогнозов в водохозяйственной практике и учет их экономической эффективности</u>	
<u>Teil III - Anwendung der Hydrologischen Prognosen in der Wasserwirtschaft und die Berücksichtigung ihrer ökonomischen effektivität</u>	
Математическая модель прогнозирования состояния водохранилища в реальном времени <i>Прохаска С.И., Бартош Б.И., Милутин Д.Н., Ивезич Л.И. Югославия</i>	172
Mathematisches Modell zur Vorhersage des Zustandes der Wasserbecken in realer Zeit <i>Prochaska S.I., Bartoch B.I., Milutin D.N., Ivesich L.I. Jugoslawien</i>	172
Результаты оперативного долгосрочного прогнозирования минимальных расходов реки Дунай у города Русе <i>Димитров Д., Г.Здравкова - Болгария</i>	181
Ergebnisse aus der operativen langfristigen Prognosen für den minimalen Abfluss des Donau-Flusses bei der Stadt Russe <i>Dimitrov D., G.Zdravkova, Bulgarien</i>	181
Долгосрочная симуляция антропогенного затопляне на большие реки <i>Д-р инж. Вернер Есер - ФРГ</i>	187
Langzeitsimulation der anthropogenen Erwärmung grober Flusse <i>Dr. ing. Werner Esser, BRD</i>	187
Изменение режима вод и прогноз меженных расходов воды реки Дравы <i>О. Боначчи, Д. Тринич - Югославия</i>	211

Veränderung des Wasserregimes und die Prognose des Niedrigwassers der Drau <i>O. Bonacchi, D. Trinich, Jugoslawien</i>	211
Установление методики расчета потенциальных убытков паводков и необходимые основные данные <i>Д-р Волфганг Гюнтер, ФРГ</i>	219
Ermittlung von Hochwassersschadenspotentialen - Methodik und erforderliche Datengrundlagen <i>Dr. Wolfgang Günther, BRD</i>	219
Прогноз паводочных волн на настольном калькуляторе <i>Дьердь Буковски, Венгрия</i>	226
Vorhersage der Hochwasserwelle mit Hilfe des tragbaren Kalkulators <i>Dord Bukowski, Ungarn</i>	226
<u>Раздел IV - Научные и оперативные основы создания систем сбора обработки и передачи данных и организация обмена информацией</u>	
<u>Teil IV - Wissenschaftliche und operationelle Grundlagen für den Aufbau der Systeme für Datenerfassung. Datenverarbeitung, Datenübertragung und Organisation des Informationsaustausches.</u>	
Современное развитие оперативной службы по предохранению от паводков в дунайском участке ФРГ <i>Юрген Бекман, инж. Франц-Клеменс Холле, ФРГ</i>	231
Neuere Entwicklungen beim operationellen Hochwasserwarndienst für das deutsche Donaugebiet <i>Jürgen Beckmann, Dipl. Ing. Franz-Klemens Holle, BRD</i>	231
Оперативная процедура Danubius Amonte для прогноза расходов Дуная при входе в озеро Железные ворота I <i>А-р инж. В. Станеску, В. Унгуряну, инж. Ч. Корбуш, Румыния</i>	237
Operative Prozedur Danubius Amonte für die Vorhersage der Donauwassermengen beim Eingang im See Eiserner Tor I <i>Dr. Ing. V. Stanesku, V. Ungurjanu, Ing. Ch. Korbusch, Rumänien</i>	237
Оперативная процедура Danubius Aval для гидрологического прогноза на румынском участке Дуная <i>Д-р инж. П. Шербан, инж. Ч. Корбуш, Румыния</i>	246
Operative Prozedur Danubius Aval für die hydrologische Vorhersage im rumänischen Donaugebiet <i>Dr. Ing. P. Scherban, inj. Ch. Korbusch, Rumänien</i>	246
Некоторые вопросы влияния гидроузла "железные ворота" на режим колебаний уровней реки Дунай на болгарском участке <i>Д. Димитров, Болгария</i>	254
Allgemeine Aspekte ueber den Einfluss des Hydrotechnischen komplexes "Jelesni wrata" auf den wasserni veauschwankungen des Donau-Flusses auf seinem bulgarischen Gebiet <i>Dobri Dimitroff, Bulgarien</i>	254

Развитие и применение методов мониторинга и прогноза процессов перераспределения стока в дельте Дуная <i>В. Ф. Полонский, П. С. Гранич, В. Н. Морозов, СССР</i>	260
Entwicklung und Anwendung der Methoden für Monitoring und Vorhersagen der Prozesse der Abflussverteilung in der Donaudelta <i>V. F. Polonski, P. S. Granich, V. N. Morosov, UDSSR</i>	260
Автоматизированная информационная система для долгосрочных прогнозов стока горных рек <i>Шенцис И. Д., СССР</i>	267
Automatisiertes Informationssystem für langfristiges Vorhersagen des Abflusses in Bergflüssen <i>Schenzis I. D. UDSSR</i>	267
<u>Раздел V - Прогноз температурного и ледового режимао</u>	
<u>Teil V - Vorhersage des Temperatur und Eisregimes</u>	
Повышение надежности и оценка точности ледовых прогнозов, основанных на статистических зависимостях <i>С. В. Шаночкин, В. А. Бузин, СССР</i>	273
Sicherheitserhöhung und Einschätzung der Genauigkeit der Eisprognosen anhand der statistischen Abhängigkeiten <i>S. V. Schanochkin, V. A. Busin, UDSSR</i>	273
<u>Раздел VI - Прогноз стока наносов и русловых деформаций</u>	
<u>Teil VI - Vorhersage der Geschiebe und schwebstoffracht und dermorphologischen Veränderungen des Flussbettes</u>	
Возможности прогнозирования наносов в австрийском участке Дуная <i>В. Боро, Австрия</i>	280
Prognosemöglichkeiten für den Schwebstoffgenalt der Österreichischen Donau <i>W. Bors, Österreich</i>	280
Способы прогнозирования речных морфологических изменений Дуная между Шраубинг и Вилсхофен <i>Д-р В. Зьонген, Г. Лоя, Я. Келерман, ФРГ</i>	287
Vorgehensweise zur Prognose flussmorphologischer Veränderungen der Donau zwischen Straubing und Vilshofen <i>Dr. B. Söhngen, G. Loy, J. Kellermann, BRD</i>	287
Прогнозирование морфологических тенденций развития подпорных участков рек <i>Б. Вестрих, Я. М. Хан, ФРГ</i>	295
Vorhersage morphologischer Entwicklungstendenzen in gestauten Flussabschnitten <i>B. Westrich, J. M. Ham, BRD</i>	295
Пути прогноза гидроморфологической ситуации на реках бассейна Дуная <i>Б. Ф. Снисченко, Д. В. Снисченко, СССР</i>	301
Vorgehensweise zur Prognose der hydromorphologischen Situation an den Flüssen des Donaubeskens <i>B. F. Snischenko, D. V. Snischenko, UDSSR</i>	301

Применение дистанционных методов при исследовании русловых процессов	
<i>Таратутин А. А., Шевельук А. А., СССР</i>	305
Anwendung der Distanzmethode bei der Untersuchung der Flussbettprozesse	
<i>Taratutin A. A., Scheveljuk A. A., UDSSR</i>	306
Методы расчета и прогноза гидролого-морфологических процессов в дельтах крупных рек	
<i>В. Н. Михайлов, СССР</i>	310
Abrechnungs- und Prognosenmethoden für hydrologisch-morphologische Prozessen in Delta der Grossflüsse	
<i>V. N. Michailov, UDSSR</i>	310
Прогноз изменений речной сети в Венгерском участке реки Дуная	
<i>Ракоци Л., Венгрия</i>	316
Vorhersage von flussetveränderungen an der Ungarischen Donaustrasse	
<i>L. Rakoczi, Ungarn</i>	316
<u>Teil VII - Vorhersage der wasserqualität</u>	
<u>Раздел VII - Прогноз качества воды</u>	
Химический состав воды р. Дуная	
<i>Чернявская А. П., УССР</i>	325
Chemischer Bestand des Donauwassers	
<i>Chernjavskaja A. P., UDSSR</i>	325
Исследование содержания тяжелых металлов в наносах болгарского участка р. Дуная	
<i>С. Блыскова, П. Нинов</i>	331
Untersuchung des Gehaltes an schwere Metalle im Geschiebe des bulgarischen Donaugebiets	
<i>S. Blaskova, P. Ninov</i>	331
Einschätzungsmethoden der möglichen Qudlitätsänderungen der Flussgewässer	
<i>Pravoschinski N. A., Popruga V. I., Lappo L. I., Lovchaja L. V. UDSSR</i>	336
Приемы оценки возможных изменений качества речных вод	
<i>Правотинский Н. А., Попруга В. И., Лаппо Л. И., Ловчая Л. В., СССР</i>	336
Основные принципы использования крупных рек с учетом требования по охране окружающей среды	
<i>Д. Я. Раткович, Л. В. Иванова, СССР</i>	342
Grundprinzipien für die Nutzung grober Flüsse mit Ablesen der Anforderungen des Umweltschutzes	
<i>D. J. Ratkowitsch, L. W. Iwanowa, UDSSR</i>	342

ПРЕДИСЛОВИЕ

XV Конференция Дунайских стран по гидрологическим прогнозам состоялась с 8 по 13 октября 1990 г. в городе Варне.

Предварительно в Болгарском Национальном Комитете было получено 48 докладов. На заседаниях Конференции были заслушаны 39 докладов и проведены дискуссии по тематике каждого раздела. Остальные 9 докладов (отмеченные звездочкой) не были представлены на заседаниях из-за отсутствия докладчиков.

В сборнике отпечатаны все доклады в том виде, в котором они были представлены авторами.

Выражаем сердечную благодарность всем участникам Конференции за усилия и время вложенные для подготовки и представления докладов, а также делегатам Болгарии, которые кроме своего вклада докладчиков, содействовали организации и проведению заседания.

Болгарский Национальный Комитет по

Международной Гидрологической Программе

VORWORT

Die fuenfzehnte Konferenz der Donaulaender hat vom 8 - 13 Oktober in der Stadt Varna (Bulgarien) stattgefunden. Daran nahmen insgesamt 43 Vertreter von allen Donaulaendern teil.

In dem Nationalkomitee Bulgariens fuer das internationale hydrologische Programm waren 48 Beitrage eingetroffen, von denen an den Sitzungen der Konferenz 39 Berichte vorgetragen und diskuriert wurden. Die restlichen 9 Berichte (mit Sternchen Verzeichnet) wurden wegen der Abwesenheit der Referenten nicht gehalten. In dem Sammelband sind alle Vortraege in der Form in der sie von den Autoren vorgelegt wurden, abgedruckt.

Allen Teilnehmern an der Konferenz moechten wir unseren herzlichsten Dank sagen fuer ihre Bemuehungen bei der Vorbereitung und Vortragung der Referate. Unser Dank gilt auch den Delegierten aus Bulgarien, die ihren Beitrag zur Konferenz nicht nur als Referenten geleistet haben sondern auch sehr viel bei der Organisation und Durchfuehrung der Tagungen geholfen haben.

Bulgarisches Nationalkomitee fuer

Internationales Hydrologisches

Programm bei UNESCO

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ДОКЛАДЫ

NATIONALBERICHTE

NATIONALBEITRAG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND ZUR XV. KONFERENZ DER DONAULÄNDER ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN

Dr.-Ing. Reinhard F. Schmidtke

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München, Bundesrepublik Deutschland

Kurzfassung

Der Nationalbeitrag widmet sich in seinem ersten Teil dem Märzhochwasser 1988, das im deutschen Donaugebiet das in diesem Jahrhundert größte Ereignis darstellt. Es werden die Ursachen, der Verlauf, die eingetretenen Schäden sowie die daraus gezogenen Konsequenzen erörtert.

Anschließend gibt die Publikation einen Einblick in drei Aufgabenbereiche, die derzeit Schwerpunkte in den Entwicklungsarbeiten zur Vermeidung und Verminderung von Hochwasserschäden bilden. Im Vordergrund steht der Aufbau eines Informations- und Kommunikationssystems für den Hochwassernachrichtendienst auf der Basis des neu eingerichteten Rechnernetzwerkes. Ein weiterer interessanter Bereich ist die Nutzbarmachung der qualitativen und quantitativen Informationen über den mittels Wetterradar gemessenen Flächenniederschlag. Das letzte vorgestellte Aufgabenfeld betrifft die Erarbeitung von Grundlagen zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen.

Insgesamt bringt der Beitrag zum Ausdruck, daß vor der weiteren Verfeinerung des methodischen Instrumentariums die praktische Umsetzung des erreichten hohen wissenschaftlichen Erkenntnisstandes die Priorität erhalten sollte.

National Contribution of the Federal Republic of Germany to the 15th Conference of the Danube Basin Countries on Hydrological Forecasts

Summary

The national contribution is in its first part concerned with the March 1988 flood, which is the largest event in this century in the German Danube section. The paper describes the causes, the course of the event, the resulting damages and the drawn consequences. In the following the publication gives insight into three areas of concern, which are currently especially emphasised in the development of improved instruments for the avoidance and alleviation of flood damages. Primary attention is given to the development of an information and communication system for the operational flood control service on the basis of the newly established computer network. An additional area of interest is the application of qualitative and quantitative information on precipitation measured by weather radar. The final field of activity introduced here concerns the development of an adequate data basis for the evaluation of flood damage potentials. All in all, the contribution expresses the necessity to give first priority to making the existing theoretical knowledge practicable instead of further refining the scientific methodology.

1. Das Märzhochwasser 1988 im deutschen Donaugebiet

Die Analyse abgelaufener Hochwasserereignisse ist eine bewährte Methode zur Überprüfung des hydrologischen Erkenntnisstandes auf diesem Gebiet sowie zur Fortentwicklung der baulichen und nichtbaulichen Vorsorgemaßnahmen zum Schutz gegen solche Elementargefahren. Dies trifft dann in besonderem Maße zu, wenn es sich - wie im speziellen Fall des Märzhochwassers 1988 - um das im bayerischen Flußabschnitt der Donau höchste in diesem Jahrhundert beobachtete Hochwasser handelt. Im folgenden sollen daher die Ursache, der Verlauf, die eingetretenen Schäden und die gezogenen Konsequenzen kurz dargelegt werden /1, 2/.

Bei winterlichen Hochwasserlagen ist noch mehr als bei Sommerhochwassern die Witterungsgeschichte von erheblicher Bedeutung. Vor allem die Entwicklung der Schneedecke und der Bodenzustand machen die Betrachtung eines längeren Zeitraumes erforderlich. So ist bei der Ursachenanalyse zu erwähnen, daß nach den überdurchschnittlich milden und nassen Monaten November, Dezember und Januar bereits der Februar rund 50 % über dem langjährigen Monatsmittel liegende Niederschläge brachte, die ab Monatsmitte infolge der meist unter dem Gefrierpunkt liegenden Temperaturen eine Schneedecke aufbauten. Infolge weiterer Schneefälle in der ersten Märzdekade ergab sich eine Situation, wie sie durch die Zahlenangaben der Tabelle 1 charakterisiert ist.

Tab. 1: Schneedeckensituation am 14.03.1988

Höhenlage m ü. NN	Schneehöhe cm	Wasserwert mm	Dichte g/cm ³
bis 300	3 - 10	10 - 30	0,2 - 0,4
300 - 400	10 - 35	20 - 80	0,2 - 0,35
400 - 500	20 - 40	30 - 140	0,2 - 0,35
500 - 600	40 - 90	70 - 200	0,2 - 0,3
über 600	über 90	über 200	0,2 - 0,3

Eine am 15. März sprunghaft einbrechende Warmluftphase mit anhaltenden, zum Teil ergiebigen Niederschlägen, brachte den Schneeschmelzprozeß rasch in Gang. Gleichzeitig waren eine extrem hohe Abflußbereitschaft des Einzugsgebietes und praktisch keine Verdunstung vorhanden sowie das Speichervermögen der Vegetation noch nicht entwickelt. Es kam zu einer ersten Hochwasserspitze (Bild 1), die sich nur deswegen zu keinem Extremereignis aufbaute, weil ein Kaltlufteinbruch 17. März eine jähe Unterbrechung herbeiführte.

Eine erneute Erwärmung zu Beginn der dritten Märzdekade und eine anhaltende Niederschlagstätigkeit mit sehr hoher Ergiebigkeit führten am 27. März zu einer flußspitze, wie sie in diesem Jahrhundert noch nicht aufgetreten ist. Zum Abfluß kamen Niederschlagshöhen, die verbreitet 60 - 80 mm betrugen, in höheren Lagen über 100 mm und gebietsweise bis zu 150 mm, sowie aus der Schneeschmelze weitere 40 - 80 mm.

Entsprechend dem geschilderten Witterungsgeschehen zeigt das Märzhochwasser 1988 einen zweigipfeligen Wellenverlauf, wobei die zweite Welle zu Wasserständen

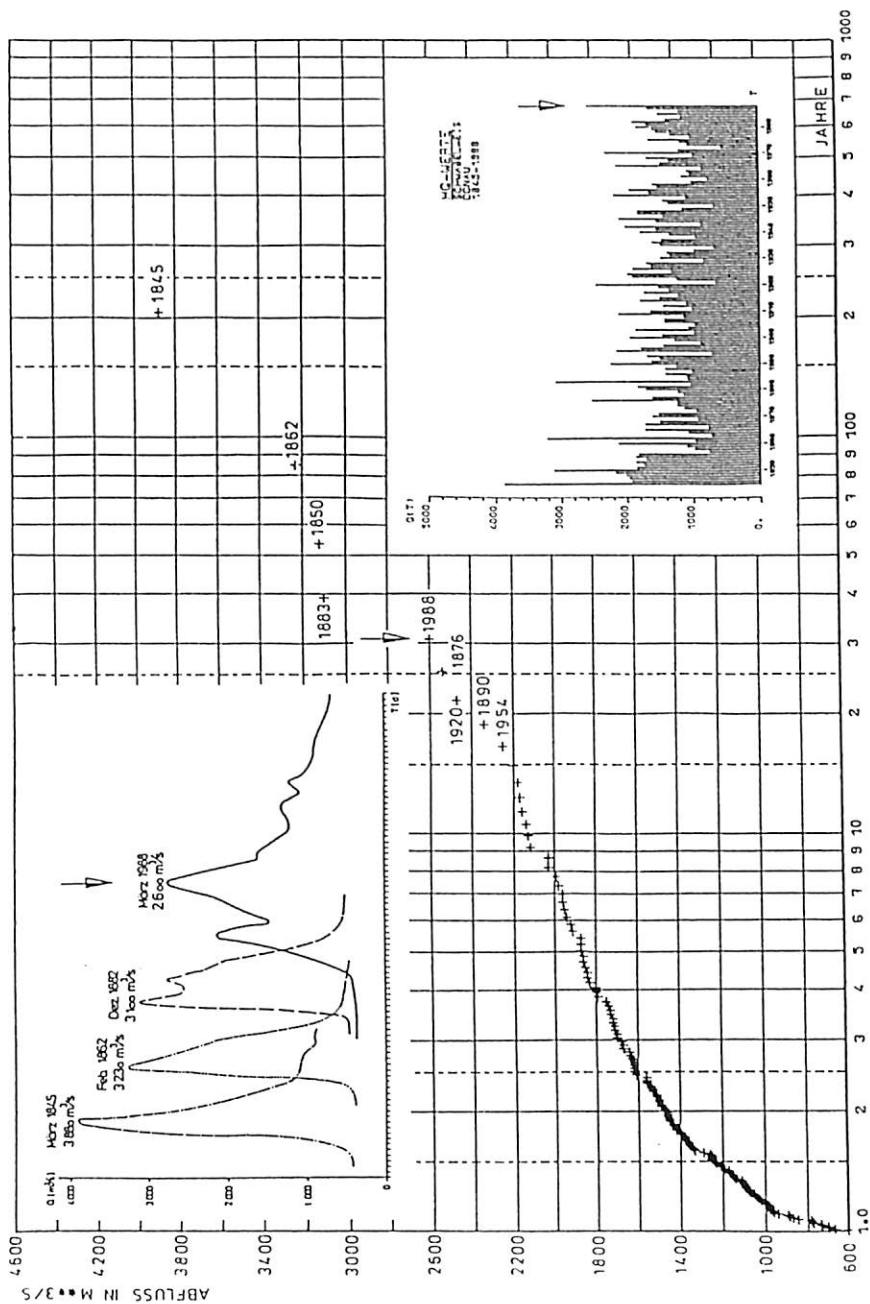


Bild 1: Märzhochwasser 1988 am Pegel Regensburg-Schwabelweis/Donau: Einordnung nach empirischer Wahrscheinlichkeit der Hochwasserscheitelabflüsse und Jahreshöchstabfluß sowie Ganglinienvergleich mit den anderen großen Winterhochwassern

führte, die in Regensburg seit 1883 und in Straubing sogar seit 1845 nicht mehr beobachtet worden waren. Der in diesem Donauabschnitt erreichte Abflussscheitel von 2.600 - 2.700 m³/s besitzt allerdings nur etwa die empirische Wahrscheinlichkeit eines 30jährigen Ereignisses (Bild 1). Da die großen alpinen Nebenflüsse Isar und Inn nur geringe Zuflüsse brachten, liegt das Wiederkehrintervall an der Grenze zu Österreich lediglich bei 3 Jahren.

Demgegenüber zeigt das Hochwasser in seinen Schwerpunkten eine außergewöhnliche Fülle. Über die Dauer von 30 Tagen kam in Regensburg der Rekordwert von rd. 4,3 Milliarden m³ zum Abfluß, was etwa einem Drittel der Jahresabflußsumme entspricht. Wie Tabelle 2 zeigt, ist dieses Verhältnis an den Mittelgebirgsszubringern Naab und Altmühl noch wesentlich ausgeprägter.

Tab. 2: Abflußsumme vom 13.03. - 14.04.1988 an repräsentativen Pegeln

Pegel	A _{EO} km²	Abflußsumme hm³	mm	Anteil an der mittleren Jahresabflußsumme in %
<u>Donau</u>				
Donauwörth	15 037	1 806	120	30,5
Schwabelweis	35 399	4 294	121	30,9
Hofkirchen	47 496	5 306	112	26,4
<u>Naab</u>				
Unterköblitz	2 004	332	166	56,1
Heitzenhofen	5 426	742	137	48,1
<u>Altmühl</u>				
Thann	328	53	162	85,9
Treuchtlingen	983	138	140	77,3
Schellneck	3 223	403	125	59,7

Für den operativen Hochwasserschutz erwies sich die Donaustrecke zwischen Geisling und Hofkirchen als äußerst problematisch, d. h. der noch nicht durch Staufstufen ausgebaute Abschnitt (Bild 2). Bis zur Stufe Geisling sind die Stauhaltungs-dämme und die Hochwasserdeiche auf ein 100jähriges Bemessungsereignis ausgelegt. Hier gab es keine Probleme. Das unterhalb anschließende Schutzsystem mit seinen rund 300 km Haupt- und Rücklaufdeichen besitzt nach heutigem Erkenntnisstand lediglich einen Ausbaugrad auf ein 25jähriges Hochwasser. Diese Deiche reichten zwar von der Höhe her gerade noch aus, der Deichkörper wurde jedoch infolge der ungewöhnlich langen Belastungsdauer mit Wasserständen bis knapp unter die Deichkrone stark durchsickert und aufgeweicht. Die Standsicherheit war dadurch erheblich herabgesetzt, so daß sie auf weite Strecken nur durch binnenseitige Kiesanschüttungen und Sandsackauflagen gehalten werden konnten.

Trotzdem kam der Deich infolge der aus Durchfeuchtung und Durchsickerung resultierenden Auftriebswirkung an einer Stelle zum Fließen und brach schlagartig. Dadurch wurden Polderflächen von insgesamt 1.000 ha mit den darin liegenden Ortschaften überflutet. Weitere Deichbrüche konnten unter Einsatz aller verfügbaren

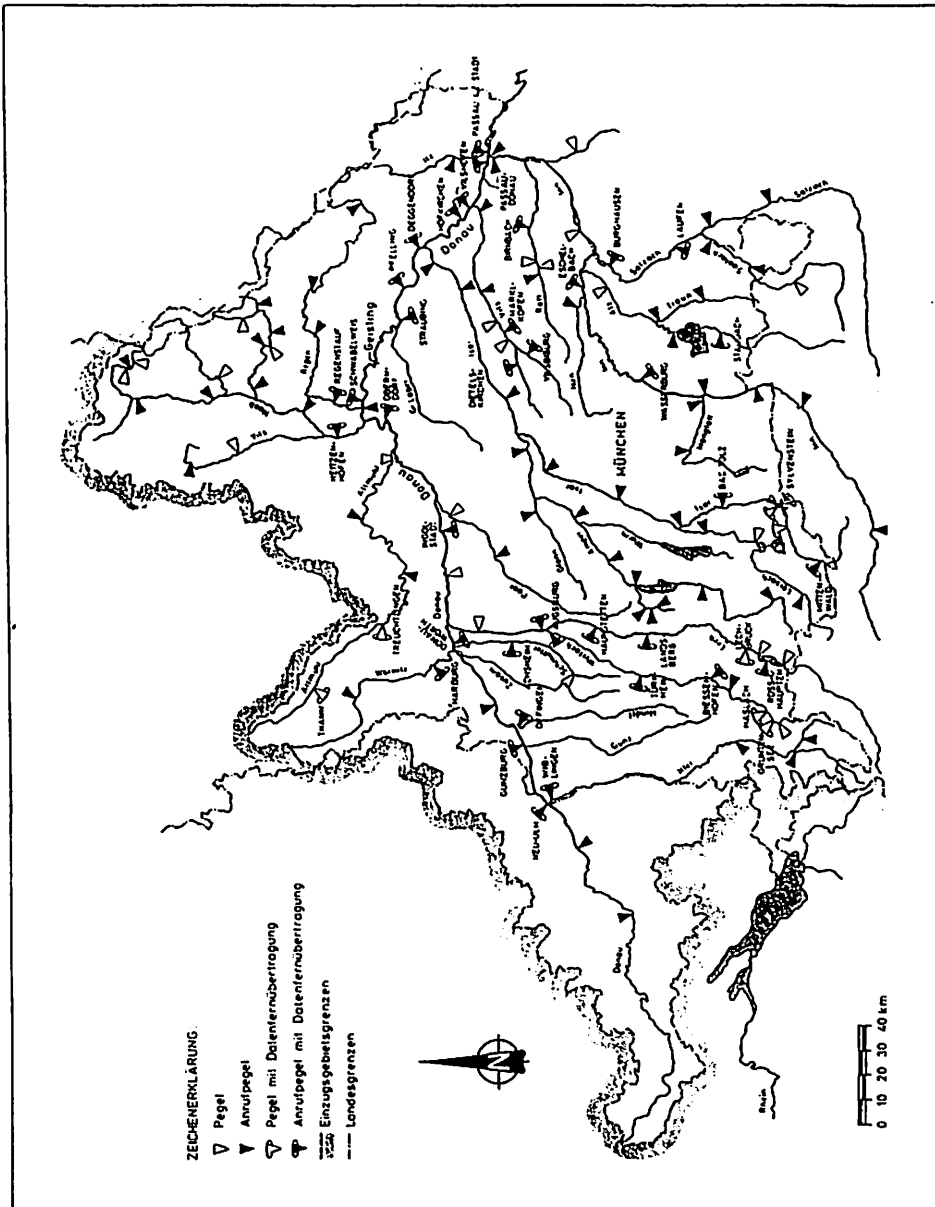


Bild 2: Pegel des überörtlichen Hochwassernachrichtendienstes im deutschen Donaugebiet

baren Mittel vermieden werden. Allerdings wurden auch hier die Polder durch über das Grundwasser austretendes Drängewasser und das Binnenwasser erheblich beeinträchtigt.

Als unmittelbare Konsequenz leiteten sich aus dem Märzhochwasser 1988 eine Reihe notwendiger Baumaßnahmen ab. Ein Sofortprogramm diente der Instandsetzung und Wiederherstellung des Teilschutzes im bisherigen Umfang. Zwischenlösungen sind für jene Bereiche vorgesehen, die zukünftig im Rahmen des weiteren Staufufenbaus neu zu gestalten sind, ein Endausbau unter Zugrundelegung eines 100jährigen Bemessungshochwassers für die übrigen Strecken.

Mittelbar hat das Schadensereignis aber auch die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung der bestmöglichen Hochwasservorhersage und eines reibungslosen Hochwassernachrichtendienstes gelenkt. Das ständige Bemühen der Fachleute um größtmögliche Effizienz erfährt hierdurch eine innere und äußere Impulsverstärkung. Damit steht unmittelbar in Zusammenhang, daß außerhalb der Wasserwirtschaft offensichtlich erst durch Überschwemmungskatastrophen ein realistisches Bewußtsein über die tatsächlichen existierenden Hochwasserschadenspotentiale und eine den natürlichen Gefahren angepaßte Nutzung der hochwasserbedrohten Flächen hervorgerufen wird. Dem gilt es in verstärktem Maße entgegenzuwirken. In beiden Bereichen werden zur Zeit verstärkte Aktivitäten durchgeführt, über die im folgenden - neben einem weiteren Punkt - berichtet werden soll.

2. Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz des Hochwassernachrichtendienstes

Die bestehende Organisation des Hochwassernachrichtendienstes hat sich auch bei Märzhochwasser 1988 voll bewährt. Auffällig war jedoch ein verstärkter Informations- und Kommunikationsbedarf sowohl im Innen- wie im Außenverhältnis. Diese Anforderungen konnten deshalb problemlos bewältigt werden, weil sich die regionale Betroffenheit in Grenzen hielt, da die großen alpinen Donauzubringer kein Hochwasser führten. Aus dem geschilderten Witterungsverlauf läßt sich aber leicht ableiten, daß durchaus die Möglichkeit zu einer weitaus extremeren Entwicklung des Ereignisses bestanden hat. Auch in solchen Fällen und gerade dann muß der Hochwassernachrichtendienst ohne jegliche Einschränkung funktionieren.

Die gewünschte Effizienzsteigerung wird dadurch ermöglicht, daß durch die erfolgreiche Installation eines Rechnernetzwerkes und den Aufbau einer für alle Rechner zugänglichen Datenbank die Nutzung dieses Systems als Informations- und Kommunikationsmittel im Hochwassernachrichtendienst realisiert werden kann /3/. Ein entscheidender Vorteil liegt vor allem in den Möglichkeiten der Informationsverarbeitung. Dies ist auch dringend notwendig, wenn man bedenkt, daß im Hochwassernachrichtendienst der bayerischen Donau 201 Meldepegel in den örtlichen Nachrichtenplänen und 129 im überörtlichen Nachrichtenplan (93 mit Meßwertansage und 43 mit Datenfernübertragung) einbezogen sind (Bild 2). Daraus kann eine solche Datenfülle erwachsen, daß sie an zentraler Stelle von Hand kaum noch und selbst im dezentralen Bereich nur noch mit Schwierigkeiten auswertbar ist. Wie bereits erwähnt, wurden beim Märzhochwasser 1988 die diesbezüglichen Grenzen des Leistungsvermögens der bestehenden Organisationen erkennbar.

Eine Aufnahme aller Daten in den Rechnerverbund bietet nicht nur die Möglichkeit zu einem Transfer in digitaler Form, sondern auch zu geordneten und übersichtlichen Ausgaben und zur Durchführung DV-geführter Vorhersageberechnungen. Voraus-

setzung ist allerdings, daß dafür die Dateien der im Aufbau befindlichen Datenbank benutzt werden, auf die über entsprechende Organisationsstrukturen alle Rechner des Verbundsystems Zugriff haben werden.

Eine Verwirklichung dieses Konzepts erfordert einen erheblichen Entwicklungsaufwand, zumal auch ein Höchstmaß an Betriebssicherheit verlangt wird. Zur Durchführung dieser Arbeiten wurde Mitte 1989 mit einem entsprechenden Entwicklungsvorhaben begonnen. Im wesentlichen ist vorgesehen:

- Nutzung des Rechnerverbundes zur Führung der für die Organisation des Hochwassernachrichtendienstes erforderlichen Verwaltungsdateien (örtliche und überörtliche Pläne, Adressenverzeichnisse usw.)
- Nutzung des Rechnerverbundes als Kommunikationssystem und zur Weiterverarbeitung der Beobachtungsdaten
- Entwicklung von rechnergestützten Prozeduren, die als Bausteine für Vorhersagen allgemein verwendbar sind
- Übernahme der bisher eingesetzten Vorhersageverfahren auf den Rechner und Weiterentwicklung von Vorhersagen
- Konzept für den weiteren Ausbau des Meßnetzes mit Datenfernübertragung.

Das Entwicklungsvorhaben ist so konzipiert, daß eine rasche Umsetzung von Teilergebnissen in die Praxis des Hochwassernachrichtendienstes vorgenommen werden kann.

Eine detaillierte Darstellung der Gesamtzusammenhänge enthält der Beitrag zu dieser Konferenz von Beckmann und Holle "Neuere Entwicklungen beim operationellen Hochwasserwarndienst für das deutsche Donaugebiet".

3. Nutzung von Flächenniederschlagsmessungen mit Radar

Der Deutsche Wetterdienst hat mit dem Aufbau eines Radarverbundsystems zur flächenhaften Niederschlagsmessung in der Bundesrepublik Deutschland begonnen. Das erste Gerät für dieses System wurde 1988 in München-Riem in Betrieb genommen /3/. Mit seiner Hilfe wird der Regenniederschlag im Umkreis von 230 km gemessen. Die zur Verfügung gestellten quantitativen Daten erstrecken sich über einen Umkreis von 100 km, die qualitativen über einen Umkreis von 230 km.

Probleme bei der flächenhaften Niederschlagsmessung ergeben sich durch

- die mangelnde Bündelung des Radarstrahles
- die Abhängigkeit der Reflektivität des Radarstrahles von der 6. Potenz des Tropfendurchmessers
- die zahlreichen Echos an Festzielen, wie Masten, Flugzeugen, Bergen und dergleichen.

Die qualitativen Daten dienen dazu, sich einen detaillierten Überblick über die Niederschlagstätigkeit zu verschaffen. Sie stehen dem Hochwassernachrichtendienst seit kurzem zur Verfügung.

Die quantitativen Daten müssen zunächst auf ihre Plausibilität geprüft und gegebenenfalls verbessert werden. Anschließend sind diese Werte mit punktuell gemessenen Niederschlagshöhen an herkömmlichen Niederschlagsbeobachtungsstationen zu vergleichen, um daran die flächenmäßig mit Radar gemessenen Daten anzuknüpfen. Diese Entwicklungsarbeiten sind noch in vollem Gange.

Die so erhaltenen Niederschläge sollen zur Berechnung von Gebietsniederschlägen und als Eingabe in Niederschlag-Abfluß-Modelle für aktuelle Vorhersagen (aber auch für Planungsrechnungen) verwendet werden.

Über den gesamten Themenbereich berichtet ausführlich Riedl in seinem Beitrag zur Konferenz "Niederschlagsmessung und -vorhersage mittels Wetterradar".

4. Grundlagenarbeiten zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen

Die sachgerechte Befassung mit Hochwasserrisiken setzt die Kenntnis der Schadenspotentiale voraus. Diese Informationen sind zur Behandlung vieler Fachfragen erforderlich, gleichgültig ob es sich um bauliche Schutzmaßnahmen wie Hochwasserdeiche, Talsperren und Rückhaltebecken oder aber um nichtbauliche Maßnahmen wie Nutzungseinschränkungen in den Überschwemmungsgebieten oder Hochwasserwarnsysteme handelt. Sie sind aber auch für ein rationales Verhalten von Entscheidungsträgern und Betroffenen unentbehrlich.

Das Märzhochwasser 1988 hat wiederum gezeigt, daß das notwendige Bewußtsein der tatsächlich vorhandenen Schadenspotentiale nicht immer und überall vorhanden ist. Die Bautätigkeit hinter Deichen, die nur einen Teilschutz liefern, muß den nur bedingt gewährleisteten Hochwasserschutz abgestellt sein. Darauf weisen die Wasserwirtschaftsbehörden bei allen Baugesuchen, Bebauungs- und Flächennutzungsplänen mit Nachdruck hin und fordern bei Neubauten die wasserdichte Ausgestaltung der Keller und Untergeschosse, die ausreichende Sicherung der Heizölbrenner und vor allem eine den möglichen Hochwasserständen entsprechende Höhenlage der Wohn- und Schlafräume. Wegen dieser Sicherheitsauflagen kommt es häufiger zu Einandersetzungen mit der Folge, daß sie in Einzelfällen nicht ausreichend oder widerwillig erfüllt werden /1/. Diesem irrationalen Verhalten muß durch verstärkte Information über das Ausmaß der Gefährdung entgegengewirkt werden.

In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, daß sich infolge zunehmend höherer Nutzungen die Schadenspotentiale ständig erhöhen, wobei eine Verlagerung in sensiblere Bereiche erfolgt. Um dies mit Zahlen zu verdeutlichen, sei in Analogie mit anderen Quellenmaterials auf eine kürzlich veröffentlichte Untersuchung aus der Schweiz zurückgegriffen /4/. Darin werden die Schäden der beiden Hochwasserereignisse von 1868 und 1987, die bei etwa gleichem Verlauf jeweils die gleichen Gebiete betrafen, gegenübergestellt. Während der Gesamtschaden 1987 1.2 Milliarden Franken betrug, ergibt sich bei Umrechnung des Geldwertes auf diesen Zeitpunkt für das Ereignis von 1868 eine Schadenshöhe von 160 Millionen Franken.

Neben diesem Größenvergleich ist die in Tabelle 3 gezeigte Veränderung der prozentualen Aufteilung auf die verschiedenen Sektoren interessant. Die unterschiedlichen Wirtschaftsstrukturen zeigen sich dabei wohl am deutlichsten in der Zunahme der Schäden zu Lasten der öffentlichen Hand von 40 auf 80 %.

Tab. 3: Prozentuale Aufteilung der Schäden aus den schweizerischen Hochwasserereignissen von 1868 und 1987

Schadenssektor	Prozentualer Anteil am Gesamtschaden 1868	1987
Land und Kulturen	56 %	9 %
Straßen und Brücken	8	33
Bahnen, Post- und weitere öffentliche Einrichtungen	-	14
Gebäude und Fahrzeuge	14	18
Gewässer	17	23
Übriges	5	3

Obwohl die Notwendigkeit und Nützlichkeit der Kenntnis der Hochwasserschadenspotentiale in jedem Einzelfall seit vielen Jahren unbestritten sind, wurde in der Vergangenheit deren Ermittlung durch einen nicht zu übersehenden Engpaß an statistisch aufbereiteten Schadensdaten und durch das Fehlen einer Standardmethode zur Durchführung von Hochwasserschadensanalysen behindert /5/. Dem wurde zwischenzeitlich insoweit abgeholfen, als ein Schema zur einheitlichen Datenerhebung entwickelt und danach eine Reihe von Hochwasserschadensanalysen durchgeführt worden sind. Die statistische Auswertung der so erhobenen Schadensdaten liefert Zahlenangaben über die Schadenshöhe für häufig vorkommende Schadensarten.

Eine ausführliche Darstellung der gesamten hier skizzierten Aktivitäten und des erreichten Entwicklungsstandes enthält der Beitrag von Dr. Günther zu dieser Konferenz "Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen - Methodik und erforderliche Datengrundlagen".

5. Schlußbemerkung

Der nationale Beitrag beschränkt sich bewußt auf einige Aufgabenschwerpunkte, bei denen die praktische Umsetzung des erreichten hohen wissenschaftlichen Erkenntnisstandes im Vordergrund steht. Nicht behandelt wurden hier die Beobachtung langfristiger hydrologischer Trends und die sich daraus ableitenden Entwicklungen. Es ist geplant, darüber in systematisierter Form zu einem späteren Zeitpunkt zu berichten.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ ORBIG, K.-E.: Das katastrophale Donau-Hochwasser 1988 zwischen Regensburg und Deggendorf. Wasserwirtschaft 79 (1989), S. 290 - 292
- /2/ BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: Das Märzhochwasser 1988 in Bayern. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 3/1989, München 1989

- /3/ BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: Jahresbericht 1988/89. München 1990, S. 79 - 80
- /4/ WALDSCHMIDT, H.: Hochwasser einst und jetzt. Die Schadensereignisse von 1868 und 1987 im Vergleich. Wasserwirtschaft, 79 (1989), S. 300
- /5/ SCHMIDTKE, R. F.: Recording and Estimating Flood Damages - Methods and Practical Experiences. XII. European Regional Conference of ICID, National ICID Committee for Yugoslavia, Dubrovnik, Sept. 1979, S. 109 - 114

XV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen
in Varna 1990

Nationalbericht Österreich

HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN IN ÖSTERREICH - STAND 1990

F. Nobilis

An der Donau sind die Vorhersagen des Wasserstandes nach wie vor von grundsätzlicher Bedeutung für die Schifffahrt und bei Überflutungsgefahr. (GLASEL 1979, GLASEL und NOBILIS 1982). In unregelmäßigen Abständen werden die Vorhersagemethoden auf Grund des Ausbaues des Stromes und seiner Zubringer sowie abgelaufener Hochwasserereignisse adaptiert (GLASEL und NOBILIS 1984).

In der Vorhersagezentrale des Hydrographischen Dienstes in Linz an der Donau steht seit 1983 ein Modell zur Verfügung, welches auf der Grundlage von Mehrfachregressionen entwickelt wurde. Je nach Vorhersagefrist, nach Winter- und Sommerereignissen sowie den kritischen Hochwasserphasen betreffend Anstieg, Scheitelpunkt und Abstieg wurden die Vorhersagegleichungen differenziert. Für den Innpegel Schärding, die Donaupegel Linz, Mauthausen und Ybbs werden die Wasserstände bei Hochwasser berechnet. Drei bis zwölf Stunden beträgt die Vorhersagefrist, der Vorhersageabstand in der Regel drei Stunden. Grundsätzliche Überlegungen der kurzfristigen Abflußvorhersage (GUTKNECHT und KRESSER 1982, KRESSER 1983) wurden in diesem Modell verarbeitet. Außerdem flossen spezielle Überlegungen auf Grund der Gegebenheiten (GUTKNECHT 1980, GUTKNECHT und KRESSER 1984) und theoretische Betrachtungen der mathematischen Grundlagen (DREHER, GUTKNECHT und KRESSER 1983) in das Modell ein. Laufend erfolgt eine Nacheichung des Modells mit

abgelaufenen Hochwasserereignissen.

In Wien als Vorhersagezentrale an der Donau für Abfluß und Wasserstand wird ein Mehrfachspeichererkaskadenmodell, bei dem als Fehlerkorrekturprozeß ein ARIMA-Modell vorhanden ist, verwendet. (KRESSER, GUTKNECHT, DREHER, KIRNBAUER 1980). Für den Pegel Wien-Reichsbrücke ist die sechsstündige Vorhersage gerade noch zufriedenstellend. Längere Prognosezeiten werden erst bei Einbeziehung der Zubringer und Berücksichtigung von fernübertragenen Niederschlägen in den nächsten Jahren möglich sein.

Die übrigen hydrographischen Dienststellen in den Bundesländern besitzen zum Teil Fernübertragungsanlagen für Wasserstand, Abfluß und Niederschlag. Hier ist gegenwärtig in den Zentren Graz und Klagenfurt eine technische Umrüstung im Gange, über die im Detail bei der nächsten Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen berichtet werden wird. Eine Hochwasserwarnung erfolgt nach speziellen Meldeplänen an bestimmte Stellen aus den Zentralen des Hydrographischen Dienstes bei den Ämtern der Landesregierung. Außer Linz und Wien bestehen beim Hydrographischen Dienst derzeit jedoch keine Modellanwendungen für Vorhersagen, grundsätzliche Überlegungen dafür sind jedoch derzeit im Gange.

An der Donau selbst ist das Genehmigungsverfahren für die Staustufe Freudenau im Bereich von Wien, dem geplanten neunten rein österreichischen Kraftwerk (dem zehnten insgesamt) in Durchführung. Dieses Kraftwerk wird auch in das mathematische Modell der Donau einbezogen werden (URBAN 1973, HAUCK 1977).

Das mathematische Modell der Drau (DRAXLER et al. 1986) wurde durch die vier geplanten Stufen zwischen Sachsenburg und Mauthbrücken ergänzt. Das mathematische Modell für die Traun von Gmunden bis zur Mündung ist seit längerem abgeschlossen.

Das mathematische Modell für die Enns wurde 1988 abgeschlossen.

Das Prognosemodell für die Drau (SCHLATTE und KUGI 1986) ist fertig, getestet und arbeitet operationell. Auf der XIV. Konferenz der Donauländer wurde von KUGI über die grundsätzlichen Aspekte des Modells von GUTKNECHT und KRESSER über die Modellphilosophie und von SCHNATTER über die mathematischen Aspekte berichtet. Die Arbeit von BLÜSCHL auf dieser Konferenz über die Entwicklung eines einfachen Schneeschmelzmodells für Vorhersagezwecke und die Untersuchung von KIRNBAUER über die Weiterentwicklung betreffend Modellansätze der Abflußbildung auf Grund der Erfahrung der Modelleichung sind in direktem Zusammenhang zu sehen. Die Arbeiten der österreichischen Teilnehmer an dieser Konferenz wurden zusätzlich im Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 58, Wien 1988 publiziert. Weitere Arbeiten über das Schneeschmelzmodell wurden von BLÜSCHL, KIRNBAUER und GUTKNECHT in den Jahren 1988 und 1990 publiziert.

Für die Sperrenstelle Klaus am Ennszubringer Steyr (542 km² Einzugsgebiet bis zur Sperre) arbeitet das Prognosemodell (KRESSER und GUTKNECHT 1974) immer noch operationell. Als Vorhersageziel ist die Prognose des Hochwasserabflusses in 1, 2, 3, 4 und 6 Stunden zur Vorabsenkung des Stauspiegels und damit zur Verminderung des Spitzendurchflusses zu sehen. Als Vorhersageverfahren gliedert sich das Niederschlag-Abfluß-Modell in die Belastungsbildung (Gebietsniederschlag), die Abflußbildung entsprechend der Niederschlag-Abfluß-Beziehung (Koaxial-Diagramm), der Abflußkonzentration auf Basis der Einheitsganglinie (Direktabfluß) und der Erfassung des Basisabflusses. Die stündlichen Niederschläge von drei Stationen und die Wasserstände und Durchflüsse der drei Hauptzubringer des Steyrflusses dienen als Eingangsgrößen. Untersuchungen in den letzten 10 Jahren haben gezeigt, daß die damalige Wahl der

drei Stationen optimal für die zu erzielenden Resultate war. Die Erstellung eines Vorhersagemodells für Kurzfristvorhersagen für die gesamte Enns ist gegenwärtig im Planungsstadium und wird bis etwa 1992 abgeschlossen sein.

Ober den Einsatz hydrologischer Vorhersagen im Rahmen der österreichischen Elektrizitätswirtschaft berichtete PIRKER 1988. Die Summe des Frühjahrsabflusses und somit die zu erwartende Erzeugung der Laufkraftwerksketten kann auf Grund der Schneeretention in den Gebirgsregionen vorhergesagt werden. Das Verfahren basiert auf Mehrfachregressionen, die Abfluß, Niederschlag und Lufttemperatur im Einzugsgebiet berücksichtigen. Ein Modell für die Kurzfristvorhersage der Erzeugung der Laufkraftwerksketten ist am Großbrechner fertiggestellt. Dabei ist auch die routinemäßige Eingabe von aktuellen Tageswerten meteorologischer Parameter vorgesehen. Ein Bericht darüber wird bei der nächsten Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen erfolgen.

Die Vorhersage der morphologischen Veränderungen im Flußbett (MUNDT 1972, BRAUNER 1972) ist gegenwärtig etwas außerhalb des hydrologischen Interesses geraten. Auch die Untersuchungen von SCHLATTE (1979 und 1984) über Geschiebeprognosen auf Grund akustischer Geschiebemessungen an der Möll werden gegenwärtig nicht weitergeführt. Allerdings zeigen die Arbeiten von KRESSER (1986) über die Vorhersage von Flußbettänderungen in der österreichischen Donautrecke, die Untersuchung von SCHÜBERL (1986) für Stauraumverlandungen im Oberen Inn und die Arbeit desselben Autors 1988 über die hydrologischen Grenzbedingungen für die Beeinflussungsmöglichkeiten des Bettmaterialtransportes alpiner Flußläufe durch instationäre Hochwasserwellen sowie die Arbeit von BORS auf dieser Konferenz über die Prognosemöglichkeiten für den Schwebstoffgehalt der österreichischen Donau, daß dieser Bereich der Hydrologie nach wie vor aktuell ist.

Die Arbeit von SCHLATTE (1984) die sich mit Zusammenhängen zwischen den BSB₅-Werten und dem Sauerstoffgehalt der Drau einerseits und dem Durchfluß der Drau andererseits beschäftigen werden gegenwärtig nicht weitergeführt.

Literatur

- BLASCHKE, H. (1983): "Hochwassernachrichten und Hochwasservorhersagen des Hydrographischen Dienstes", Amtl. Linzer Zeitung, F.22, 353.Jg., S.2-3.
- BLÖSCHL, G. (1988): Schneeschmelzmodell für ein Einzugsgebiet großer Höhenerstreckung als Baustein eines hydrologischen Vorhersagemodells, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.
- BLÖSCHL, G., GUTKNECHT, D. u.KIRNBAUER, R. (1988): Berechnung des Wärmeeintrages in einer Schneedecke - Analyse des Einflusses unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 32, H.1/2, S.34-39.
- BLÖSCHL, G., KIRNBAUER, R. u.GUTKNECHT, D. (1990): Modelling snowmelt in a mountainous river basin in an event basis, Journal of Hydrology, 113, S.207-229.
- BORS, W. (1990): Prognosemöglichkeiten für den Schwebstoffgehalt der österreichischen Donau, XV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Varna.
- BRAUNER, W. (1972): "Auswirkungen künstlicher Eingriffe auf die zukünftige Flußbettgestaltung der Mur", VI.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Heft 3, Kiew.
- DRAXLER, A., EDER, H. u.H.TAUCHMANN (1986): "Simulation des Hochwasserablaufes an der Drau mittels mathematischer Modelle", XIII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Belgrad.
- DREHER, J.E., GUTKNECHT, D.u.KRESSER, W. (1984): "Kurzfristige Abflußvorhersage mit Hilfe der robusten Regression", XII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bratislava.
- GLASEL, E. u.F.NOILIS (1982): "Zum Stand der hydrologischen Vorhersagen in Österreich", XI.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bukarest.
- GLASEL, E. u.F.NOILIS (1984): "Hydrologische Vorhersagen in Österreich - Stand 1984", XII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bratislava.
- GUTKNECHT, D. (1980): "Untersuchungen zur Aufstellung eines Vorhersagemodells für die oberösterreichische Donau", Teilbericht 1, Inst.f.Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien.
- GUTKNECHT, D. u.KRESSER, W. (1982): "Zur Problematik von Modellen für die kurzfristige Abflußvorhersage", XI.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bukarest.
- GUTKNECHT, D. u.DREHER, J. (1983): "Bericht über die Entwicklung eines Vorhersagemodells für die oberösterreichische Donau", Inst.f.Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien.
- GUTKNECHT, D. u.KRESSER, W. (1988): Zur Entwicklung "anwendbarer" Vorhersagemodelle, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.

- HAUCK, H. (1977): "Das mathematische Abflußmodell an der österreichischen Donau, Entwicklungsstand und praktische Ergebnisse", IX.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Budapest.
- KIRNBAUER, R. (1988): Ein Ansatz zur Berechnung der Abflußbildung in hydrologischen Vorhersagemodellen, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.
- KRESSER, W. (1983): "Probleme und Lösungen bei der Entwicklung von Modellen für die kurzfristige Abflußprognose", Österreichische Wasserwirtschaft, Jg.35, H.9/10, S.241-247.
- KRESSER, W. (1986): "Vorhersage von Flußbettänderungen in der österreichischen Donau", XIII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Belgrad.
- KRESSER, W. u. GUTKNECHT, D. (1974): "Ein Verfahren zur Vorhersage der Hochwasserabflüsse der Steyr", Österreichische Wasserwirtschaft, Jg.26, Heft 11/12, S.249-259, Wien.
- KRESSER, W., GUTKNECHT, D., DREHER, J.E. u. KIRNBAUER, R. (1980): "Bericht über die Untersuchungen zur Entwicklung eines Abflußmodells für die niederösterreichische Donau zur Erstellung von Wasserstandsvorhersagen", Inst.f.Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien.
- KUGI, W. (1988): Entwicklung und Einsatz eines hydrologischen Vorhersagemodells aus der Sicht des Modellanwenders, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.
- MUNDT, G. (1972): "Vorhersage des Verlandungszustandes von Flußstauseen", VI.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Heft 3, S.349-356, Kiew.
- PIRKER, O. (1988): Einsatz hydrologischer Vorhersagen in der österreichischen Elektrizitätswirtschaft, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.
- SCHLATTE, H. (1979): "Anhebung der Stromerzeugung durch Geschiebeprognozen auf Grund akustischer Geschiebemessungen", X.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Wien.
- SCHLATTE, H. (1984): "Anwendung einer akustischen Geschiebemessmethode an der Möll", XII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bratislava.
- SCHLATTE, H. (1984): "Sauerstoff-BSB₅-Modell Drau", XII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bratislava.
- SCHLATTE, H. u. W.KUGI (1986): "Vorhersagemodell für die Zuflüsse zu den österreichischen Draukraftwerken", XIII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Belgrad.
- SCHNATTER, S. (1988): Bayes'sche Methoden zur Zustandsgrößen- und Parameterschätzung bei hydrologischen Vorhersagemodellen, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.
- SCHÜBERL, F. (1988): Hydrologische Grenzbedingungen für die Beeinflussungsmöglichkeit des Bettmaterials alpiner Flußläufe durch instationäre Hochwasserwellen, XIV.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Kiew.
- SCHÜBERL, F. u. A.VIGL (1986): "Prognose morphologischer Veränderungen in Flußstauhaltungen mit Hilfe hydraulisch physikalischer Modelle am Beispiel Oberer Inn/Stauraum Ovella", XIII.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Belgrad.

URBAN, A. (1973): "Erstellung eines mathematischen Abflußmodells an der österreichischen Donau", VII.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Varna.

Anschrift des Verfassers: Ministerialrat Univ.Doiz.Dr.F.Nobilis,
Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Marxergasse 2, A-1030 Wien

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Иван Кунш, Магда Чихова

Словацкий гидрометеорологический институт, Братислава

Современная гидрологическая прогностическая служба, если она имеет исполнять многие требования практики, то она должна опираться в своей деятельности на причинные связи между проявлениями воды в гидрологических системах и обуславливающих их действиях которые протекают сначала далеко от места представляющего предмет нашего прогностического интереса.

О том, если данное гидрологическое или водохозяйственное состояние будет оставаться день, неделю, или же через несколько дней, часов изменится в большой прилив воды решается в отстоящих атмосферных процессах, в гидрологических системах тоже вне нашего государства, но и в многих локальных деталях которые определяют начальное состояние гидрологической и водохозяйственной системы, способной принять новые вводы и последовательно трансформировать их в гидрологические проявления которые существенно повлияют деятельность человека.

Такой мониторинг предъявляет требования к сети, переносу, обработке и дистрибуции информации и прогнозов в внутреннем и международном масштабах, к специальным знаниям работников которые должны быть способны ориентироваться в знаниях техники сбора и переноса, образовании и апликации прогностических методов и понимать связи вытекающие из интеракций метеорологических, гидрологических, водохозяйственных, экономических и других систем.

Философия мониторинга гидрометеорологической и оперативной системы для обеспечения гидрометеорологических прогнозов понимается как последовательность и переключение следующих подсистем и звен:

1. синоптическое развитие и из этого вытекающий метеорологический прогноз, прежде всего осадков и температур воздуха

2. спутниковая метеорология как средство пополняющие и уточняющие синоптическое развитие
3. радиолокатор - как средство идентификации облачных систем и выпадавших в бассейн осадков
4. осадки измеряемые на поверхности Земли
5. снег и запасы воды в бассейнах
6. уровни воды и расходы в речных системах
7. подземный сток
8. водохозяйственные системы.

В таком смысле мы стремились подготовить наш гидрометеорологический мониторинг по отношению к гидрологическим прогнозам в Словакии вообще, и на Дунае особенно.

Источники метеорологической информации и ее применение в гидрологическом прогнозе

К новым подходам, методам и техническим средствам обеспечивающим гидрологический прогноз для меньших областей в службах ГИПС СГМИ относятся:

- соединение с Региональным телекоммуникационным центром Прага - Коможаны
- прямое присоединение оконечного прибора с Телекоммуникационным центром Братислава - аэропорт
- факсимильный телеграфический прием большого количества материала о настоящем состоянии (4х, или 8х в день) и первым делом прогностических карт полей давления и температуры, как и поля осадков на 24, 48 и 72 - 120 ч; (Карты из Регионального центра ОФФЕНБАХ - ФРГ) (к сожалению, эти прогностические карты осадков в масштабе 1:30 мил., значит, их применение для меньших территориальных областей очень ненадежное, предоставляют картину о поверхностном размере и положении максимума ожидаемых осадков фронтального характера). Вклад в оперативную службу представляет применение прогноза осадков для отдельных бассейнов притоков в бассейне Дуная и Тисы по обработке метеорологической службы Венгерской республики. Средние суммы для отдельных областей представляют хорошее информационное достоинство для пополнения мнения на развитие осадочной деятельности.

- метеорологические радиолокаторы позволяют наблюдение за облачными системами в пределах 300 км; грозовой облачностью и осадками до 100 - 120 км, в квадратной сети пока 30х30 км с переходом на автоматизированную систему в сети меньших размеров с сроком наблюдений каждого полчаса. / На территории Словакии: Малы Яворник с техническим оборудованием МРЛ-5./
- прием информации из метеорологического спутника с полярной траекторией и геостационарного типа мы используем пока качественно.

Наземные наблюдения

Осадки, снег, уровни воды и расходы и подземный сток.

Общая территория которую гидропрогностическая служба наблюдает представляет 182 100 км², из того на территории ЧСФР 72 350 км².

Данные накапливаются из сети гидропрогностической службы, сети синоптических станций и сети станций, из которых данные получаются на основе международных договоров.

- В сеть гидропрогностической службы СГМИ входит 405 станций и ее образует выбор:
 - а) из сети поверхностных вод - 74 профилей, где кроме уровней измеряются тоже метеорологические величины - температуры и осадки
 - б) выбор из сети осадкомерных станций - 41 станций
 - в) выбор из сети снегомерных станций - 290 локалит
 - г) выбор из сети подземных вод - 98 объектов
- Сеть синоптических станций - это сеть профессиональных метеорологических станций. Наш мониторинг пользуется данными из 92 станций - из бассейна верхнего Дуная (61), Моравы (8), Словакии (20), Польши (2), СССР (1).
- Сеть станций, данные которых приобретаем на основе международных договоров - это сеть 281 станций, из того 92 водомерных и 189 снегомерных станций.

В гидрологической информационной и прогностической службе сосредоточиваются в общем информации из 166 водомерных, 217 осадкомерных, 479 снегомерных станций, 20 водоемов и 98 объектов подземных вод.

Кроме количества, очень важную роль играет техническая уровень передачи информации. Наряду с телефоном и телеграфом оперативно используются телекоммуникационные вычислительные машины и метеорологические каналы быстро действующего переноса данных.

В настоящее время на территории Словакии работает 31 автоматических гидрологических станций измеряющих уровни и температуру.

Прямо для мониторинга гидрологической ситуации на Дунае, в настоящее время используем данные из 66 гидрологических станций (25 из верхнего Дуная, на нашей территории 5 на главном водотоке и 36 на притоках), 77 синоптических станций и 379 снегомерных станций.

Несмотря на то, что по сравнению с прошлым повышилось количество станций, частота наблюдений и оперативность гидропрогностической службы, не было возможно повысить точность 24-часового прогноза на Дунае.

При ошибках прогнозов до 40 см ситуация неблагоприятная по сравнению с 1959 г. Эта действительность отражает влияние манипуляции гидротехнических сооружений на верхнем участке Дуная (в 1959 было 1, в настоящее время 9). Манипуляция по нашему расследованию повлияет уровни воды в рамках отклонения 40 - 50 см по сравнению с естественным ходом уровней.

Внезапные повышения на Дунае по сравнению со ситуацией перед постройкой ступней на Дунае тоже труднее предсказать. Основными причинами являются: затрата основных естественных прогностических профилей в результате постройки гидротехнических сооружений и ускорение движения воды в речной сети регуляцией главного водотока и притоков.

Время добегания Линц - Братислава при расходах приблизительно $3\,000\text{ м}^3\cdot\text{с}^{-1}$ (когда уже можно исключить влияние гидротехнического сооружения в Линце) сократилось с 24 на 15 часов. Такой тренд можно рассуждать тоже при низших расходах.

В этих новых условиях казалось необходимым внедрить из гидрологической точки зрения непрерывный мониторинг с возможностью сквозного уточнения прогнозов.

Для новых требований и условий развиваются новые ме-

тоды прогнозов. Основой их применения в оперативной практике является возможность скорого приобретения и обработки количества данных которые нам предоставляет презентированная информационная сеть.

Таким образом концепционно предложенная гидрологическая информационная система по возможности доступных технических условий все расширяется.

В этом направлении развитие гидропрогностической службы ориентируется на расширение сети автоматических гидрологических станций, использование телекоммуникационной вычислительной машины и метеорологических каналов ГТС для переноса гидрологических данных с постепенным установлением телефакса для дистрибуции гидрологических данных.

ОПЫТ РАЗВИТИЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБМЕНА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИЕЙ ВО ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ПАВОДКОВ

БАЛИНТ, Габор и БОДИ, Карой

Научно-исследовательский центр водного хозяйства, ВИТУКИ

Будапешт, Венгрия

В рамках Бухарестской декларации представителей придунайских государств (декабрь 1985 года) была учреждена рабочая группа по организации взаимного обмена информацией о формировании и прохождении паводков. Координатором темы является венгерская сторона. Рабочая группа имела три заседания в Будапеште за период с 1987-ого года.

В результате сотрудничества был составлен документ под названием "Программа оперативного обмена гидрометеорологической информацией во время прохождения паводков". Данное описание программы служит в интересах общей ориентации придунайских стран, участвующих в обмене гидрометеорологической информацией во время паводков. Перечисляются виды соглашений, регулирующие обмен информацией. В табличной форме приводится общая схема передачи сводок и прогнозов между придунайскими странами (Таблица 1). Для каждой страны приведены сроки наблюдения и международной передачи гидрометеорологических данных и отклонения местных времен от UTC.

Для каждой страны отдельно перечисляется информация, которую направляет или представляет данная страна. Указаны адреса институтов страны, направляющей информацию, и те сводки спомощью которых можно установить связь с данными институтами. Для каждой страны, принимающей информацию, дается ссылка на соглашение, на основании которого осуществляется обмен информацией. Приведены виды и элементы информации, которые передаются или представляются

а именно:

- периодичность передачи информации (сроки и предельные значения);
- форма передачи информации;
- институты направляющие и принимающие информацию (адрес, номер телефона и телекса);
- дополнительные замечания

Опорные данные, перечисленные в программе обмена информацией гидрологических и метеорологических станций приведены в отдельном документе, в К а т а л о г е опорных данных станции и постов включенных в обмен информацией.

Соглашения регулирующие обмен информацией

Обмен информацией между национальными органами регулируют следующие соглашения, договора:

- (1) Двухсторонние соглашения на уровне государств и институтов.
- (2) Обмен прогнозами во время прохождения паводков соответственно рекомендаций Сотрудничества по бассейну Тисы Совещания руководителей водохозяйственных органов Совета Экономической Взаимопомощи (СРВО-СЭВ).
- (3) Рекомендации Дунайской Комиссии
 Подробная информация дается в Главе 5 Обмен метеорологической и гидрологической информацией в "Рекомендации о координации гидрометеорологических служб придунайских стран" (на русском и французском языках), Дунайская Комиссия, Будапешт 1979.

Таблица 1

ОБЩАЯ СХЕМА ПЕРЕДАЧИ СВОДОК И ПРОГНОЗОВ МЕЖДУ
ПРИДУНАЙСКИМИ СТРАНАМИ

СТРАНА

НАПРАВЛЯЮЩАЯ ИНФОРМАЦИЮ	ПРИНИМАЮЩАЯ ИНФОРМАЦИЮ							
	ФРГер	Авст	Чехсл	Венгр	Югосл	Румын	Болг	СССР
ФР ГЕРМАНИЯ	- - -	# - -	# - -	# - •	- - -	- - -	- - -	- - -
АВСТРИЯ	# - -	- - -	# - •	# - •	# - •	- - •	- - •	- - -
ЧЕХОСЛОВАКИЯ	- - -	# - •	- - -	# - •	- - •	- - •	- - •	# - •
ВЕНГРИЯ	- - -	- - •	# + •	- - -	# + •	# - •	- - •	# + •
ЮГОСЛАВИЯ	- - •	# - •	- - •	# + •	- - -	# + •	- - •	- + •
РУМУНИЯ	- - •	- - •	- - •	# + •	# + •	- - -	# - •	# + •
БОЛГАРИЯ	- - •	- - •	- - •	- - •	- - •	# - •	- - -	- - •
СОВЕТСКИЙ СОЮЗ	- - -	- - •	# + •	# + •	- + •	# + •	- - •	- - -

Замечания:

- # Двухстороннее соглашение
- + Пятистороннее соглашение по Тисе
- Рекомендации Дунайской Комиссии

П Р О Г Р А М М А

ОПЕРАТИВНЫЙ ОБМЕН ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ
ВО ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ПАВОДКОВ

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1 Общая схема передачи сводок и прогнозов между
придунайскими странами, 1989.

Таблица 2 Порядок наблюдения и международной передачи
гидрометеорологических данных по UTC.....

Таблица 3 Отклонение местных времен от UTC.....

Обмен с информацией в рамках двусторонних (межгосу-
дарственных) соглашений а также обмен с прогнозами во
время прохождения паводков в рамках Сотрудничества в в
бассейне Тисы (СРВО-СЭВ).....

Страна направ- ляющая инфор- мацию	Страна принимающая информацию
--	----------------------------------

Федеративная Республика Германия.....	
---------------------------------------	--

Австрия	
---------------	--

Венгрия	
---------------	--

Страна направляющая информацию	Страна принимающая информацию
Республика Австрия.....	
	ФР Германия.....
	Чехословакия.....
	Венгрия.....
	Югославия.....
Чешская и Словацкая Федеративная Республика.....	
	Австрия.....
	Венгрия.....
Венгерская Республика.....	
	Чехословакия.....
	Югославия.....
	Румыния.....
	Советский Союз.....
Социалистическая Федеративная Республика Югославия.....	
	Венгрия.....
	Румыния.....

Страна направ-
ляющая инфор-
мацию

Страна принимающая
информацию

Румыния

Венгрия.....

Югославия

Болгария

Советский Союз

Народная Республика Болгария

Румыния

Союз Советских Социалистических Республик.....

Чехословакия

Венгрия.....

Югославия

Румыния

ПРИЛОЖЕНИЕ

Каталог опорных данных станции и постов включенных в
обмен информацией.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД

*по достижениям в области гидрологических
прогнозов по Дунаю и его притокам от
предыдущей Конференции до настоящего времени*

По румынскому сектору, длиной 1075 км, в Дунай впадает большое число значительных притоков, а именно: Жиу, Олт, Арджеш, Ялоница, Сирет и Прут. Фактически, территория Румынии полностью размещена в гидрографическом бассейне Дуная, за исключением части Добруджи. Существование двух комплексных гидротехнических узлов и пунктах Поршиле де Фиер I и II (Железные Ворота I и II), значительных перехватов воды для орошения и водоснабжения промышленной и питьевой водой, как и более 1200 км защитных против наводнений дамб поднимает существенные вопросы, связанные с познанием и прогнозом гидрологических элементов.

Оптимальная эксплуатация двух ГЭС, оптимальная количественная и качественная эксплуатация вод Дуная, защита против наводнений социально-экономических объектов, расположенных в пойме Дуная выявили необходимость развития системы гидрометеорологической и оперативно-разрешительной информации, для сбора и обработки большого числа гидрологических, водохозяйственных и качественных параметров вод Дуная и его притоков на румынском секторе.

По Дунаю разворачивается обширная программа систематического измерения уровней, расходов, наносов, температуры воды и воздуха, химизма и батиметрии в 25 сечениях, при помощи специально оснащенной флотилии. Посредством этих измерений уточняются ежегодно кривые расхода и динамика меженного русла Дуная. Полученные данные применяются в актуализации гидрологических параметров стока, а также разработке гидрологических прогнозов по Дунаю, с целью осуществления защитных мер, для сокращения разрушительных эффектов наводнений и льдов.

Специальная программа измерений разворачивается в Дельте Дуная и по побережью Черного моря. Для корреляции гидрологических данных, полученных в гидрографическом бассейне Дуная, в рамках протоколов и соглашений, заключенных при двусторонних встречах гидротехнических комиссий Румынии и ее соседних стран был урегулирован вопрос об обмене информацией и прогнозами (ежедневными, месячными и специальными). В настоящее время, обмен

данными с Югославией, Венгрией и СССР проводится автоматически посредством ЭВМ.

Информационная система рек и водохранилищ состоит из 450 гидрометрических и осадкомерных станций. Сбор, утверждение и обработка гидрометеорологических данных осуществляется автоматически на ЭВМ, при помощи специальных программ, получающих ежедневный гидрологический диагноз. В настоящее время находится на конечном этапе разработки на ЭВМ ежедневный гидрологический бюллетень.

В сентябре месяце этого года была уточнена вычислительная программа, позволяющая сбор и контролю на ЭВМ, а также накопление на магнитных лентах ежедневных данных водохранилищ. В конце каждого месяца, проводится с применением этих данных анализ гидрологической эволюции водохранилищ, находящихся на территории Румынии.

В разработке краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных гидрологических прогнозов ставится акцент с одной стороны на систематизацию материалов, необходимых для разработки прогнозов с другой стороны, на разработку новой методологии, основанной на математических моделях, обработанных на ЭВМ.

Систематизация и актуализация материалов, необходимых для разработки гидрологических прогнозов осуществляется во первых разработкой пакета материалов для больших гидрографических бассейнов страны, содержащего карту, гидрографическую схему, таблицы и графики с характерными данными, высокие паводки и разные примененные прогностические соотношения. Кроме того, для получения оперативных данных, специфичных для водохранилищ, разработан код LAC (вариант кода HYDRA) и технический файл сооружения.

Относительно методологии гидрологического прогноза были внедрены и уже действуют математические модели типа "переносных функций" с переменными порогитронш, обеспечивающими ежедневно прогноз расходов и уровней Дуная у входа в страну и по румынскому сектору, с заблаговременностью 1-7 дней. Для применения в реальном времени этих моделей, вычислительные программы содержат структуры реактуализации, исправляющие прогнозируемые значения в зависимости от ошибок, существующих между воспроизведенными и измеренными расходами, до момента разработки прогноза. Возможности прямого доступа для прогнозируемого поправки любого значения предоставляют таким програм. Современные применяемые процедуры позволяют работать с хорошей заблаговременностью (от 5 до 15 дней), точностью прогнозов, являющейся удовлетворительной,

находясь под пределами, допустимыми в практике гидрологических вычислений такого типа.

Относительно внутренних рек была разработана математическая модель детерминированного типа для прогноза ежедневных средних расходов, составляющих основу вычислительной программы MEDZI. В настоящее время, параметры модели определяются для всех бассейнов. Был разработан также усовершенствованный вариант пакета программ VIDRA, примененный в прогнозе паводков в сооруженном режиме. Этот вариант применяется особенно для обеспечения потребностей оперативных прогнозов в условиях паводков. Введение, дисплей и поправки данных проводятся в системе человек-машина. Прогнозист проводит поправку параметров примененных математических моделей. Одновременно данные, необходимые для вычислительного процесса, организованы по основным малым структурам, совершенно независимым, по которым можно разработать любую, более обширную конфигурацию, придавая возможность начать процесс вычисления с любой точки. Таким образом прогнозист имеет возможность анализировать развертывание явления в ограниченной зоне бассейна. В этом смысле возможности реактуализации прогноза являются более широкими, а время его разработки более коротких.

Для прогноза максимальных расходов паводков с коротким временем концентрации, приходящих по гидрографическим бассейнам были разработаны с применением математической модели типа "резервуары" сценарии, воспроизводящие метеорологические и гидрологические ситуации, возможно проявляемые в соответствующем бассейне. На этой основе были разработаны кривые интерполяции, применяемые в прогнозе.

Для долгосрочных прогнозов была разработана вычислительная программа PROGNOZA, при помощи которой разрабатывается в настоящее время долгосрочный прогноз для 40 гидрометрических станциях и 40 водохранилищ. Разработаны также долгосрочные прогнозы водного запаса в снежном покрове в конце холодного сезона, для больших водохранилищ и полученные соотношения прогноза среднемесячных расходов в период таяния снега и объема воды, принимаемого водохранилищем в этот период.

Румынский Национальный Комитет по МГП считает, что в рамках настоящей встречи желательно анализировать, в сотрудничестве с делегатом ВМО - КГ способы осуществления придунайскими странами обмена оперативной информацией для разработки гидрологических прогнозов.

XV КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ

СОСТОЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ В СФРЮ

/национальный доклад/

Т. ПЕТКОВИЧ, Союзный гидрометеорологический институт

Б е л г р а д

Интерес к гидрологическим прогнозам и восстановлению информационной сети гидрологических постов в Югославии стал возрастать после катастрофических наводнений, происшедших на Дунае в 1926 году. Но все же первые конкретные мероприятия по выпуску гидрологических прогнозов предприняты после Второго мирового во выражались в том, что для некоторых профилей Савы и Дуная на выпускались прогнозы уровней воды. Это произошло сразу после принятия "Конвенции с режиме судоходства на Дунае". Согласно Конвенции, Гидрометслужба Югославии приняла обязанность сбора обмена гидрометеорологической информацией со странами, подписавшими эту Конвенцию.

Последующие наводнения на Дунае и его притоках и интенс защита от наводнений, а также повышение требований к гидрологическим прогнозам для целей регулирования речного ст способствовали развитию информационной сети гидрологических метеорологических постов. Развитие же некоторых отраслей прикладной математики, вычислительной техники и самой науки режиме стока, способствовали развитию новых и применению существующих прогностических методов и развитию новых и существующих прогностических методов и моделей в СФРЮ.

Сбор гидрологической информации

Информация о состоянии и изменениях элементов гидрологического режима и климата, представляющая собой основу оперативного гидрологического прогнозирования, собирается ежедневно с обширной сети гидрометеорологической службы СФРЮ время половодий информационная сеть значительно расширяется, охватывая менее значительные водотоки.

Нынешняя "система гидрологической бдительности" в СФРЮ охватывает около 130-ти гидрологических постов, с которых

ежедневно собираются данные и около 50-ти постов, включившихся в информационную сеть только во время половодий. Существует еще немалое число водомерных постов вне основной сети гидрометеорологической службы.

На постах информационной сети производятся измерения расходов и ведутся наблюдения за уровнями, температурой воды и ледовыми явлениями. На большинстве постов наблюдения производятся один или несколько раз в сутки, а около 30-ти постов снабжены устройствами для автоматической передачи данных, которые можно получить в любое время суток.

Согласно "Конвенции о режиме судоходства на Дунае" гидрометеорологическая служба СФРЮ ежедневно получает данные об уровнях воды на Дунае и его притоках, а также прогнозы уровней из других придунайских стран. Специальным билатеральным договором с некоторыми странами урегулирован обмен данными во время половодий.

Полученные данные и прогнозы, а также собственные прогнозы гидрометслужбы СФРЮ распределяет потребителям в стране и за границей согласно существующим договорам. При этом используется система кодирования HYDRA.

Оперативное прогнозирование и выпуск гидрологических прогнозов

Наряду со сбором гидрометеорологической информации с территории страны и из заграницы, гидрологическая служба СФРЮ ежедневно выпускает прогнозы различных элементов водного режима, предупреждения о появлении половодий, а также об аварийных загрязнениях водотоков.

Ежедневно выдаются краткосрочные прогнозы уровней и расходов воды на 26-ти гидрологических постах, как правило, на больших реках, таких как Дунай, Сава, Тиса, Драва и Морава. Для ежедневных нужд судоходства выпускаются и декадные прогнозы. За зимний период выпускаются краткосрочные и долгосрочные прогнозы ледовых явлений. Для большинства значительных водотоков в СФРЮ выпускаются также специальные прогнозы и предупреждения во время половодий, межени и т.д.

Прогнозы и предупреждения передаются в форме бюллетеней различным организациям, по радио, телевидению, в печати и т.д. Постоянным потребителям прогнозы передаются телексом, телефоном и радиосвязью. При передаче используется HYFOR система кодирования.

Методы гидрологического прогнозирования

Применение различных методов и моделей для гидрологического прогнозирования обусловлено характером гидрологического режима отдельных водотоков, состоянием информационной сети, способам сбора данных, а также целью самих прогнозов.

В оперативной практике краткосрочного гидрологического прогнозирования в СФРЮ нашли место различные методы и модели, которые можно выделить в следующие группы:

- методы, использующие зависимости соответственных уровней или расходов, приведенных в аналитическом, графическом или табличном виде;

- методы, обоснованные на закономерностях течения воды в открытых руслах /метод Калинина-Милюкова, метод Маскингем и модификации/;

- методы и модели, основанные на использовании зависимостей осадки-сток и применением системного подхода.

До настоящего времени приобретен значительный опыт в разработке новых и применении существующих моделей, таких как SAARR, HEC, HBV, TDNK, CLS и другие.

Для прогнозирования декадных, месячных, сезонных и годовых значений стока используются методы, базирующиеся на резервах в речной сети, методы множественной линейной и нелинейной корреляции т.е. методы, основанные на анализе временных рядов.

Перспективы развития гидрологического прогнозирования

В целях улучшения эффективности гидрологических прогнозов в СФРЮ предусматривается модернизация информационной сети гидрологических и метеорологических станций, повышение числа автоматических гидрологических станций, введение автоматических метеорологических станций и использование метеорологических радиолокаторов.

Наряду с этим, особое внимание будет посвящено исследованию дальнейшего развития математических моделей /детерминистических стохастических/ и методов прогнозирования различных элементов водного и температурного режима. При этом, в первую очередь, обращать внимание на те реки, которые для народного хозяйства Югославии будут представлять наибольший интерес.

ALLGEMEINE FRAGEN UEBER DIE WISSENSCHAFTLICHE UND OPERATIVE SICHERUNG DER HYDROLOGISCHEN VORHERSAGEN IN BULGARIEN

*Dobri Dimitroff, Institut fuer Meteorologie und
Hydrologie - Sofia*

Nationalbeitrag

In diesem Beitrag wird versucht, die Lage der wissenschaftlichen Forschungen ueber die hydrologischen Vorhersagen der Donau darzustellen, die in den letzten Jahren in Bulgarien vorgenommen wurden. Es werden auch Forschungen betrachtet, die keine direkte Vorhersagethematik beinhalten, aber als Grundlage fuer die Entwicklung der hydrologischen Vorhersagen der Donau erscheinen. Im Beitrag wird auch kurz die Struktur der Systeme fuer operativen Austausch und Datenverarbeitung des Einzugsgebietes der Donau, die in Bulgarien existieren, beschrieben sowie auch die Grundprodukte, die als Ergebnis der operativen Informations- und Vorhersagenbedienung im bulgarischen Donauebiet erscheinen. Ausserdem werden hier auch die existierenden Probleme, ungelösten Fragen und die Perspektiven fuer Weiterentwicklung betrachtet.

WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNGEN

In den letzten Jahren wurden wissenschaftliche Forschungen ueber diese Thematik in verschiedenen Richtungen vorgenommen. Die letzten haengen von den Beduerfnissen der Wirtschaft sowie von der Informationssicherung, die in unserem Land existiert und von anderen wesentlichen Faktoren ab. Als wichtige Richtung der Forschungen erscheint die Analyse der Zeitschwankungen des Wasserstandes und des Abflusses im bulgarischen Donauebiet. Diese werden in Abhaengigkeit mit dem Zeitmassstab differenziert durchgefuehrt. Die Analyse der Hochfrequenzschwankungen des Wasserstandes zeigt, dass waehrend des Betriebes nur des ersten Wasserkraftwerkes "Eisernes Tor 1" klar ausgedruckte stuendige, vierundzwanzigstuendige und woechentliche Schwankungen existieren [11]. Aehnliche Forschungen, basiert auf dem Zeitabschnitt, in welchem beide Wasserkraftwerke in Betrieb waren [5], zeigen, dass das zweite

Wasserkraftwerk ein wenig die Schwankungsstruktur veraendert, unabhaengig von dem Wasserstand des Flusses. Fuer den Zweck Langfristvorhersage wurden Forschungen ueber die Monats-Saisonsschwankungen des Wasserstandes und des Abflusses durchgefuehrt [7, 8].

Es wird auch ueber die Entwicklung der Vorhersagemethodik, in Richtung Kurzfrist- und Langfristvorhersagen gearbeitet. Die Hauptprobleme zur Erhoehung der Genauigkeit Kurzfristvorhersagen stehen in Abhaengigkeit mit dem anthropogenem Einfluss des Wasserkraftwerkes "Eisernes Tor". Bulgarien erhaelt keine operative Information ueber den Wasserauslass dem Wasserkraftwerk. In diesem Sinne werden in [4, 5] so Verfahren vorgeschlagen, die die anthropogenen Aenderung Hochwassers beruecksichtigen. Die Langfristvorhersagen haben hauptsaechlich im Hinsicht auf die Vorhersage des minimalen Monatsabflusses, unter Beruecksichtigung der Atmosphaereaktivitaet [6] sowie auch bei Anwendung des Verfahrens dynamischen Regression [3] entwickelt. Von Interesse sind auch Studien ueber die Vorhersage des Monatsabflusses, aufgrund differenzierten Anwendung der Modelle des Types "ARMA" Bestandteile der Zeitreihe, die von der Schwankungsfrequenz abhaengen [13, 14]. Es sind auch Studien ueber die Vorhersage Jahresabflusses bei Anwendung des stochastischen Verfahrens vorhanden. Eine grosse Aufmerksamkeit wird auch der Analyse des Thermalregimes der Donau geschenkt [9, 15]. Diese Forschungen koennten teilweise fuer die Ziele der Vorhersage verwendet werden. Im Zusammenhang damit sind Studien ueber die Analyse der Eiserscheinungen [10]. Sehr aktuell sind die Forschungen ueber Wasserbelastungen der Donau. Eine Reihe von Studien sind Schwankungsanalyse der Konzentration von organischen Stoffen [16], toxischen Stoffen [17] und dem Gehalt von Schwermetallen in Anschwemmungen der Donau [1] gewidmet.

Wenn man die genannten Forschungen kritisch betrachtet, koennte man sagen, dass die Frage ueber die Mittelfristvorhersage in den letzten Jahren keiner Entwicklung unterzogen wurde. Grund dafuer ist das Fehlen an operativen Information ueber den anthropogenen Einfluss des Wasserkraftwerkes "Eisernes Tor". Unser Staat ist auch an der Durchfuehrung einer ausfuehrlichen Analyse des Genesis des Hochwassers der Ober- und Mittel-Donau interessiert.

interessiert. Das bezieht sich auch auf die Forschungen des Wassertemperaturschwankungen und der Eiserscheinungen im oberen und mittleren Donaugebiet. Ein Teil der angegebenen Studien beinhalten Ueberpruefung der Genauigkeit der Ergebnisse durch eine unabhaengigen Stichprobe, wie es z.B. in [6] gemacht wurde. Ausserdem erscheint es als wichtig Studien, in denen schon veroeffentlichte Forschungen kritisch eingeschaezt werden, zu erwaehren [12].

OPERATIVE TAETIGKEIT

Diese Taetigkeit wird von zwei Organisationen durchgefuehrt. Die Erste befindet sich in der Stadt Russe - "Dienststelle zur Wartung und Forschung des Donau-Wasserweges". Diese Organisation beschaeftigt sich hauptsaechlich mit Fragen im Zusammenhang mit dem Donau-Wassertransport. Jeden Tag wird eien Bericht ueber den Zustand der Donau erstattet, welcher im bulgarischen Radio taeglich um 15 Uhr angesagt wird. Der Bericht enthaelt die Aenderungstendenzen des Wasserstandes um einen Tag voran fuer die letzten zwei Wasserstand-Beobachtungsstationen an der Donau - die Staedte Russe und Silistra.

Die zweite Organisation, die sich auch mit operativen Taetigkeit beschaeftigt, ist das Intitut fuer Meteorologie und Hydrologie - Sofia. In der Abteilung fuer hydrologische Vorhersagen beim Institut wird ein Tagesbericht erarbeitet, in welchem der Zustand der Donau im bulgarischen Gebiet und ihren Nebenfluessen fixiert werden. Im Bericht werden auch Kurzfristvorhersagen fuer die Donau bis zu 7 Tage im voraus veroeffentlicht. In den letzten zwei Jahren erfolgt eine Verifikation und Einsatz der Methodik der Kruzfristvorhersage fuer die wesentlichen bulgarischen Donau-Nebenfluesse.

Waehrend der letzten zwei Jahre wurden wesentliche Bemuehungen zur Besserung der Kommunikationsmittel zur Datenaustausch mit den anderen Donau-Laendern unternommen. In Sofia wurden Hardware-Moeglichkeiten zur Anwendung des "GTS"-Systems bei dem Datenaustausch fuer Donau geschaffen. Die bulgarische Seite hat die Verpflichtung uebernommen die Hochwasserinformation zwischen Rumaenien und Jugoslawien zu uebertragen. Mit der rumaenischen Seite ist eine Vereinbarung zum Daten- und Vorhersageaustausch

fuer die groessten Nebenfluesse in dem gemeinsamen Donauget
getroffen. Aktive Verhandlungen werden auch mit Jugoslawien
Rumaenien ueber den operativen Datenaustausch ueber den
Wasserauslass aus dem Wasserkraftwerk "Eisernes Tor 1" gefuehrt.
Leider haben diese Verhandlungen bis jetzt noch keinen Erfolg
erreicht. Die bulgarische Seite vertritt die Meinung, dass
Information ueber den Wasserauslass aus "Eisernes Tor 1"
wesentlich fuer die Erhoehung der Voraussage und der Genauigkeit
der Kurzfristvorhersagen erscheint. Die regionale Telekommunikations-
abteilung in Sofia hat die Austauschbereitschaft mit
Dienststellen in Prag, Belgrad, Bukarest und Moskau. Falls
kuenftig einen Austausch mit der Anwendung des "GTS"
erforderlich erscheint, so wird z.B. Belgrad die bulgarischen
Angaben um 9 Uhr morgens erhalten, anstatt um 13-14 Uhr, wie
zur Zeit geschieht.

LITERATUR

1. Блъскова С., П. Нинов Исследование содержания тяжелых металлов в наносов болгарского участка р. Дунай. XI Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Варна, 1990.
2. Генов М., Г. Дамьянов Прогнозирование среднегодового стока реки Дунай с помощью Арма Модели. XIV Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Киев, 1988.
3. Генов М., Г. Дамьянов Стохастическая модель прогнозирования минимального месячного стока р. Дунай в болгарском участке. XI Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Варна, 1990.
4. Димитров Д., Г. Мънгов, К. Кирова Влияние гидрокомплекса "Железные ворота" на паводочный сток реки Дунай на болгарском участке и возможность его прогнозирования. ЭКОФОРУМ-89, Сбор докладов, София 1989.
5. Димитров Добри Некоторые вопросы влияния гидроузла "Железные ворота" на режим колебаний уровней реки Дунай на болгарском участке. XI Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Варна, 1990.
6. Димитров Д., Г. Здравкова Результаты оперативного долгосрочного прогнозирования минимальных расходов реки Дунай в городе Русе. XI Конференция придунайских стран по

гидрологическим прогнозам, Варна, 1990.

7. Захариева В., Ж. Николов Анализ за еднородност, цикличност и случайност на редиците за годишния отток на р. Дунав. Годишник на ВИАС, т. 34, София, 1990.

8. Мандаджиев Д., Ст. Модев Вътрешногодишно разпределение на оттока в българския участък на р. Дунав. Годишник на ВИАС т. 33, София, 1988.

9. Модев Ст. Определяне на естествената температура на водата в открити течения при оценка на тяхното замърсяване. Годишник на ВИАС т. 33, София, 1988.

10. Модев Ст. Статистически зависимости за прогнозиране появата на ледови явления в българо-румънския участък на р. Дунав. Втора младежка интердисциплинарна научна сесия, София, 1985.

11. Мънгов Г., В. Янков Анализ внутрирядовой структуры речного стока в целях его прогнозирования. XIV Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Киев, 1988.

12. Николов Ж. Критика на монографията "Дунав и неговата водосборна област". Строителство, кн.8, София, 1988.

13. Янков В., Г. Мънгов Прогнозиране речного стока с учетом внутрирядовой структуры временных рядов. XIV Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Киев, 1988.

14. Yankov V., Mungov G. Method for long-term modeling and forecasting of river flow. Доклады БАН, т. 38, № 1, София, 1985.

15. Модев Ст. Върху методиката за построяване на многогодишни ключови криви за открити течения. Годишник на ВИАС т. 34, София, 1990.

16. Zankov K., S. Gjulamdjan Einfluss der lokalen Belastung auf den Gehalt organischer Stoffe der Donau. Limnologische Berichte der 28. Tagung der IAD, Varna, 1990.

17. Zankov K., S. Gjulamdjan Belastung der Donau mit toxischen Stoffen in der Region von Russe. Limnologische Berichte der 28. Tagung der IAD, Varna, 1990.

ХУ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ

СЛУЖБА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ СССР

А.П.Жидиков

Гидрометцентр СССР, Москва
(национальный доклад)

I. Структура службы

В СССР все работы по исследованию в области гидрологических прогнозов, их выпуска и доведения до потребителей осуществляются силами научных и оперативных органов, входящих в состав Государственного комитета СССР по гидрометеорологии. В других ведомствах страны указанные работы практически не проводятся. Таким образом понятие "Служба гидрологических прогнозов СССР" адекватно понятию "Служба гидрологических прогнозов Госкомгидромета СССР".

Службу гидрологических прогнозов можно представить в виде пирамиды в несколько этажей (уровней). Наверху этой пирамиды находится Госкомгидромет СССР, который осуществляет координацию исследовательских и оперативных работ всех учреждений рассматриваемой службы, а также взаимодействия с министерствами и ведомствами страны в области организации обеспечения потребителей гидрологическими предупреждениями и прогнозами.

Главным научным и оперативным органом страны по гидрологическим прогнозам является Гидрометцентр СССР, находящийся в Москве, основными задачами которого являются:

- изучение закономерностей гидрологических процессов, проходящих на бассейнах рек (водоемов), а также разработка методов прогнозов стока и ледовых явлений;

- выпуск предупреждений и гидрологических прогнозов и обеспечение ими центральных правительственных и общественных органов министерств и ведомств страны;

- научно-методическое руководство местными учреждениями Госкомгидромета СССР, включая региональные научно-исследовательские

гидрометеорологические институты (НИГМИ), в области разработки и усовершенствования методов гидрологических прогнозов, а также оперативного обеспечения гидрологической информацией и прогнозами потребителей;

– обеспечение населения страны через средства массовой информации сведениями о текущих и ожидаемых гидрологических явлениях.

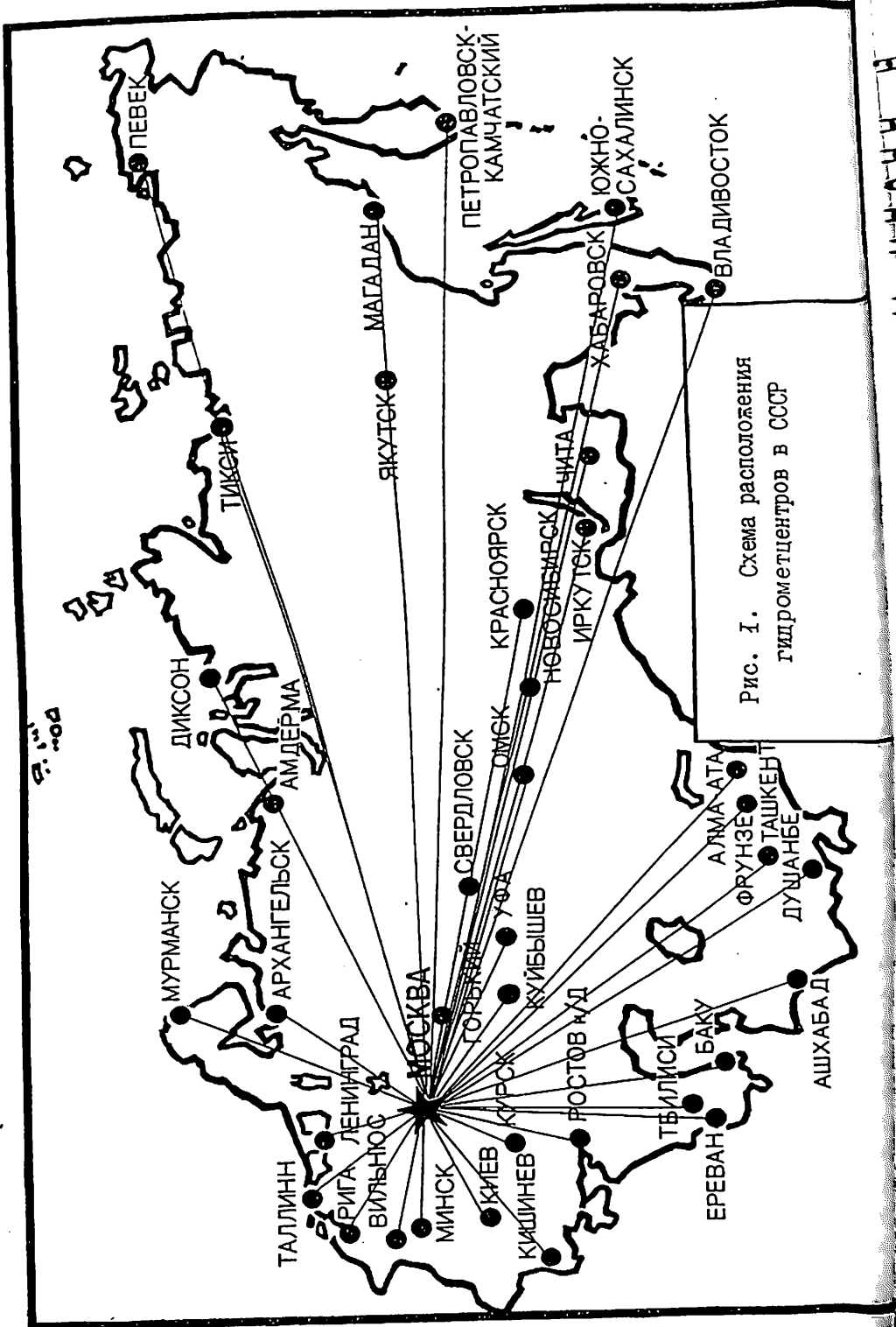
Для выполнения указанной работы в Гидрометцентре СССР созданы два подразделения, а именно: отдел оперативных гидрологических прогнозов и отдел исследований по прогнозам речного стока с общей численностью около 80 человек.

Кроме Гидрометцентра СССР в стране имеется ещё 8 региональных научных гидрометеорологических институтов (НИГМИ), которые проводят исследования в области гидрологических прогнозов. К ним относятся:

- Дальневосточный (ДВНИГМИ, г.Владивосток),
- Западно-Сибирский (ЗапСибНИГМИ, г.Новосибирск),
- Красноярский филиал ЗапСибНИГМИ (г.Красноярск),
- Хабаровский филиал Гидрометцентра СССР (г.Хабаровск),
- Казахский (КазНИГМИ, г.Алма-Ата),
- Среднеазиатский (САНИГМИ, г.Ташкент),
- Закавказский (ЗакНИГМИ, г.Тбилиси),
- Украинский (УкрНИГМИ, г.Киев).

Перечисленные институты проводят исследования по гидрологическим прогнозам как совместно с Гидрометцентром СССР, так и самостоятельно по регионам их местонахождения.

Одним из основных звеньев рассматриваемой службы являются 38 местных Гидрометцентров, входящих в состав 38 республиканских и территориальных управлений по гидрометеорологии. В каждом из этих центров имеются отделы или группы, которые выпускают и доводят до потребителей краткосрочные и долгосрочные гидрологические прогнозы по определенной территории, а также выполняют разработки способов прогнозов локального характера. При этом краткосрочные гидрологические прогнозы составляются отделами (группами) самостоятельно, а долгосрочные – совместно с Гидрометцентром СССР. Местные Гидрометцентры соединены прямой связью с Гидрометцентром СССР, благодаря чему между ними производится оперативный обмен прогностической продукцией. Расположение всех гидрометцентров в СССР показано на рис. I. Во всех 38 местных гидрометцентрах рабо-



ют около 250 гидрологов-прогнозистов.

Нижним этажом (уровнем) службы являются областные центры по гидрометеорологии, в значительной части которых имеются гидролог-и-прогнозисты. В большинстве случаев работники областных центров ами прогнозы не составляют, а распространяют среди потребителей редупреждения и прогнозы, выпускаемые соответствующими местными идрометцентрами.

В областных центрах работают около 170 гидрологов-прогнозистов. В общей сложности в службе гидрологических прогнозов СССР работают около 600 научных и оперативных работников. За год служба выпускает почти 150 тыс. краткосрочных и около 20 тыс. долгосрочных гидрологических прогнозов.

Все виды гидрологических прогнозов выпускаются различными звеньями службы страны на базе данных наблюдений информационной гидрологической сети, насчитывавшей около 4 тыс. станций.

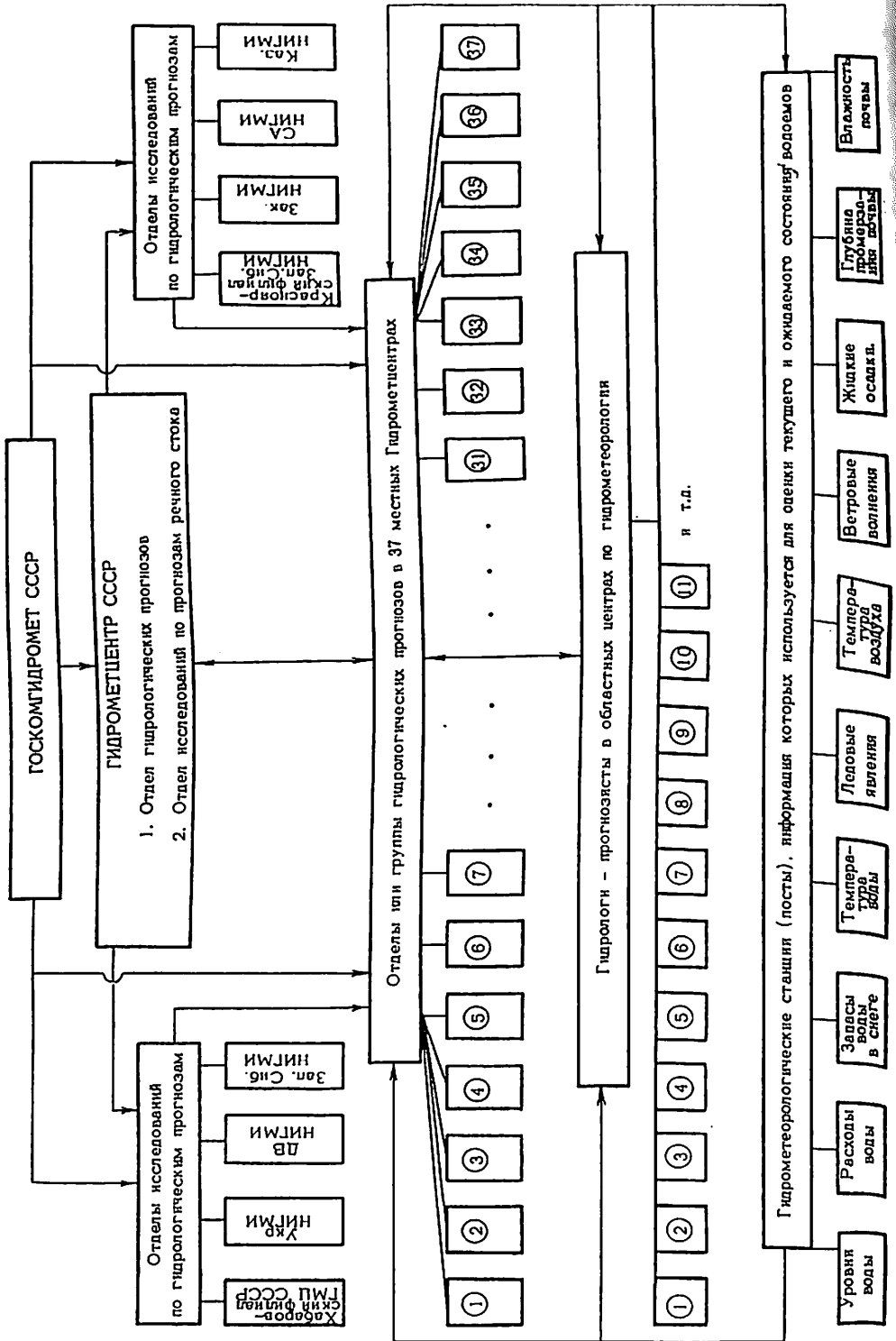
Наглядное представление о структуре службы можно составить по рис.2.

2. Методическая основа для локальных способов (методов) прогнозов

Вследствие чрезвычайной сложности и неравномерности гидрометеорологических условий, а также ограниченности исходных данных при разработке различных способов прогнозов приходится прибегать к значительной схематизации реальных процессов, происходящих как в русле реки, так и на водосборе. Это приводит к многообразию локальных способов (методов) прогнозов водного и ледового режима, используемых на практике. Несмотря на большое их разнообразие методические подходы при их разработке можно объединить в несколько групп.

Первая группа включает методы прогнозов, основанные на закономерностях движения речного потока. Физической основой этих методов является теория движения паводочной волны, уравнение баланса для участка реки или речной системы в целом, закономерности истощения русловых запасов воды.

Из указанной группы довольно часто в прогнозах используются методы, в которых основным звеном являются модели, описывающие процессы добегания воды от вышерасположенных по реке постов до заданного поста с помощью уравнения кривой добегания (функции влияния).



К этой же группе следует отнести методы, основанные на связи речного стока в замыкающем створе реки с запасами воды в речной сети.

Для уточнения долгосрочных прогнозов притока воды в крупные водохранилища, расположенные на равнинных реках, нередко применяется зависимость между стоком отобранных по определенным признакам малых рек за время от начала до пика половодья на одной из них и последующим притоком воды в водохранилища.

Для прогнозов гарантированных уровней (расходов) воды некоторых больших рек широко используются закономерности истощения запасов воды с различных участков русла совместно с закономерностями добегания воды от постов, ограничивающих эти участки, до замыкающего створа системы.

Наряду с прогнозами, при составлении которых учитываются сложные многофакторные процессы в руслах рек, оперативными подразделениями местных управлений Госкомгидромета СССР пока ещё широко применяется известный метод соответственных уровней (расходов) воды для тех участков рек, где он дает достаточно эффективные результаты.

Заблаговременность и точность методов прогнозов, входящих в первую группу, зависят от длины реки, времени добегания воды, величины промежуточного притока, формы паводка. Для небольших горных рек их заблаговременность составляет лишь несколько часов. На больших реках заблаговременность может достигать двух месяцев.

Ко второй группе следует отнести методы, опирающиеся на использование закономерностей, присущих процессам, происходящим не только в руслах, но и на водосборах. Теоретически такие методы могут дать максимальную заблаговременность прогнозов, если роль стокообразующих факторов, определяющих приток воды за период заблаговременности, несущественна. В последнее десятилетие в СССР уделено много внимания развитию этого направления. Физической основой методов, применяемых для составления таких прогнозов, являются общие теоретические представления о зависимости стока от его факторов, математические модели формирования половодья или дождевых паводков и уравнение водного баланса водосбора, а также экспериментальные исследования отдельных процессов стокообразования на водосборе.

В третью группу следует включить широко распространенные в Советском Союзе методы долгосрочных прогнозов весеннего половодья. Существом большинства методов прогнозов весеннего стока является решение в том или ином виде проблемы прогноза поглощения воды бас-

сейном за период формирования половодья. Водопоглатительная способность бассейна связана с интенсивностью инфильтрации в почву, рая зависит от влажности почвы, глубины её промерзания, температур. Измерениям характеристик в Советском Союзе придается большое значение, так как они в виде аргументов входят во многие методы прогнозирования весеннего стока. С помощью этих характеристик производятся расчеты льдистости почвы, вероятности появления так называемого, запредельного слоя в почве. Его образование связано с определенными условиями, при которых водопроницаемость мерзлой почвы может резко снизиться вследствие закупоривания пор льдом, образующимся из первой порции талой воды. Разработаны теоретические основы и получены количественные показатели степени влияния влажности и глубины промерзания почвы на водопоглотительные свойства бассейнов. Проведены большие многочисленные исследования по выявлению статистических закономерностей распределения этих характеристик по площади и их количественного учета в пиках весеннего стока.

Четвертая группа включает методы краткосрочных и долгосрочных прогнозов ледовых явлений. Физическими основами краткосрочных прогнозов сроков появления льда и начала ледостава на реках и водоемах является расчет потоков тепла от водной поверхности в атмосферу и приток тепла из водной массы к этой поверхности. Такой подход дает универсальностью и позволяя учитывать локальные особенности морфометрические и гидрологические условия на участке реки и водоема.

В основе методов прогнозов сроков установления льда — математические модели, базирующиеся на концепции, согласно которой для установления ледостава необходимо понижение температуры воздуха до определенного значения. Это значение имеет название критической температуры, а зависит она от густоты ледохода и величины влекущей силы течения. Последняя выражается приближенно через скорость и ширину течения.

В методах прогнозов вскрытия рек используется критическое соотношение рассчитанной величины прочности льда и необходимого подъема уровня (или расхода) воды. Прогностические связи устанавливаются как с помощью эмпирических зависимостей, так и в обобщенном виде через модульные коэффициенты основных факторов.

Научно-методическая база долгосрочных прогнозов ледовых явлений основана на анализе циркуляции атмосферы, учете развития синоптических процессов над всем северным полушарием. Поля приземного давления и температуры воздуха, геопотенциала представляются посредством

тественных ортогональных составляющих (компонентный анализ). Для выявления и формализации прогностических зависимостей применяется дискриминантный анализ.

3. Основные виды прогнозов, выпускаемые службой, и их доведение до потребителей

В СССР гидрологические прогнозы по своему содержанию и назначению весьма разнообразны. В зависимости от длительности периода времени, на который дается прогноз, они подразделяются на краткосрочные и долгосрочные. Принято считать, что прогноз, даваемый на период времени до 12-15 дней, относится к краткосрочному, а на больший период времени - к долгосрочному.

Прогнозы водного режима рек и водохранилищ включают следующие основные виды:

- объем стока реки или притока воды в водохранилища за период половодья или дождевого паводка и за календарные периоды (пентаду, декаду, месяц, квартал, сезон);
- характерные расходы (уровни) воды за календарные периоды и сезоны (максимальный, средний, минимальный);
- расход (уровень) воды на определенные даты;
- гидрограф половодья или паводка;
- сроки наступления пиков половодья или паводков, а также опасных уровней и длительности затопления поймы.

В прогнозах ледового режима даются следующие характеристики:

- время появления льда и наступления ледостава;
- время вскрытия рек;
- время очищения ото льда озер и водохранилищ;
- нарастание толщины льда на реках, озерах и водохранилищах;
- потеря прочности льда при вскрытии рек и водохранилищ.

Кроме перечисленных прогнозов служба обеспечивает потребителей также оперативной информацией о сложившихся гидрологических условиях на водосборах, реках, озерах и водохранилищах, включая характеристики:

- ежедневных уровней и расходов воды рек;
- запасов воды в снежном покрове в холодный период года на конец каждой декады;
- накопление воды в водохранилищах на определенные даты;
- температуры воды;
- толщины ледяного покрова и др.

Порядок и сроки доведения гидрологических прогнозов и предупреждений до потребителей регламентируются специальными договорами (планами-схемами). В этих договорах указывается также перечень прогнозов и предупреждений, требуемых для конкретных потребителей.

Все виды долгосрочных гидрологических прогнозов (месячные) публикуются в бюллетенях или специальных докладах и заранее направляются потребителям по почте или доставляются им курьером.

Краткосрочные гидрологические прогнозы публикуются в ежедневном гидрометеорологическом бюллетене, который доставляется потребителям или передается по каналам связи.

Все предупреждения об опасных гидрологических явлениях распространяются среди потребителей по телефону или по другим каналам связи.

Население страны обеспечивается информацией об ожидаемых гидрологических условиях, как правило, через средства массовой информации (радио, телевидение, пресса). Однако в экстремальных ситуациях по оповещению населения об опасных гидрологических явлениях могут быть задействованы также республиканские и местные советские органы Гражданской обороны.

Вся текущая оперативная информация распространяется потребителям в виде карт (например, карта высоты снежного покрова или воды в ней) или в виде сводок по районам, интересующим конкретных потребителей.

4. Использование гидрологических прогнозов в хозяйстве страны

В СССР гидрологические прогнозы используются во многих отраслях народного хозяйства, но главным образом в гидроэнергетике, водном транспорте, сельском и водном хозяйстве, лесосплаве, коммунальном хозяйстве, а также в автодорожном и железнодорожном транспорте.

Гидроэнергетика и водное хозяйство. В настоящее время одним из важнейших факторов рационального использования водных ресурсов является их перераспределение во времени и по территории при регулировании стока рек. На территории СССР действуют многочисленные и около 50 крупных водохранилищ, комплексного (многоцелевого) назначения, которые при наполнении имеют общий объем примерно 100 куб. км, а полезный – около 400 куб. км. Почти все крупные водохранилища предназначены для удовлетворения потребностей гидроэнергетики.

речного транспорта, рыбного и сельского хозяйства. В то же время требования различных водопотребителей к регулированию стока часто противоположны. Так для гидроэнергетики нежелательны холостые сбросы воды через плотину, в то время как для рыбного и сельского хозяйства необходимо создать ниже плотины гидроэлектростанции (ГЭС) паводок определенного режима, требующий значительных холостых сбросов. Часто в условиях маловодья приоритет при распределении воды отдается орошению, а судоходство ограничивается или вовсе вынуждено прекращаться. В многоводные годы режим работы водохранилища должен быть таким, чтобы можно было избежать затопления городов и населенных пунктов, расположенных ниже плотины, что сплошь и рядом приводит к невыгодному для гидроэнергетики графику пуска воды из водохранилища.

Для решения перечисленных проблем для всех крупных водохранилищ составляются прогнозы притока воды на квартал и месяц, а для водохранилищ местного значения, предназначенных, главным образом, для водоснабжения, даются прогнозы объема притока за половодье и дождевые паводки.

Прогнозы притока воды к ГЭС на месяц и квартал используются для корректировки планов выработки электроэнергии. Прогнозы гидрографа паводка или максимального его расхода используются для принятия мер по пропуску паводка через гидроузлы. Это особенно важно при больших паводках и для ГЭС, водохранилища при которых имеют небольшую регулируемую емкость. Краткосрочные прогнозы притока воды к ГЭС позволяют более правильно распределять нагрузку между гидро- и тепловыми электростанциями. Прогнозы притока воды к водохранилищам при тепловых электростанциях дают возможность спланировать смену воды в водохранилищах. В СССР прогнозы притока воды составляются для III ГЭС.

Речной транспорт и лесосплав. Прогнозы вскрытия и замерзания рек, озер и водохранилищ используются для планирования сроков начала и завершения навигации и расстановки флота на зимние стоянки. На крупных реках часто осуществляется специальное гидрометеорологическое обслуживание проводки караванов судов осенью, для чего даются прогнозы сроков появления льда, интенсивности ледохода и образования ледовых перемычек на реке по пути следования судов. Для увеличения длительности периода навигации большое значение приобретают прогнозы нарастания льда осенью и потери его прочности весной на водохранилищах, т.к. осуществляется проводка судов с помощью речных ледоколов.

Прогнозы минимальных уровней на предстоящий месяц позволяют оценить условия плавания, оперативно использовать дноуглубительную

технику и скорректировать план перевозок. Краткосрочные прогнозы уровней воды на периоды рейсов судов являются необходимым документом для определения судоходных уровней на лимитирующих участках и регулярно передаются в диспетчерские службы пароконств.

В стране много так называемых временно судоходных рек, т. е. судоходство по которым осуществляется лишь по высокой воде в половодья. Для таких рек выдаются прогнозы уровней на подъеме де половодья, на основе которых осуществляется проводка караванов судов с грузами.

Для лесосплава необходимы, главным образом, прогнозы максимальных уровней половодья и паводков, которые позволяют установить заготовки леса на местности.

Для обслуживания судоходства гидрологические прогнозы выпускаются по 168 рекам общей протяженностью около 74 тыс. км для обслуживания лесосплава — по 156 рекам, протяженностью 46 тыс. км.

Коммунальное хозяйство, транспорт, горнодобывающая и перерабатывающая промышленность. Эти отрасли хозяйства интересуются главным образом заблаговременные предупреждения о затоплениях воднениях. Для этих целей органами Госкомгидромета СССР проводится очень большая работа по установлению опасных уровней воды для городов и населенных пунктов, мостов и дорог, районов добычи полезных ископаемых и других объектов. Составлены карты затопления в больших городах при различных по высоте паводках.

На малых реках горных районов опасны селевые паводки, которые в связи с сильными дождями или прорывом горных озер, воды увлекают собой рыхлые породы и камни и причиняют большие разрушения.

Опасные явления прогнозируются гидрометеорологами с той или иной степенью заблаговременности, а каталог опасных отметок дает возможность конкретно указать какие объекты будут подвергаться опасности затопления. В каждой республике, области, крае имеются специальные постоянно действующие комиссии, которые, получая гидрологические прогнозы и информацию, принимают соответствующие временные меры по борьбе с наводнениями, предохранению мостов и сооружений их ледоходом и т. д.

В СССР в 1988 г. прогнозы наивысших уровней половодья выпускались по 1065 пунктам, т. е. для многих городов и населенных пунктов, расположенных по берегам 520 рек.

Сельское хозяйство. В прогнозах водности рек прежде всего заинтересовано орошаемое земледелие, ибо здесь невозможно плановое регулирование водности рек.

осевные площади и рационально использовать водные ресурсы без этих прогнозов. В маловодные годы на основании прогнозов вводится строгий режим водопользования, ищутся дополнительные источники водоснабжения (грунтовые, возвратные воды, переброска воды из других рек и т.д.). В стране прогнозы стока по районам орошаемого земледелия составляются по 249 рекам.

Для неорошаемого земледелия гидрологические прогнозы используются в целях оценки возможных площадей затопления при разливах рек, назначения сельскохозяйственного попуска воды из водохранилищ и наполнения местных водоёмов. Прогнозы дат стока воды с поймы позволяют установить сроки начала полевых работ на пойменных участках.

Выводы. В целях дальнейшего повышения эффективности службы гидрологических прогнозов необходимо:

1. На всех уровнях службы гидрологических прогнозов усилить работы, направленные на повышение точности и детальности прогнозов, увеличения их заблаговременности, а также ускорение доведения предупреждений и прогнозов до потребителей.

2. Глубже изучать запросы потребителей и исходя из этого совместно с ними вырабатывать стратегию более эффективного использования прогнозов применительно для конкретных хозяйственных организаций. Совершенствовать формы и содержание гидрологических прогнозов, с учетом новых запросов потребителей.

3. Практиковать более широкий обмен опытом в деле повышения эффективности гидрологических прогнозов между оперативными подразделениями Госкомгидромета СССР, потребителями и гидрологическими службами других стран.

**1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КРАТКОСРОЧНЫХ И
ДОЛГОСРОЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ**

**GEGENWAERTIGE METHODEN DER KURZ-UND
LANGFRISTIGEN VORHERSAGEN**

KURZFRISTIGE HOCHWASSERVORHERSAGE UNTER ANWENDUNG DES KALMAN-FILTERS

Barth, Friedrich
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Bundesrepublik Deutschland

Zusammenfassung

Ausgehend von der allgemeinen hydrologischen Vorhersageproblematik im Spannungsfeld zwischen theoretischer Anforderung und praktischer Notwendigkeit werden die Erfahrungen bei der Erstellung einer kurzfristigen Hochwasservorhersage am Neckar geschildert.

Dabei steht der hydrologische Rahmen der konkreten Vorhersagesituation als wesentliches Entscheidungskriterium bei der Modellauswahl im Vordergrund.

Konkrete Vorhersageergebnisse, die über einen mit einem Kalman-Filter gekoppelten ARMA-Modellansatz erzielt wurden, werden vorgestellt und die Vor- und Nachteile des Ansatzes bei der Anwendung für die Echtzeitvorhersage diskutiert.

SHORT TERM FLOOD FORECASTING WITH THE KALMAN-FILTER

Abstract

On the background of the general hydrological forecasting problem situated in the conflict of theoretical demand and practical necessity, the experiences made while acquiring a forecasting model for the Neckar are presented.

As the central criteria when choosing a forecasting model structure the hydrological characteristics of the concrete forecasting problem are described.

Some of the forecasting results received by ARMA-modelling together with a Kalman-Filter are presented and the advantages and disadvantages of the model structure for real-time forecasting are discussed.

1. Einleitung

Bei der Erstellung operationell einsetzbarer Vorhersagemodelle bewegt man sich im Spannungsfeld zwischen adäquater Systembeschreibung einerseits und der praktischen Anwendbarkeit mit den jeweiligen Struktur- und Genauigkeitsvorgaben andererseits. Inhalt solcher praktischer Vorgaben kann sein, ein Maximum an Vorhersagegenauigkeit mit möglichst wenig leicht zugänglicher Eingangsinformation zu erreichen.

Die jedoch damit einhergehende unzulängliche Erfassung der Systemeingangsgrößen erschwert zusätzlich die modelltechnisch

exakte Systembeschreibung, die sich für natürliche Systeme ihrem durch eine Vielzahl von Einflußfaktoren charakterisierten Verhalten ohnehin als äußerst komplex erweist.

Aus derlei Gründen erlangten dynamische Systembeschreibungen, es erlauben, ein mathematisches Modell an den jeweils aktuellen Systemzustand anzupassen, in den letzten Jahren in der Hydrologie zusehends an Bedeutung (z.B. 1, 9, 12). Eine Möglichkeit in dieser Richtung bietet die seit den 70er Jahren in der Hydrologie angewandte Kalman-Filter-Technik, über deren Algorithmus zutreffende Systemzustände direkt abgeschätzt oder aber die Parameter eines bestehenden Modells an den jeweiligen Zustand angepasst werden können.

Im Rahmen einer kurzfristigen Hochwasservorhersage am (AE = 13 800 km² am Pegel Heidelberg) kommt der Kalman-Filter zur Schätzung der Parameter eines aus einem ARMA-Prozeß hergeleiteten Regressionsansatzes zur Anwendung, so daß für die im folgenden verwendeten Modellstruktur von einem zeitvarianten Regressionsmodell gesprochen werden kann.

Der Grund für eine derartige Anwendung des Kalman-Filters jedoch über die bereits formulierten allgemeinen Schwierigkeiten hinaus im Verwendungszweck des Vorhersagemodells und den hydrologischen Rahmenbedingungen am Neckar begründet.

2. Ausgangssituation für die Entwicklung des Vorhersagemodells

Das Ziel der Modellarbeit war die Erstellung eines einfach handhabbaren Vorhersageinstrumentariums für den unteren Neckar unter Verwendung bereits abrufbarer Pegel (Pegel in Abb. 1) in kurzer Zeit einen operationellen Einsatz erlaubt und somit ein Kriterium für den Einsatz von Hochwasserrückhalteanlagen als Entscheidungskriterium für den Einsatz von Hochwasserrückhalteanlagen am Oberrhein herangezogen werden kann.

Nach der vor jeder Modellarbeit durchzuführenden qualitativen Analyse der Hochwasserganglinien einer Reihe bereits abgelaufener Hochwasserereignisse zeigte sich, daß für die vorliegende Situation die zu Beginn ausgeführten Schwierigkeiten in einem Maße zutreffen.

Neben dem komplexen Zusammenspiel der Nebenflüsse mit dem Strom waren für die Schwierigkeiten bei der modelltechnischen Erfassung des Hochwasserabflusses auf der Basis der Abflüsse in Abbildung 1 dargestellten Pegeln, vor allem der nicht zu vernachlässigende Einfluß aus den Zwischeneinzugsgebieten sowie der sich für das Ereignis ändernde Einfluß der 27 Stauhaltungen im Neckar wörtlich.

So führte beispielsweise der Versuch, in verschiedenen Teilen des Einzugsgebietes Vorhersagemodelle auf der Basis von Impulsantwortfunktionen zu entwickeln, aus oben genannten Gründen

nicht zum gewünschten Erfolg und wurde somit als Möglichkeit der Modellierung nicht weiterverfolgt.

3. Vorstellung der Modellstruktur und der Vorhersageergebnisse

Die Erfahrungen aus der qualitativen Analyse des Hochwasserablaufs am Neckar legte eine Gliederung des Einzugsgebietes in die in Abbildung 1 bezeichneten 5 Modellgebiete nahe, die sich schließlich auch im nachhinein bewährte.

Für diese Modellgebiete wurden mit Hilfe des von C.F. Gauß entwickelten rekursiven kleinsten Quadrateverfahrens aus 5 bereits abgelaufenen Hochwassern die Parameter der nachstehenden, aus einem ARMA-Prozeß entwickelten Regressionsgleichung bestimmt.

$$QU_t = \sum_{j=VZ}^q a_j \cdot QU_{t-j} + \sum_{k=1}^r \sum_{l=VZ}^s b_l^{(k)} \cdot QO_{t-1}^{(k)}$$

QU_j : Abflüsse am vorherzusagenden Unterliegerpegel

QO_j : Abflüsse an den K-Oberliegerpegeln

a_j, b_l : Parameter des Regressionsmodells

VZ : Vorhersagezeit

Auf der Basis dieser 5 Ereignisse erfolgte ebenfalls die Festlegung der im Filteralgorithmus enthaltenen statistischen Kenngrößen, um einen optimalen Einsatz des Kalman-Filters zu garantieren.

Der Filteralgorithmus und seine Eigenschaften sind aus der Literatur (10, 11, 14) ausreichend bekannt und werden daher an dieser Stelle nicht wiedergegeben.

Nach der Verifizierung der Modellstrukturen anhand 5 weiterer nicht in der Eichung verwendeter Ereignisse wurden die einzelnen Teilmodelle so zu einem Gesamtvorhersagemodell für den Pegel Heidelberg zusammengefügt, daß die vorhergesagten Systemausgänge der weiter im Oberlauf liegenden Modellgebiete jeweils als Systemeingänge für das weiter im Unterlauf liegende Modellgebiet weitergegeben werden.

Die sich zeigende Ineffektivität des Kalman-Filters bei größeren Vorhersagezeiten, auf die im folgenden noch eingegangen wird, veranlaßte dazu, im Modellgebiet I mit konstanten Parameterwerten zu arbeiten.

Das Gesamtvorhersagemodell wurde wiederum anhand der 5 nicht in die Eichung einbezogenen Hochwasserereignisse verifiziert, indem im Eichtzeitbetrieb 12- und 15-Stunden-Vorhersagen für den Pegel Heidelberg erstellt wurden.

Die Ergebnisse seien hier exemplarisch an zwei ihrem Charakter nach sehr unterschiedlichen Hochwasserereignissen dargestellt (Abbildung 2).

Der graphische Vergleich der gemessenen mit den berechneten Linien soll im Rahmen der exemplarischen Ergebnisvorstellung nützen, wobei während der Modellarbeit Effektivitätskriterien zur Beurteilung der Vorhersagegüte selbstverständlich herangezogen wurden.

4. Bewertung der Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse blieben hinsichtlich der Konstanz während der Eich- und Verifizierungsperiode, der erzielten Vorhersagezeit und der Vorhersagegenauigkeit im Rahmen der praktischen Anforderungen und rechtfertigen damit die Modellstruktur.

Gerade hinsichtlich der problematischen hydrologischen Ausgangssituation treten die Vorteile der vorliegenden Modellstruktur deutlich hervor. So kompensieren die autoregressiven Anteile der Regressionsgleichungen die fehlende Information an den Pegelgeraden und über den Kalman-Filter wird die dabei zeitlich verändernde Informationskonstellation auf die Parameter übertragen.

Der Schwierigkeit, daß bei Einsatz des Kalman-Filters die Echtzeitvorhersage mit zunehmender Vorhersagezeit der Fehlerschätzung verwendete Fehler immer weniger der zukünftigen Fehlersituation entspricht, die Parameterkorrektur demnach wirksamkeit verliert, wird über die gestaffelte Modellstruktur kompensiert, die in den einzelnen Modellgebieten nur zu verhältnismäßig kurzen Vorhersagezeiten führt.

Ein optimaler Einsatz des Kalman-Filters in den peripheren Modellgebieten ist ohnehin von größerem Nutzen, da sich dort das Systemverhalten wesentlich unbestimmter darstellt als im Lauf des Hauptstroms.

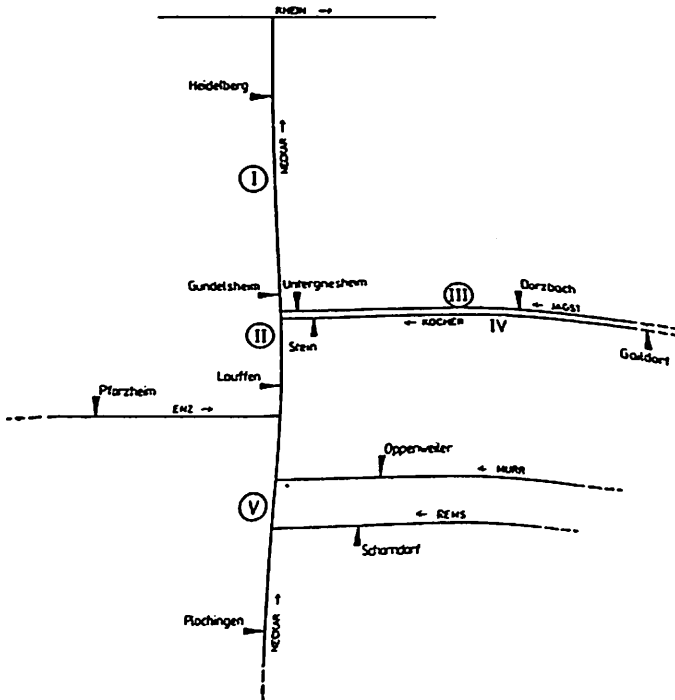
Die vorliegende Modellstruktur, die sich vornehmlich an praktischen Anforderungen orientiert und sich daran auch weiterhinaus entwickeln muß, stellt einen ersten Arbeitsschritt dar auf der bei der hydrologischen Modellierung sinnvollerweise einfacheren Strukturen ausgeht und bei Bedarf komplexere Strukturen zieht.

5. Literaturverzeichnis

1. Amirthanathan, G.E. (1982)
Contribution des techniques de filtrage optimal a quelques problemes hydrologiques,
Diss., Université des sciences et techniques du Languedoc

2. Box, G.E.P.; Jenkins G.M. (1976)
Time series analysis: Forecasting and control,
Holden-Day Inc., San Francisco
3. Gutknecht, D. (1978)
Methoden der hydrologischen Kurzfristvorhersage,
Wiener Mitteilungen, Band 26
4. Hsia, T.C. (1977)
System identification-least-squares methods
Lexington Books,
D.C. Heath and Company Lexington, Massachusetts,
Toronto
5. Ihringer, I. (1985)
Vorhersage von Hochwasserabflüssen aus Niederschlägen
Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasser-
wirtschaft der Universität Karlsruhe, Heft 25
6. Kalman, R.E. (1960)
A new approach to linear filtering and prediction
problems
Trans. ASME, Journal Basic Eng., 82
7. Nash, J.E.; Liang, G.C. (1988)
Linear models for river flow routing on large catchments,
Journal of hydrology, Vol. 103
8. O'Connell, P.E. (ed.) (1980)
Real time hydrological forecasting and control
Proceedings of the 1st international workshop,
Institute of Hydrology, July 1977, Wallingford
9. Wang Guang-Te; Yun-Sheng Yu; Wu Kay (1987)
Improved flood routing by ARMA modeling and the Kalman
filter technique,
Journal of hydrology, Vol. 93
10. Wood, E.F. (1978)
An application of Kalman filtering to river forecasting,
Proc. Chapman conference on Application of Kalman filter
to hydrology, hydraulics and water resources, Pittsburgh
11. Young, P. (1984)
Recursive estimation and time-series-analysis,
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo

Abb. 1 AUSGEWÄHLTE GEWÄSSER, PEGEL UND MODELL-
GEBIETE IM NECKAREINZUGSGEBIET

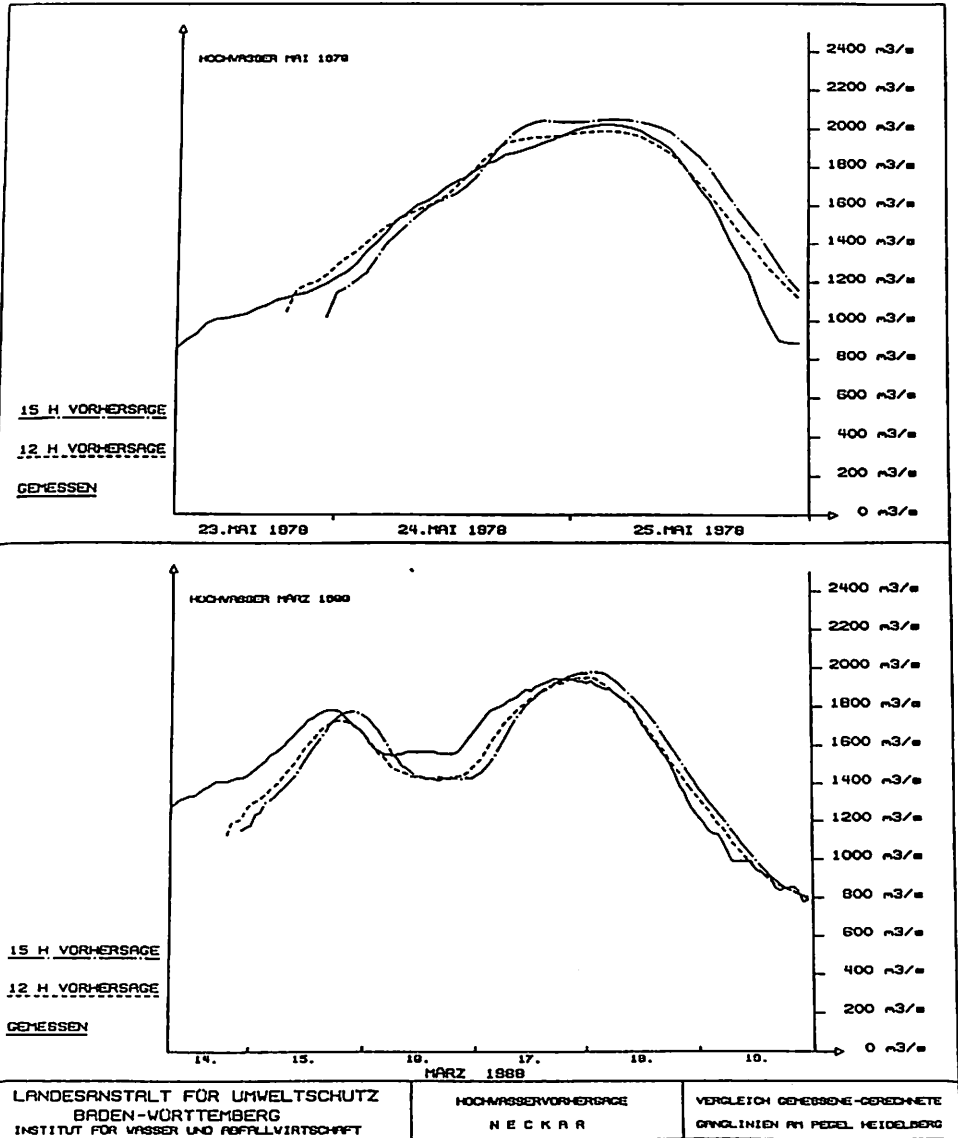


MODELLGEBIETE:

- Modellgebiet I, unterer Neckar mit dem Eingangspegel heim und dem Ausgangspegel Heidelberg
- Modellgebiet II, mittlerer Neckar mit den Eingangspegeln Lauffen, Stein, Untergriesheim und dem Ausgangspegel Gundelsheim
- Modellgebiet IV, Kocher mit dem Eingangspegel Gaildorf und dem Ausgangspegel Stein
- Modellgebiet V, oberer Neckar mit den Eingangspegeln Schorndorf, Oppenweiler, Pforzheim und dem Ausgangspegel Lauffen

Abb. 2

Vergleich der am Pegel Heidelberg gemessenen Hochwasserganglinien mit den berechneten Ganglinien einer 12- und einer 15-Stunden-Vorhersage für die Hochwasser vom Mai 1978 und vom März 1988.



СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИНИМАЛЬНОГО
МЕСЯЧНОГО СТОКА Р.ДУНАЯ НА БОЛГАРСКОМ УЧАСТКЕ

М.Генев, Г.Дамьянов

Институт метеорологии и гидрологии
Болгарской Академии Наук

РЕЗЮМЕ

С целью формирования оптимальной структуры прогностической модели проведен обстоятельный корреляционный и спектральный анализ рядов минимального месячного стока для опорных пунктов село, Свиштов и Силистра за период 1941 - 1987 гг. учтено гидроузла Железные ворота I и II. Анализ полученных результатов позволил применить линейное стохастическое дифференциальное уравнение (ЛСДУ) с авторегрессией $AR(1)$ и $AR(2)$ и независимыми ошибками. В этом виде модель адекватно описывает многолетние колебания минимального месячного стока, что подтверждается статистическими прогнозами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Внутрирядная структура, автокорреляционная функция, авторегрессия, спектральная плотность, линейное стохастическое дифференциальное уравнение.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование закономерностей изменения минимальных уровней воды (расходов воды) р.Дунай и соответственно разрывов

моделей для их прогнозирования имеет существенное значение для судоходства в период межени реки. Минимальные уровни воды за этот период лимитируют критические пороговые участки, где необходимо гарантировать допустимые судоходные глубины. Именно из-за этого разработка прогнозов минимального стока будет способствовать оптимизированию трафика по реке на болгарском участке.

АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Относительно равномерное расположение гидрометрических станций по протяженности болгарского участка р. Дуная создает возможность подходящего выбора опорных прогностических пунктов. Главным при выборе основных информационных секторов реки является соблюдение тенденции изменения соответствующих уровней для критических участков реки, особенно на период межени. С другой стороны, существует характерное для нижнего течения реки медленное и плавное изменение расходов воды. Установлен высокий корреляционный коэффициент между гидрометрическими станциями, который обычно превышает $R > 0,90$. Таким образом подобраны опорные прогностические пункты Ново село Свиштов и Силистра, для которых вычислены следующие основные статистики за период 1941 - 1970 гг. и после него :

$$\begin{aligned} Q_{ns} &= 4542, & C_v &= 0,473, & Q_{ns} &= 4179, & C_v &= 0,380, \\ Q_{sv} &= 4942, & C_v &= 0,477, & Q_{sv} &= 4678, & C_v &= 0,377, & (1) \\ Q_{si} &= 5132, & C_v &= 0,472, & Q_{si} &= 4903, & C_v &= 0,378. \end{aligned}$$

Исследовано также распределение минимальных месячных величин расходов воды на этих трех опорных пунктах в указанные два периода наблюдений. Необходимо отметить, что распределения являются

ассиметричным и в значительной степени подобным /Anderson Afifi, Azen, 1979/. На рис. 1 даны распределения для периодов наблюдений в пункте Ново село.

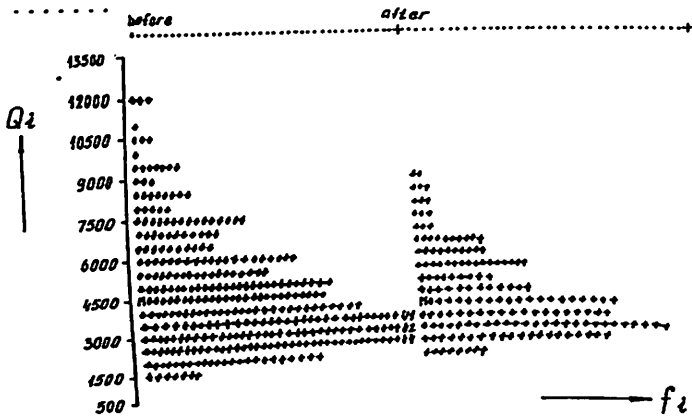


Рис. 1. Распределение минимальных месячных величин расходов для пункта Ново село (период 1941-1970 гг. и 1970-)

На рис. 2 представлена спектральная плотность в том же пункте.

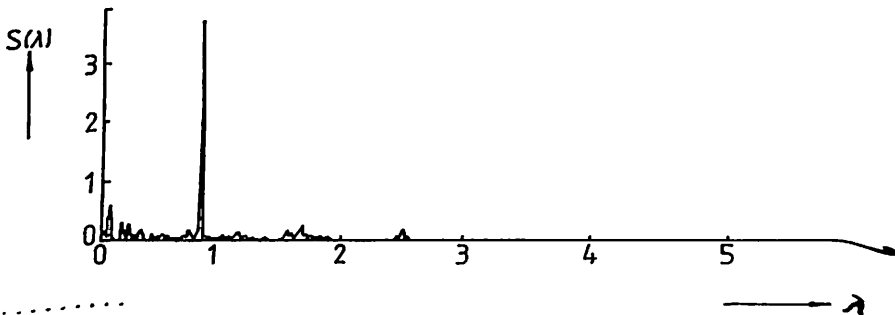


Рис. 2. Спектральная плотность минимальных величин расходов для пункта Ново село (период 1941-1987 гг.)

рисунке сразу замечается выпуклый пик на графике спектра

ветствующий периоду в один год /Jenkins, watts, 1968/.

С точки зрения проведения дальнейших исследований стало необходимым нормализовать исходную гидрологическую информацию. Трансформирование минимальных месячных величин минимального стока проведено согласно соотношению

$$N(t) = L_n Q(t) \quad , \quad (2)$$

где t является порядковым номером члена в исходных рядах, а $Q(t)$ - величины членов минимального расхода воды, формирующие исходные ряды. В дальнейшем в следующих процедурах будут использоваться только величины $N(t)$.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

В гидрологии обычно ряды рассматриваются в определенной степени как связанные и ограниченные во временном интервале. Структура этих рядов характеризует их статистическую устойчивость и степень их изменения во времени. Поэтому проведенная трансформация исходных массивов позволяет их нормализовать и создать условия для лучшей адаптации прогностических модели.

В математической статистике ряды обычно рассматриваются как дискретные наблюдения за непрерывной реализацией, находящийся в основе явления случайного процесса. Именно из-за этого основным подходом в моделировании, анализе и прогнозировании таких рядов во временной области является аппроксимация данных с помощью динамических стохастических моделей с конечным числом параметров/TSTAT-16, 1990/. На основании проведенного первичного анализа исходных рядов самым подходящим со статистической точки зрения оказался мо-

дельный класс линейного стохастического дифференциального
ния с независимом процессом ошибки вида

$$N(t) = A_1 + A_2 \sin \frac{2\pi t}{12} + A_3 \cos \frac{2\pi t}{12} + A_4 N(t-1) + A_5 N(t-1) + e(t),$$

где $A_1, A_2, \dots, A_5$ - системные (регрессионные и авторегрессионные) параметры; t - порядковый номер наблюдений; $e(t)$ - обобщенный белый шум (независимые и одинаково распределенные величины с нулевым математическим ожиданием и положительная дисперсия) - остатки модели. Нужно отметить, что модель (2) представляет разновидность авторегрессионной модели.

$$y = x \cdot B + e,$$

(n x 1) (n x k) (k x 1) (n x 1)

вследствие что системные параметры оценены одношагово и по методу наименьших квадратов/Kisel, 1969/.

Таким образом, структурированная модель (3) адекватно описывает входные данные, что недвусмысленно подтверждается тестами на-Ватсона и Колмогорова-Смирнова, элементарными одномерными статистиками выбросов, картиной автокорреляционной функции и корреляционным вектором выбросов с предикторами/Box, Jenkins, 1976/. Кроме того получены эффективные оценки параметров, которые имеют асимптотическое нормальное распределение оценок с минимальной ковариационной матрицей (с минимальным рассеиванием возле истинной гипотетической величины параметров)/Damyanov, 1985, Dixon,

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Проведен корреляционный анализ исходных рядов для выбранных опорных пунктов на болгарском участке р. Дуная. Вычислены их корреляционные матрицы для указанных периодов наблюдения.

1941 - 1987 гг.				1941 - 1970 гг.			
N S (Q min)	1.			1.			
S V (Q min)	0.9788	1.		0.9866	1.		
S I (Q min)	0.9582	0.9847	1.	0.9668	0.9826	1.	
1970 - 1987 гг.							
N S (Q min)	1.						
S V (Q min)	0.9552	1.					
S I (Q min)	0.9344	0.9915	1.				(5)

Установлена высокая степень скоррелированности между отдельными рядами, кроме того заметно проявляется значимый пик на графике спектральной плотности (2), который соответствует существующему периоду в один год. С целью установления статистической устойчивости рядов и прежде всего их стационарности, вычислена их автокорреляционная функция за весь период наблюдения. Для пункта Ново село график этой функции (фиг. 3) недвусмысленно доказывает высказанные соображения по поводу рядов.

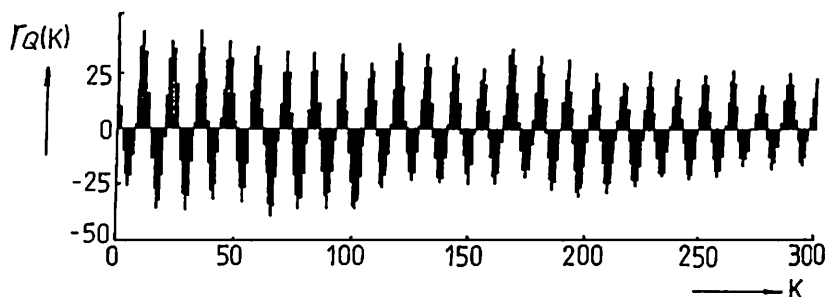


Рис. 3. Автокорреляционная функция минимальных месячных величин расходов воды для пункта Ново село (период 1941-1987 гг.).

На основе так полученных результатов сформирована структура модели, которая содержит вычисленные авторегрессионные параметры обобщенный белый шум. Окончательный вид прогностической модели для отдельных опорных пунктов реки следующий:

$$N(t)_{ns} = 2,232 + 0,196 \sin \frac{2\pi t}{12} - 0,043 \cos \frac{2\pi t}{12} + 0,059 N(t-12) + 0,569 N(t-1) + e(t),$$

$$N(t)_{sv} = 2,458 + 0,214 \sin \frac{2\pi t}{12} - 0,057 \cos \frac{2\pi t}{12} + 0,596 N(t-1) + e(t),$$

$$N(t)_{si} = 2,459 + 0,214 \sin \frac{2\pi t}{12} - 0,054 \cos \frac{2\pi t}{12} + 0,599 N(t-1) + e(t).$$

Можно сказать, что эффект прогнозирования при использовании данного класса модели оценивается на основании автокорреляционной функции выбросов (рис. 4) и с использованием пороговых элементов элементарных статистик.

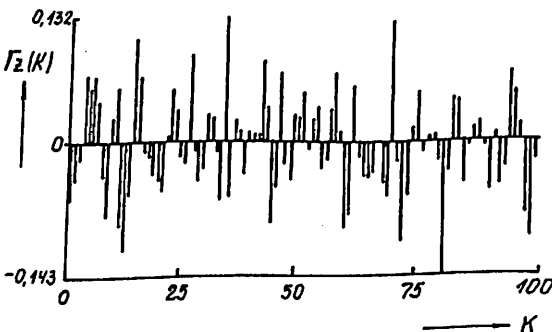


Рис. 4. Автокорреляционная функция выбросов (пункт Ново село).

В ряде случаев в математической статистике выбросов модели принимается, что они имеют нормальное распределение

$$\hat{e}(t) \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (9)$$

Для пункта Ново село установлено, что $\mu = 0$ с вероятностью $p=1$, а параметр $\sigma^2 = 0,073$.

При вычислении автокорреляционной функции выбросов $e(t)$ для запаздывание $Lag = 100$, получены следующие характеристики для размаха функции :

$$\text{Maximum} = 0,1323, \quad \text{Minimum} = -0,1434, \quad (10)$$

которые, однако относятся к трем весьма специфическим ординатам. В подобных случаях можно сказать, что это происходит из-за случайного эффекта проявляющегося в исследуемом ряде.

Нужно также отметить, что первый коэффициент автокорреляционной функции выбросов оказался незначимым, что подтверждается статистикой Дурбина - Уатсона

$$D W S = 1.9023 \quad \text{и} \quad P(\text{tail}) = 0,0500012, \quad (11)$$

которая является вероятностью ее хвоста.

В гидрологической практике обычно критерии оценок разработанных прогнозов бывают заранее заданные величины, которые принимаются как пороговые. Они являются элементарными статистиками, полученным на базе обобщенного статистического анализа исходных рядов и во всех случаях они отражают специфику их структуры, характеризующейся наличием разных по продолжительности серий и последовательностей. Таким образом, эти статистики вводятся в разработанном прогностическую модель и на основании их сравнительного сопоставления с величиной выбросов проводится непосредственное оценивание разработанных прогнозов.

В области гидрологии есть ряд авторских исследований, связанных именно с вводом подходящих статистических критериев для оценки разработанных краткосрочных и долгосрочных прогнозов. По отношению к прогнозированию, которое рассматривается в настоящем докладе, можно указать, что более подходящими являются следующие элементы статистики

$$D = (1/5) A, \quad A = Q_{\max} - Q_{\min},$$

$$D = 0,674 \sigma.$$

Проведенная оценка разработанных прогнозов с помощью предложенной модели показывает высокую степень сбываемости, которая имеет обеспеченность $P > 90\%$ на зависимых и независимых последовательностях. Но необходимо также отметить, что несмотря на высокую степень обеспеченности разработанных прогнозов существуют характерные месяцы (II, III, IV, VII), для которых прогнозируемые значения существенно отличаются от зарегистрированных таких.

Достаточно ясное представление об адекватно описываемом гидрологическом процессе с помощью применяемой для этой цели модели можно получить из графического прослеживания пар наблюдаемых (о) и прогнозируемых величин (..). Фрагмент графика дается на рис. 5.

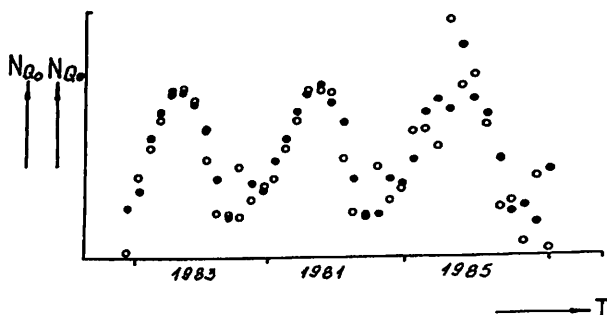


Рис. 5. Наблюдаемые и прогнозируемые величины минимального расхода воды для пункта Ново село.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход позволяет качественный переход от анализа временных рядов минимальных величин расходов воды к их прогнозированию. Структура модели позволяет гибкое изменение ее конфигурации с целью оптимального выбора ее параметров.

ABSTRACT

In order to choose the optimal structure of the forecast model an extended correlation and spectral analysis of the minimal monthly discharge for the hydrometric station Novo selo, Svistov and Silistra for the period 1941-1987 was performed. The influence of the water-power system Iron Gate is taken into account. The initial analysis of the above data led to the choice of a stochastic dynamic model, namely linear stochastic difference equation of order 1 with deterministic harmonic component and seasonal autoregression of order 12. This model describes adequately the significant changes in the behavior of the minimal monthly discharge and gives appropriate forecasts.

ЛИТЕРАТУРА

- Afifi, A. A., Azen, S. P. /1979/. Statistical Analysis. A Computer Oriented Approach. Academic Press, New York, London.
 Anderson, T. W. /1971/. The statistical analysis of time series. New York, London, Sydney, Toronto.
 Box, G. E. P., Jenkins, G. M. /1970/. Time series analysis. Forecasting and control. Holden-Day. San Francisco, London.
 Damyanov, G. /1985/. Dynamic time series modelling. Ph. D-Theses. Sofia.
 Dixon, W. /1990/. BMDP Statistical Software Manual, vol.1 and 2. UCLA, LA, USA.
 Jenkins, G. M., Watts, D. G. /1968/. Spectral Analysis and Its Application. Holden-Day, San Francisco.
 Kisiel, Ch. /1969/. Time series analysis of hydrologic data. Advances in hydrosocience, vol.5-1969. Academic press, New York and London.
 T S T A T - 16. /1990/. Users manual SPS. Sofia.

GENERIERUNG VON GLEICHZEITIGEN ABFLUSSGANGLINIEN FÜR DONAU UND ISAR

Wolfgang Kron
Jürgen Ihringer
Erich Plate

Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft
Universität Karlsruhe (TH)
Karlsruhe, Bundesrepublik Deutschland

Kurzfassung:

Für flußmorphologische Untersuchungen in der Donau müssen langjährige Abflußganglinien für Donau und Isar bereitgestellt werden. Hierzu wurde ein von Treiber (1975) für ein einzelnes Einzugsgebiet entwickeltes Modell modifiziert, daß Ganglinien für zwei Flüsse gleichzeitig erzeugt werden können. Das neue Modell generiert parallele Serien von korrelierten Ereignispulsen, die durch Faltung mit den gewässerspezifischen Systemfunktionen in Abflüsse transformiert werden. Die Eichung erfolgte auf der Grundlage von gemessenen Ganglinien über 85 Jahren. Vergleiche zeigen, daß die künstlichen Abflußganglinien in ihren maßgeblichen statistischen Charakteristiken mit denen der gemessenen Datenreihen ausgezeichnet übereinstimmen. Dies wird am Beispiel einer 2000-jährigen Sequenz von 2000 generierten Jahren nachgewiesen.

Abstract

GENERATION OF SIMULTANEOUS DISCHARGE HYDROGRAPHS FOR DANUBE AND ISAR

A model is presented for the simultaneous generation of daily discharges in the rivers Danube and Isar at their confluence in Bavaria. The model is a modified shot noise model, first developed by Treiber (1975) for a single river that has been adapted to two rivers. It generates simultaneous correlated event pulses, and these are then convoluted with the systems function specific for each river to yield flows. The model, after being calibrated for both rivers on the basis of 85 years of records, yields generated flow series that show excellent agreement of the statistical characteristics of historical records with those from a 2000 year sequence of generated flows.

Einleitung

An der Donau zwischen Straubing und Vilshofen in Bayern erfordern Ausbaumaßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrt eine flußmorphologische Studie, mit deren Hilfe abgeschätzt werden soll, welche zukünftige Entwicklung das Flußbett in diesem Bereich mit oder ohne Ausbau nimmt. In einer von der Bundesanstalt für Wasserbau der Bundesrepublik Deutschland durchgeführten Untersuchung werden mit Hilfe eines instationären Geschlechts- und Erosionsmodells Bettveränderungen infolge langjähriger Abflußganglinien simuliert. Die Untersuchung wird im Rahmen dieser Konferenz von Söhngen et al. (1990) vorgestellt.

Der weitaus größte Teil des Sedimenttransportes findet während der Hochwasserperioden statt. Charakteristisch für den betrachteten Donauabschnitt, in dem auch die Isar in die Donau einmündet, ist die Tatsache, daß im letzten Jahrzehnt Zeiten mit Erosion und Zeiten mit Sedimentation auftreten. Hochwässer in der Isar (i.d.R. Juni/Juli) führen zu Eintrag von Sediment in die Donau, welches sich infolge der reduzierten Fließgeschwindigkeit in der Isarmündung als Schüttkegel abgelagert. Das Sediment wird wieder abgetragen, wenn die Hochwasserperiode in der Donau (i.d.R. März-Mai) eintritt. Eine entscheidende Bedeutung kommt der Frage zu, ob die Möglichkeit besteht, daß die kiesige Quartärschicht, aus der die Donaurohle derzeit überwiegend besteht, in Hochwasserperioden wegerodiert wird; die Erosion würde in der darunterliegenden feinen, bindigen Schicht (Tertiär) weiter voranschreiten. Diese Möglichkeit kann durch die Wahrscheinlichkeit ausgedrückt werden, daß die Deckschicht in einem beliebigen Jahr durchstoßen wird; die Wahrscheinlichkeit wird durch Simulationen an sehr langen Abflußganglinien gefunden. Für eine adäquate Simulation müssen die Abflüsse sowohl in der Donau als auch in der Isar bereitgestellt werden. Dies erfordert die Entwicklung eines neuartigen Modells zur gleichzeitigen

Generierung von Abflüssen in zwei Flüssen. Eine Diskretisierung in Tageswerte ist in der gegebenen Situation ausreichend genau und gut geeignet, die Variabilität und Stochastizität der Abflüsse zu beschreiben.

Generierung von Abflusstagewerten für ein Einzelgebiet

Tagesabflüsse können nicht mit den gängigen Generierungsmodellen wie ARMA, ARIMA oder Markov-Modellen mit zyklischen Parametern (Kottogoda, 1980; Yevjevich, 1984) beschrieben werden, da sie alle nicht in der Lage sind, den schnellen Anstieg des Abflusses bei Niederschlägen und den langsamen Rückgang danach wiederzugeben. Besser geeignet sind Impulsmodelle, bei denen der Systemeingang aus (Niederschlags-) Impulsen und der Systemausgang aus langsam abfallenden Funktionen besteht. Treiber (1975) entwickelte ein Modell, bei dem für eine historische Abflußganglinie eine Serie von Impulsen ermittelt wird, die ihr zugrundeliegen. Mit einer vom aktuellen Abfluß abhängigen Systemfunktion werden die Impulse gefaltet, um eine kontinuierliche Abflußganglinie zu erhalten. Gemessene Ganglinien können mit dieser Methode sehr gut nachgebildet werden.

Die Abflußgenerierung besteht aus dem stochastischen Teil der Impulsgenerierung und dem deterministischen Teil der Umformung der Impulse in Abflüsse. Das Generierungsmodell für die Pulse basiert auf zyklisch variablen Parametern, wobei jeder Parametersatz für einen Monat gilt. Zunächst wird über einen bimodalen Bernoulli-Prozeß eine Folge von trockenen und nassen Tagen erzeugt. Zwei Übergangswahrscheinlichkeiten p_0 (Impuls tritt auf, wenn Vortag trocken war) und p_1 (Impuls tritt auf, wenn Vortag naß war) steuern diesen Prozeß.

Die zu den Impulstagen gehörigen Impulshöhen werden in einem zweiten Schritt generiert. Dabei wird angenommen, daß die Impulshöhen einer Weibullverteilung gehorchen. Die Parameter der zwölf Weibullverteilungen (eine pro Monat) werden ebenso wie die zwölf Paare der Übergangswahrscheinlichkeiten aus den Meßdaten bestimmt. Hierfür sollte eine Serie von mindestens etwa 20 Jahren zur Verfügung stehen. Im letzten Schritt wird die Serie der Impulse mit einer abflußabhängigen Systemfunktion zu Abflüssen gefaltet. Eine detaillierte Beschreibung des Modells ist in Treiber & Plate (1977) zu finden.

Modell zur gleichzeitigen Generierung von Abflusstagewerten an zwei Pegeln

Treiber's Modell konnte bei der vorliegenden Untersuchung als Basismodell verwendet werden. Ursprünglich war es für Einzelgebiete im Schwarzwald mit kleinen und mittleren Einzugsgebietsflächen ($100-1000 \text{ km}^2$) entwickelt und angepaßt worden. Für die viel größeren Einzugsgebiete der Isar (8800 km^2) und der Donau bei Regensburg (35400 km^2) mit ihren völlig unterschiedlichen Charakteristiken mußte das Modell modifiziert und weiterentwickelt werden. Während in kleinen Einzugsgebieten die Impulse mit effektiven Niederschlägen gleichgesetzt werden können, stellen sie in großen Einzugsgebieten integrierte Ereignisse dar, deren Wasservolumina sich aus verschiedenen Einflüssen zusammensetzen.

Eine Hauptforderung an das neue Modell war, die Korrelation zwischen den Abflußganglinien an zwei benachbarten Pegeln zu berücksichtigen. Die unterschiedlichen Systemfunktionen für die beiden Einzugsgebiete führen selbst bei identischen Niederschlagsereignissen zu einer Verzerrung der Korrelation zwischen den Abflüssen, so daß die Verknüpfung über die Kreuzkorrelationsfunktion der Abflüsse nicht möglich ist. Es muß vielmehr eine stochastische Abhängigkeit über die Impulse in das Modell eingebracht werden. Die Kreuzkorrelation zwischen den beiden Pegelstellen wird daher mittels bedingter Wahrscheinlichkeiten der abflußerzeugenden Impulse hergestellt. Das Auftreten eines Impulses am abhängigen Pegel ist korreliert mit der Größe des Ereignisimpulses am unabhängigen Nachbarpegel. Daneben steht sein Auftreten auch in Beziehung zum Zustand am Vortag, d.h. zu der Tatsache, ob dieser trocken oder naß war. Das neue Modell, das in ausführlicher Form in Kron et al. (1990) vorgestellt wird, setzt sich aus vier Teilen zusammen:

1. Analyse der historischen Abflußganglinien zur Bestimmung der Modellparameter
2. Generierung der Impulse und Berechnung der Abflüsse an Pegel A (Isar)
3. Generierung der Impulstage für Pegel B (Donau)
4. Generierung der Impulshöhen und Berechnung der Abflüsse an Pegel B (Donau)

Beschreibung der Korrelation über bedingte Wahrscheinlichkeiten

Die Wahrscheinlichkeit eines Impulses am Pegel B ist nicht nur höher, wenn am Vortag bereits ein Impuls aufgetreten ist, sondern auch, wenn am gleichen Tag am Nachbarpegel A ein Impuls zu verzeichnen ist. Diese Eigenschaft bei der Analyse der vorhandenen gemessenen Abflüsse bzw. den ihnen zugrundeliegenden Impulsreihen ist eine Abhängigkeit zu früher aufgetretenen Impulsen am Nachbarpegel (z.B. Vortag) kann vernachlässigt werden. Es stellte sich auch heraus, daß das Auftreten eines Impulses an Pegel B nicht allein vom Auftreten eines Impulses am Pegel A abhängig ist, sondern auch von der Größe dieses Impulses: je höher der Impuls am Vortag bei A tritt bei B immer ein Impuls auf, d.h. die bedingte Wahrscheinlichkeit für einen Impuls wird 1.0.

Vier Fälle sind zu unterscheiden (1 : Impuls; 0 : kein Impuls):

Tag	i-1	i		i-1	i		i-1	i		i-1	i	
Pegel A			1			1			0			0
Pegel B		1	?		0	?		1	?		0	?
	C_{11}			C_{10}			C_{01}			C_{00}		

Am Beispiel von C_{11} sei die Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeiten aufgezeigt. C_{11} ist die bedingte Wahrscheinlichkeit, daß ein Impuls an Pegel B auftritt, wenn am gleichen Tag an Pegel A ein Impuls aufgetreten ist und am Vortag bei Pegel B ein Impuls war. Die Berechnung dieser bedingten Wahrscheinlichkeit geschieht nach folgender Beziehung:

$$C_{11} = P(B^+ | A^+ C^+) = \frac{P(A^+ B^+ C^+)}{P(A^+ C^+)} = \frac{P(A^+ B^+ C^+)}{P(A^+ B^+ C^+) + P(A^+ B^- C^+)}$$

	i-1	i
Pegel A		A
Pegel B	C	B

Hierin bedeuten:

A^+ = Impuls A^- = kein Impuls

bei Pegel A am Tag i

B^+ = Impuls B^- = kein Impuls

bei Pegel B am Tag i

C^+ = Impuls C^- = kein Impuls

bei Pegel B am Tag i-1

$P(B^+ | A^+ C^+)$ = Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Impulses bei Pegel B am Tag i unter der Voraussetzung, daß bei Pegel A ein Impuls ist und am Vortag bei Pegel B ein Impuls war

$P(A^+ B^+ C^+)$ = Wahrscheinlichkeit gleichzeitiger Impulse bei Pegel A am Tag i, Pegel B am Tag i und Pegel B am Tag i-1

Die Beziehungen für C_{10} , C_{01} und C_{00} und die nicht erläuterten Terme $P\{\cdot\}$ können entsprechend den oben geführten Beziehungen aufgestellt werden.

Die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten $P\{\cdot\}$ werden für jeden Monat empirisch aus den Impulsreihen der gemessenen Abflüsse ermittelt. Betrachtet man nur Impulse über einer bestimmten Mindestgröße bei Pegel A, wird deutlich, daß die bedingten Wahrscheinlichkeiten C_{11} und C_{10} zu größeren Werten tendieren. Man kann die Mindestgröße kontinuierlich ansteigen lassen und erhält damit Abhängigkeiten, wie Abb.1 beispielhaft für den Monat November zeigt. Das Anstiegsverhalten kann mittels einer linearen Regressionsgeraden genügend genau beschrieben werden.

Bei der Generierung der Impulstage werden die Regressionsgeraden herangezogen, um die bedingte Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Impulses an einem gerade betrachteten Tag in Abhängigkeit von der Impulsgröße am Nachbarpegel zu bestimmen. Die Gerade muß dazu allerdings um den Betrag des Mittelwerts der Impulsgröße bei A ($\bar{I}_p$) verschoben werden, um zu berücksichtigen, daß wegen der genannten Abhängigkeit im Mittel die bedingte Wahrscheinlichkeiten verwendet werden als die Werte von C_{11} und C_{10} für eine Impulshöhe von $\bar{I}_p$ (Ordinatenabschnitte). Auf diese Weise werden die bedingten Wahrscheinlichkeiten der "gemessenen" Impulse der Generierung richtig nachgebildet (Tab.1).

Der Isarpegel Plattling, der kurz vor der Einmündung in die Donau liegt, wurde als unabhängiger Pegel gewählt (A), der Donaupegel Schwabelweis bei Regensburg als abhängiger Pegel (B). Diese Reihenfolge ist erforderlich, da die Ganglinie der Isar schneller ansteigt als die der Donau. Die Generierung erfolgt zunächst für die Isar (Pegel A) unabhängig von der Donau (Pegel B). Bei bekannter Isar-Impulsfolge kann dann mit den Beziehungen für die bedingten Wahrscheinlichkeiten die Folge der Impulstage für den abhängigen Pegel generiert werden. Im dritten Schritt werden den Impulstagen des Donaupegels Impulshöhen zugeordnet, die monatspezifischen Weibullverteilungen gehorchen.

Ergebnisse

Insgesamt wurden für die Prognose flußmorphologischer Veränderungen 2000 Jahre gleichzeitiger Abflüsse in 20 Serien von je 100 Jahren Länge für Donau und Isar generiert. Die statistischen Parameter der generierten Impulse stimmen äußerst gut mit denen der gemessenen Reihe überein. Dies gilt sowohl für die Impulstage als auch für die Impulshöhen. Auch die bedingten Wahrscheinlichkeiten werden durchweg hervorragend reproduziert. Entscheidend für die Güte des Generierungsmodells sind allerdings die statistischen Eigenschaften der Abflüsse. Neben dem Verlauf von Mittelwerten und Standardabweichungen der Monatswerte wurden vor allem auch die Häufigkeitsverteilungen der Tageswerte, der Monats- und der Jahresmittelwerte sowie die Verteilungen der Scheitelwerte in den einzelnen Monaten und allen Jahren miteinander verglichen. Die mittleren Monatsabflüsse und ihre Standardabweichungen (Abb.2) spiegeln deutlich die unterschiedliche Jahresperiode in Donau und Isar wieder. Der Verlauf der generierten Monatsmittel aus 2000 Jahren liegt in beiden Fällen sehr dicht an den Meßdaten. An den Einhüllenden aus 20 hundertjährigen Teilerien ist zu erkennen, daß bis auf eine unbedeutende Ausnahme (Isar, Monat 9) die gemessenen Werte durchweg innerhalb dieser Hülllinien liegen. Bei den Standardabweichungen ist ebenfalls ein befriedigendes Verhalten festzustellen; auch hier liegen gemessene und generierte Werte nahe beieinander und fast immer innerhalb oder nur knapp außerhalb der Einhüllenden.

Abb.3 vergleicht beispielhaft für den Monat November die Häufigkeitsverteilungen der Monatsmittel, der Monatscheitel und der Tageswerte. Auch hier sind die Einhüllenden aus den 20 generierten 100-Jahre-Serien gezeichnet. Wenn man von kleinen Abflüssen absieht, die ohnehin im vorliegenden Fall von untergeordneter Bedeutung sind, stimmen gemessene und generierte Verteilungen sehr gut überein. Ähnliche Ergebnisse erhält man für die anderen Monate. Es ist zu beachten, daß eigentlich nur die Tageswerte Ziel der Generierung waren; die Monatsmittel und Monatscheitel sind abgeleitete Größen, die im Modell nicht explizit berücksichtigt sind. Selbst bei den hier nicht dargestellten Verteilungen der Jahresmittel und Jahrescheitel sind sehr gute Übereinstimmungen zwischen gemessenen und generierten Werten festzustellen.

Zusammenfassung

Das neu entwickelte Modell ist in der Lage, gleichzeitige Abflußganglinien für Donau und Isar unter vorzüglicher Reproduzierung statistischer Charakteristiken der zugrundeliegenden gemessenen Abflußreihen zu generieren. Nach der Parameterbestimmung können beliebige künstliche Abflußganglinien erzeugt werden, die für die Betrachtung des Langzeitverhaltens eines Systems notwendig sind. Das Modell ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Erzeugung von Belastungsdaten bei Zuverlässigkeitsbetrachtungen, z.B. wenn Versagenswahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden sollen. Im vorliegenden Beispiel wäre der Versagensfall die völlige Erosion der Deckschicht in der Donau im Bereich der Isareinmündung.

Die Modellanwendung erfolgt auf einem Personal Computer in Form eines Programmpakets, das weitgehend in dialoggesteuerter Form vorliegt.

Literatur

- Kottegoda, N.T., 1980: Stochastic Water Resources Technology. The MacMillan Press Ltd., London
- Kron, W., Plate, E.J., Ihringer, J.: A model for the generation of simultaneous daily discharges of two rivers at point of confluence. To be published in Stochastic Hydrology and Hydraulics.
- Söhngen, B., Loy G., Kellermann, J.: Vorgehensweise zur Prognose flußmorphologischer Veränderungen genau zwischen Straubing und Vilshofen. XV Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorgehensweisen. 8.-13. Oktober 1990, Varna, Bulgarien
- Treiber, B., 1975: Ein stochastisches Modell zur Simulation von Tagesabflüssen. Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, Heft 5.
- Treiber, B., Plate, E., 1977: A stochastic model for the simulation of daily flows. Hydrological Sciences 22, 175-192.
- Yevjevich, V., 1984: Structure of daily hydrologic series. Water Resources Publications, Littleton, CO

	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oct.
C_{11} gem.	.622	.677	.670	.653	.638	.793	.775	.777	.664	.715	.787	.724
500a sim.	.645	.675	.670	.622	.647	.793	.763	.793	.667	.739	.752	.709
100a sim.	.620	.680	.679	.649	.634	.622	.793	.620	.901	.765	.754	.789
100a sim.	.654	.682	.624	.697	.671	.604	.763	.761	.697	.700	.706	.763
C_{10} gem.	.429	.370	.349	.479	.434	.365	.404	.471	.440	.400	.489	.468
500a sim.	.404	.361	.347	.453	.431	.350	.397	.448	.425	.378	.444	.483
100a sim.	.423	.378	.307	.480	.413	.360	.410	.456	.434	.366	.478	.401
100a sim.	.444	.312	.337	.461	.433	.363	.440	.461	.455	.385	.462	.492
C_{01} gem.	.412	.429	.392	.470	.454	.422	.429	.358	.340	.338	.310	.393
500a sim.	.396	.424	.399	.453	.452	.406	.418	.343	.329	.329	.307	.386
100a sim.	.375	.400	.424	.438	.443	.409	.440	.366	.330	.357	.343	.406
100a sim.	.402	.416	.375	.407	.421	.374	.426	.361	.351	.333	.350	.388
C_{00} gem.	.086	.072	.060	.058	.086	.091	.127	.086	.054	.054	.048	.064
500a sim.	.086	.075	.062	.057	.089	.131	.091	.059	.058	.058	.048	.068
100a sim.	.083	.074	.049	.061	.089	.090	.122	.088	.062	.057	.049	.069
100a sim.	.073	.078	.062	.059	.087	.091	.116	.081	.058	.057	.058	.063

Tab.1: Vergleich der bedingten Wahrscheinlichkeiten aus den Impulsserien für die gemessenen Abflüsse und generierten Reihen von 500 und 2 x 100 Jahren Dauer

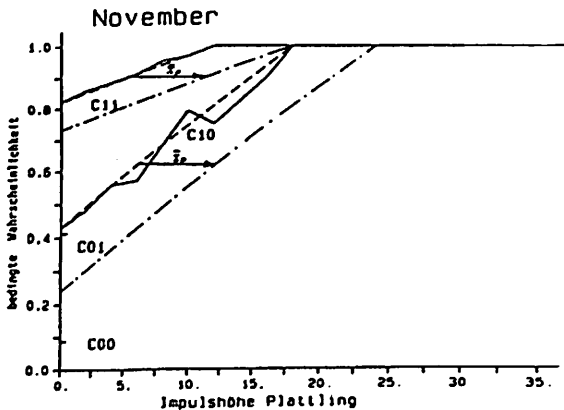


Abb.1: Abhängigkeit der bedingten Wahrscheinlichkeiten C_{11} und C_{10} von der Impulshöhe am Plättling/Isar am Beispiel des Monats November;
(— gemessen - - - Regressionsgerade ···· für Generierung verwendet)

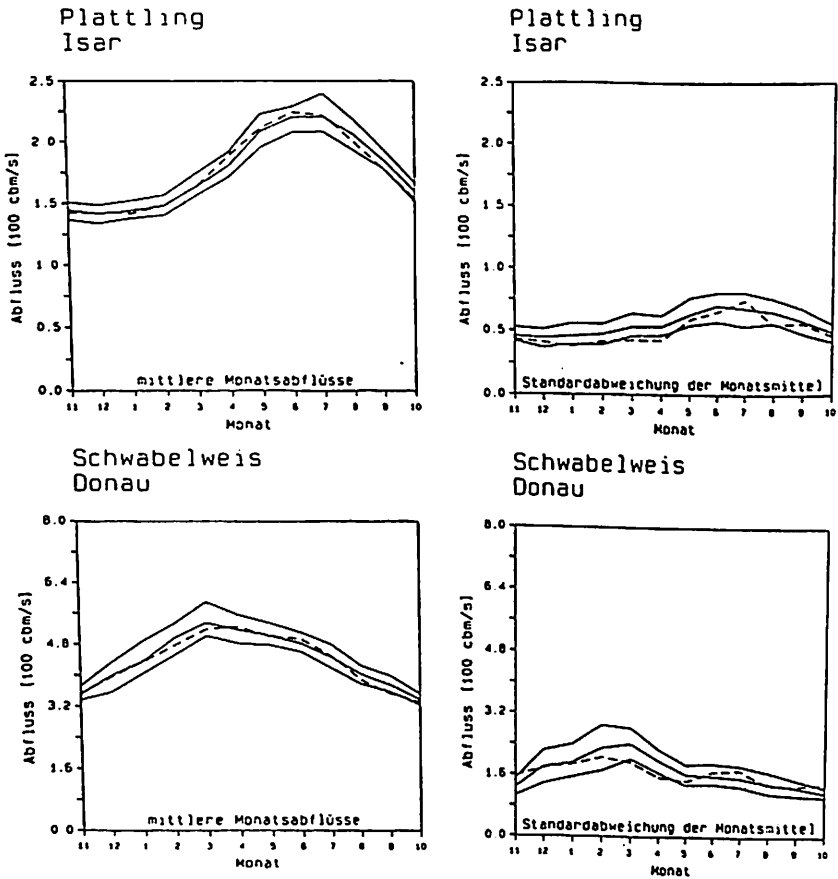


Abb.2: Vergleich der Monatsmittelwerte der Abflüsse und ihren Standardabweichungen aus 2000 generierten Jahren mit den Werten aus den 85 gemessenen Jahren 1901-1985;
 (- - - gemessen — Mittel und Einhüllende aus 20 Teilsreien von je 100 Jahren)

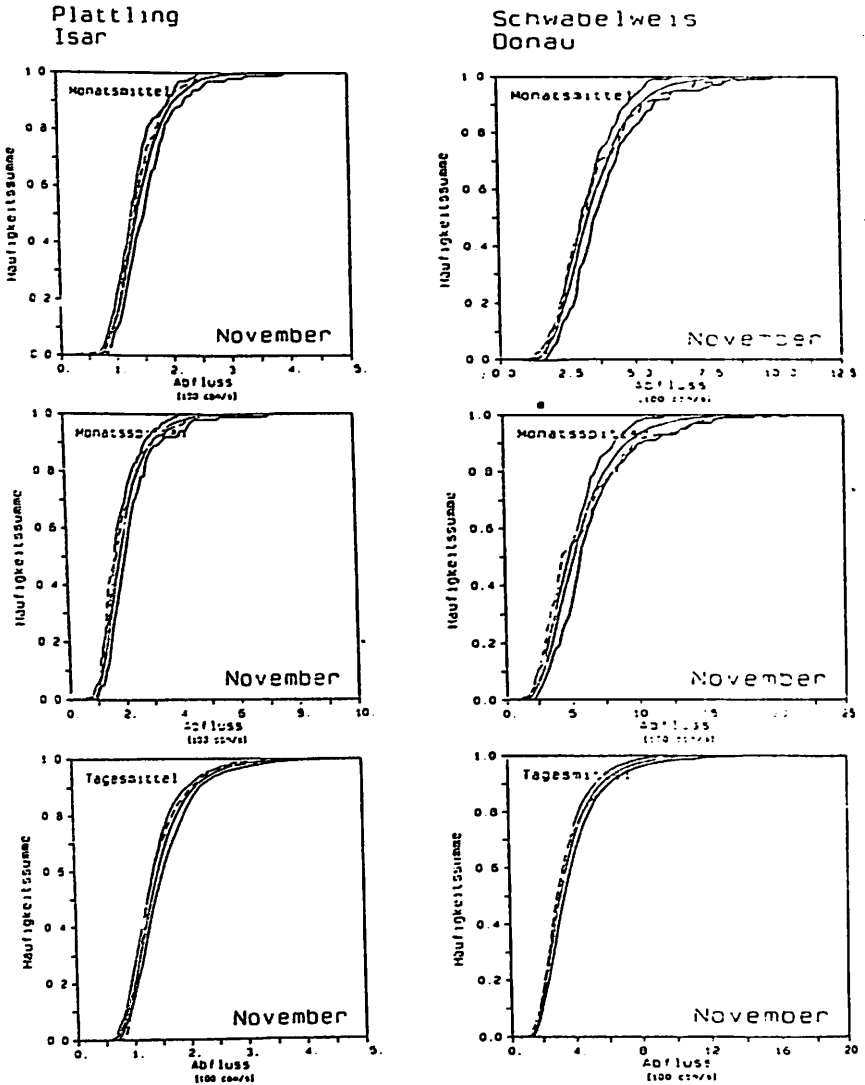


Abb.3: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Tagesmittel, Monatssumme und Monatssumme der Abfluss den Monat November aus 2000 generierten Jahren mit den Werten aus den 85 gemessenen Jahren 1985; (--- gemessen — Mittel und Einhüllende aus 20 Teilsereien von je 100 Jahren)

ÜBERLEGUNGEN ZUR ABFLUSSVORHERSAGE MITTELS EINER MIT BAYES'SCHEN FEHLERGLIEDMODELL GEKOPPELTEN MULTILINEAREN SPEICHERKASKADE AUF FLUSSSTRECKEN MIT SEITLICHEN ZUFLÜSSEN.

Ján Szolgay - Boris Minárik

Institut für Hydrologie und Hydraulik, Bratislava, CSR
Slowakisches Hydrometeorologisches Institut, Bratislava, CSR

Некоторые вопросы применения мультилинейной каскадной модели
связанной с стохастической моделью предсказания ошибок на реках
с боковым притоком.

Мультилинейная версия модели Калинина и Милюкова в пространстве состояний в месте со стохастической моделью для ошибок предсказания использования для предсказания трансформации паводков в участке Дуная с боковым притоком. Показана возможность оценки параметров мультилинейной модели. Для оценки состояний и параметров стохастической модели используются методы Байеса в месте с с фильтром Калмана. Исследуются возможности елиминации ошибок в следствии отсутствия данных о боковых притоках.

On short - term river flow forecasting with a coupled multilinear cascade and Bayesian error model on rivers with lateral inflow.

A multilinear version of the state space representation of the Kalinin-Miljukov model coupled with a stochastic error model is used for real-time river flow prediction in a reach of the Danube with strong lateral inflow. A parameter estimation method for the time input distribution scheme for multilinear state space models is suggested. A coupled Bayesian - Kalman filter procedure is employed to estimate both states and parameters of the error model. Capabilities of the models to eliminate forecasting errors due to missing lateral inflow data are tested in simulated real - time environment.

1. Einleitung

Bei der Beschreibung der Wellentransformation werden im Vorher-sagesystemen um den Abflussvorgang mit einem möglichen Minimum an Daten zu erfassen und den Rechenaufwand bei der Modellidentifikation und der operationeller Vorhersage gering zu halten oft nur relativ einfache Modelle eingesetzt. Beruchen diese auf den Kontinuitätsprinzip, ist es, um befriedigende Resultate zu erhalten

notwendig, alle bedeutende Zuflüsse entlang des Berechnungsabschnittes in das Modellkonzept zu integrieren. Dies kann besonders dann zu Problemen führen, wenn die notwendigen Daten von den Zuflüssen nicht vorhanden sind oder die beobachteten Werte nicht im Echtzeitbetrieb zur Verfügung stehen. In solchem Fall wurden verschiedene Lösungen vorgeschlagen, die grundsätzlich in zwei Kategorien einzugehen sind :

- es wird versucht die fehlenden Zuflüsse durch hydrologisch begründete Verfahren mit der Einbeziehung von meteorologischen und hydrologischen Daten, analogen Einzugsgebieten, Niederschlag-Abflussmodellen etc. zu schätzen (siehe z.B. Kunsch - Minárik 1984, Szolgay 1984) ;
- es wird versucht das Wellentransformationsmodell durch die Annahme eines expliziten stochastischen (oft auch als Fehlerglied genannten) Korrekturgliedes zu ergänzen, der die in der Zeitreihe der Fehler der Wellentransformation enthaltene Information enthält und additiv zur Verbesserung der Vorhersage herangezogen wird (siehe z.B. Andjelić und Szöllösi-Nagy 1960, Gutknecht und Kirnbauer 1976, Minárik 1982, Szolgay 1985).

Als Korrekturglied wurden meistens verschiedene Ansätze aus der Gruppe der ARIMA-Modelle gewählt. Die Modellparameter wurden dabei entweder off-line nach der klassischen Methoden von Box und Jenkins, oder on-line durch verschiedene meistens auf dem Kalman Filter ruhenden Verfahren bestimmt.

In der vorliegenden Studie wird eine Variation des Korrekturgliedansatzes für die auf Wien beruhenden 24 Stunden Durchflussvorhersage für Bratislava abgeleitet und getestet. Es wurde versucht beide Modellteile neu zu gestalten. Um die stark veränderliche Hochwasserscheitellaufzeit zu erfassen und dabei nicht auf die rechentechnische Einfachheit und Eleganz der linearen Systemtheorie verzichten zu müssen, wurde die Wellentransformation durch ein multilineares Modell beschrieben. Der starken Dynamik des seitlichen Zuflusses wurde durch eine on-line Bayes'sche Parameterschätzung entgegengekommen. Die Fähigkeiten der vorgeschlagenen Lösung fehlende Daten über seitliche Zuflüsse zu kompensieren wurden im simulierten Vorhersagebetrieb durch das Auslas-

sen des wichtigsten Zubringers der Donau im untersuchten Abschnitt, des Morava flusses, getestet und diskutiert.

2. Das Wellenablaufmodell

Die Wahl eines Modells zur Vorhersage des Wellenablaufes im Gerinne geht in vielen Fällen aus einem Kompromiss hervor. Dem Wunsch nach einer detaillierteren und genaueren Beschreibung des Abflussgeschehens durch hydraulische Modelle steht die Forderung entgegen den dabei gegenüber hydrologischen Modellen stark anwachsenden Rechenaufwand bei der Parameterbestimmung, Modelleichung, Vorhersage und die Entwicklungs - bzw. Betriebskosten möglichst klein zu halten. In der Praxis wird darum oft auf einfache lineare Flood-routing Verfahren zurückgegriffen, die sich für operative Anwendungen als ausreichend genau erwiesen haben. Bei Flüssen mit stark veränderlichen Hochwasserscheitellaufzeit sind diese Modelle nur begrenzt einsetzbar, da sie für den ganzen Durchflussbereich konstanten, von dem Durchfluss unabhängigen, Laufzeitparameter haben. Als akzeptable Zwischen - bzw. Kompromisslösung bieten sich multilineare Modelle an, die bei der Beibehaltung der aus der Linearität resultierenden praktischen Eigenschaften die Nichtlinearität der Prozessabläufe angemessen in Betracht ziehen können.

Multilineare Modelle repräsentieren in ihrer allgemeinen Form eine Kombination von zwei Konzepten (Becker und Kundzewicz, 1986):

- einen Operator zur Aufteilung des Eingangssignals in Teilsignale die verschiedenen typischen Verhalten des hydrologischen Systems entsprechen ;
- einen Satz voneinander abweichenden linearen Teilmodellen, die in den gewählten typischen Situationen das Verhalten des hydrologischen Systems beschreiben.

Die durch die Summation der einzelnen Teilmodellausgaben erhaltene Systemausgabe ergibt dann im Allgemeinen ein nichtlineares Modellverhalten.

Nach der Art der Aufteilung des Eingangssignals in Teilsignale wird zwischen zwei Grundformen von multilinearen Modellen unterschieden :

- die Teilmodelle werden parallel geschaltet (das sog. Amplitudenverteilungsschema),
- die Modelle werden abwechselnd einzeln zur Berechnung des Systemausgangs benutzt (das sog. Zeitverteilungsschema).

Details und Probleme der Parameterschätzung können bei Becker und Kundzewicz (1986) nachgelesen werden.

Bei der Anwendungen wurden in die erste Gruppe gehörende Verfahren bevorzugt (z.B. das bekannte RIMO Modell-Becker und Kundzewicz (1986)) bei denen sowohl die Inputverteilung als auch die Eichung gut lösbar sind. In der vorliegenden Studie haben wir uns für die zweite Variante entschieden. Als lineares Teilmodell wurde die diskrete Zustandsraumformulierung der Kalinin-Miljukov Methode gewählt, die rechentechnisch sowohl die Eingliederung seitlicher Zuflüsse als auch die Anwendung des Zeitzerlegungsschemas elegant erlaubt.

Detailliertere Ausführungen zur Problematik des Zustandsmodells der linearen Speicherkaskade sind z.B. im Szolgay (1984).

Durch die Analyse der Hochwasserscheitellaufzeiten und aus Informationen über das Flussbettprofil haben wir zwei Durchflussschwellenwerte identifiziert ($Q=2500$ und $5000 \text{ m}^3/\text{s}$) die drei typische Laufzeitverhalten, bzw. Teilmodelle abgrenzen. Diese entsprechen ungefähr Situationen vor der Ausuferung, des Füllens der Ausuferungsflächen und der aktiver Beteiligung dieser am Gesamtabfluss. (Im Gegensatz haben Becker und Kundzewicz bei dem RIMO Verfahren an der selben Flussstrecke einen Schwellenwert gewählt).

Sofern zusammengehörige Datensätze des Zuflusses und Ausflusses für Hochwasser deren Scheitelwerte in die jeweiligen Intervalle fallen vorhanden sind, können die durch das Zeitzerlegungsschema benötigte Datensätze formiert werden. Die Daten werden dabei durch die Schwellenwerte in die einzelnen Bereiche gehörende Ereignisse separiert. Die Modellidentifikation erfolgt separat in einzelnen Intervallen für die jeweiligen Input-Output Paare. Im gegebenen Fall wurden die Parameter durch Trial und Error bestimmt. Diese Methode ist rechnerisch einfacher als das RIMO Verfahren, es werden aber mehr Daten benötigt (mindestens ein Ereignis für jedes Teilmodell im Gegensatz zum RIMO, wo ein alle Bereiche umfassendes Hochwasser als Grenzwert gilt).

3. Das Korrekturgliedmodell

Bei der Formulierung des Fehlermodells wurde versucht die starke zeitliche Veränderlichkeit und oft nur begrenzte Beobachtbarkeit der seitlicher Zuflüsse zu berücksichtigen.

Das Modell beruht auf einem im Minarik (1982) vorgeschlagenen zweistufigen Bayes'schen Algorithmus zur suboptimalen on-line Modellwahl und der Bestimmung von unbekannten Systemparametern. Bei der Betrachtung vieler realer Prozesse kann man zwischen einer finiten Zahl von unsicheren Situationen unterscheiden, wobei signifikante konzeptuelle oder experimentelle Informationen über sie existieren können. Im gegebenen Fall wurde daher in der ersten Stufe durch einen aus parallelen Kalman Filtern bestehenden sog. groben Algorithmus zwischen drei AR(4) Modellen der, den Daten am besten entsprechendes, ausgesucht. Diese entsprechen steigenden, fallenden und konstanten Durchflussbedingungen. Auch mit der Anwendung von Informationen, die nicht für eine quantitative Analyse geeignet sind (z.B. wegen ihres binären Charakters) wird durch das Bayes Theorem bestimmte a-posteriori Wahrscheinlichkeit der Gültigkeit jedes Modells für die Modellwahl angewendet. Die dabei ermittelten Parameter des Systems und des Kalman Filters wurden in ein sog. feines Estimator, (den auch ein Kalman Filter bildet) weitergeleitet. Diese werden in der zweiten Stufe des Gesamtestimators bis zum nächsten Modellwechsel benutzt. Details sind im Minarik (1982) nachzulesen.

4. Die Abflussvorhersage

Die beschriebene Modellkonzeption wurde im simulierter Echtzeitvorhersage auf der Donau zwischen Wien und Bratislava getestet. Die Vorhersage wurde mit der Einbeziehung der für Wien ausgegebener Vorhersage im 3 Stunden Takt für 24 Stunden für Bratislava erstellt. Paralell zum Vorhersagebetrieb wurde auch die Simulation der Wellentransformation zwischen Wien und Bratislava auf Grund den aktuell beobachteten Werten nachgerechnet. Der Zustandsvektor dieses Modells wurde bei der Ausgabe der Vorhersage als Anfangsbedingung benutzt.

Um die Fähigkeiten des beschriebenen Korrekturgliedes seitli-

che Zuflüsse zu modellieren zu testen, wurden bei den Berechnungen zwei Situationen berücksichtigt. In der ersten wurden die Daten des wichtigsten Zubringers der Donau zwischen Wien und Bratislava, der Morava, nicht in die Berechnungen aufgenommen. In der zweiten wurden alle Daten benutzt. Zum weiteren Vergleich wurde in beiden Situationen auch die Vorhersage ohne Korrekturglied erstellt.

Resultate der Analyse der Vorhersagefehler für das Jahr 1987, in dem der Anteil der Morava am Gesamtabfluss zwischen Wien und Bratislava überdurchschnittlich war, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

	Rohdaten	Kaskade mit Morava	Kaskade ohne Morava	Korrekturglied mit Morava	Korrekturglied ohne Morava
Mittelwert $ \text{m}^3/\text{s} $	2434	184,2	359,7	1,28	-15,5
St.abweichung $ \text{m}^3/\text{s} $	1052	134,1	265,4	120,8	134,1
Max.neg.Abweichung $ \text{m}^3/\text{s} $	935	574	364	452	698
Max.pos.Abweichung $ \text{m}^3/\text{s} $	5393	1121	1408	563	633
Schiefe	0,3	0,3	0,38	0,8	0,63
Excess	-0,8	1,69	0,05	4,0	5,6

Als Basis des Vergleichs gilt die deterministische Vorhersage mit der Einbeziehung des Morava Flusses. Im Vergleich zu den Rohdaten sieht man, dass der Mittelwert des Restfehlers mit der Unsicherheit der Durchflussbestimmung vergleichbar ist.

Es ist durch diese und auch durch die nicht erfasste Zuflüsse erklärbar. Das Auslassen der Morava wirkt sich sehr ungünstig auf die Qualität der Vorhersage aus. Neben dem Mittelwert steigt auch die Varianz auf das Doppelte. Ungünstig verändert sich auch der Excess, was das Steigen der Zahl der groben Fehler dokumentiert.

Durch die Anwendung des Fehlermodells wird die Vorhersage gegenüber der Basissituation wesentlich genauer. Der Mittelwert des Restfehlers ist praktisch Null geworden, die Variabilität sinkt

zwar wenig, aber der hohe Excess deutet auf eine günstige Verteilung der Fehler um den Mittelwert. Der Großteil der Werte liegt im Intervall $(-120, 120 \text{ m}^3/\text{s})$.

Das Ausbleiben der Zuflussdaten führt zu einer geringen Verschlechterung der Ergebnisse, das Fehlergliedmodell kann aber die fehlenden Werte korrigieren. Die Verteilung der Fehler um den Mittelwert bleibt weiterhin günstig. Die Korrelationsanalyse der Zeitreihe der Restfehler ergab aber, dass die angestrebte Unabhängigkeit nicht garantiert werden kann. Trotz dieser Einschränkung erkennt man aber bei den Vergleich der anderen Statistiken die Anwendbarkeit des vorgeschlagenen Modellkonzepts.

5. Schlussfolgerungen

Es wurde versucht das Korrekturgliedkonzept durch Verwendung eines multilinearen Kaskadenmodells und eines Bayes'schen on-line Modell und Parameterwahl Algorithmus zu ergänzen. Die Anwendbarkeit des Verfahrens zur Korrektur von Fehlern, die durch nicht beobachtbare seitliche Zuflüsse entstehen, wurde demonstriert und getestet. Die Tests zeigten, dass mit der vollen Datenerfassung vergleichbare Resultate erzielt werden können. Wegen der möglichen Suboptimalität der Vorhersage sollte man in der Zukunft jedoch größere Aufmerksamkeit der Struktur des Fehlermodells schenken (z.B. ARIMA oder ARMAX). Eine Anwendung zur Verbesserung der operativen Prognose ist geplant.

6. Literaturhinweise

- | 1 | Andjelic, M.- Szöllösi-Nagy, A.: On the use of stochastic-structural models for real time forecasting of river flow on the River Danube.
- | 2 | Becker, A.- Kundzewicz, Z.: Berücksichtigung von Nichtlinearitäten bei Durchflussberechnungen und -vorhersagen in Flüssen mit Hilfe multilinearer Modelle. WWI, 7, Vol.36, 1986.

- | 3 | Gutknecht,D.- Kirnbauer,R.: ARIMA- Modelle zur Verbesserung der Ergebnisse eines Wellenablaufmodells. OGM, 6, Vol.20, 1976.
- | 4 | Kunsch,I.- Minárik,B.: Vorhersage in Abschnitten mit bedeutenden aber nicht gemessenen Nebenfluss. XII.Donauländer Konferenz, Bratislava 1984.
- | 5 | Minárik,B.: Two-level suboptimal filtering with application to water resources. 6th IFAC Symp., Identification and System Parameter Estimation. Washington 1982.
- | 6 | Schnatter,S.: Bayes'sche Methoden zur Zustandsgrößen und Parameterschätzung bei hydrologischen Vorhersagemodellen. XIV.Donauländer Konferenz, Kiew 1988.
- | 7 | Szolgay,J.: Modellierung von Flussstrecken mit Zuflüssen mit der linearen Speicherkaskade. XII.Donauländer-Konferenz, Bratislava, 1984.
- | 8 | Szolgay,J.: Wellenablaufvorhersage mit Hilfe von stochastisch-strukturellen Modellen. (slowakisch). II.Hydrologische Tage der CSR. 1985.

ERFAHRUNGSBERICHT ÜBER DEN EINSATZ
DES ZUFLUSSVORHERSAGEMODELLS AN DER DRAU
ANHAND PRAKTISCHER BEISPIELE DES JAHRES 1989

(W. Kugi)

Österreichische Draukraftwerke AG
Österreich

KURZFASSUNG

Das Zuflußvorhersagemodell Drau wurde in den vergangenen Jahren gemeinsam von den Österreichischen Draukraftwerken und der Technischen Universität Wien entwickelt und steht seit April 1989 im praktischen Einsatz. Es wurde für die Vorhersage aller Abflußbereiche vom Mittelwasserabfluß bis zum Hochwasserabfluß konzipiert. An den einzelnen Bezugspunkten sind neben den zu erwartenden Scheitelabflüssen auch das Erreichen wichtiger, das weitere Abflußgeschehen beeinflussende, Grenzmarken vorherzusagen. Anhand von zwei Beispielen wird die praktische Anwendbarkeit des Modells dargestellt sowie auf die aus diesen Vorhersagen erhaltenen Informationen für eine Kraftwerksgesellschaft hingewiesen. Weiters wird auch über die bisherigen Erfahrungen beim nun einjährigen Betrieb berichtet.

Report on experiences made with the operation of the flood forecast model at the river Drau by practical examples in the year 1989

SUMMARY

The flood forecast model of the river Drau was developed by the Austrian Drau Power Plant Agency and the Technical University within the last years. It is in operation since April 1989. The model concept includes all parts of the flood from mean to extreme discharge. At individual points reaching the flood marks is important and an objective of the forecast. Using two examples the practical value of the model is demonstrated and the forecast information is discussed. The experience of one year operational use of the model is reported.

1. Einleitung

Das in Zusammenarbeit zwischen den Österreichischen Druckkraftwerken als Auftraggeber und Modellanwender und der Technischen Universität Wien als Modelltheoretiker in den vergangenen Jahren entwickelte Zuflußvorhersagemodell ist seit April 1989 im praktischen Einsatz. Seit dieser Zeit wurde alle aufgetretenen Abflußereignisse erstmals direkt vorhergesagt. Die Vorhersagen erfolgten für die wichtigsten Bezugspunkte im Einzugebiet in viertelstündlichen Zeitintervallen mit Vorhersagezeiten zwischen 6 und 12 Stunden. An zwei Beispielen werden die bisherigen Ergebnisse des Modells erläutert. Das Jahr 1989 war ein ausgesprochenes Trockenjahr und mit Ausnahme eines größeren Abflußereignisses (HQ_2) lagen die Abflüsse unter den Regelwerten. Anhand der Beispiele soll neben der Vorhersagegüte auch auf die aus diesen Vorhersagen erhaltenen Informationen für eine Kraftwerksgesellschaft eingegangen werden, sowie kurz über die bisherigen nunmehr einjährigen Betriebserfahrungen mit dem "Zuflußvorhersagemodell Drau" generell berichtet werden.

2. Kurzbeschreibung der Ereignisbeispiele

Beispiel eins zeigt die Entwicklung und Ausbildung des größten 1989 aufgetretenen Abflußereignisses (Abb. 1). Der Betrachtungszeitraum liegt zwischen dem 1. und 5. 7. 1989. Der Scheitelabfluß betrug beim Pegel Amlach $780 \text{ m}^3/\text{s}$ (etwa HQ_2). Die Abflußganglinie am Pegel Amlach wird im Betrachtungszeitraum wesentlich beeinflusst durch den Betrieb von zwei großen Speicherkraftwerksanlagen sowie durch die zusätzliche Wasserabgabe im Zuge der behördlich vorgeschriebenen Staulegung des Ausgleichsbeckens Rottau der Kraftwerksgruppe Malta am 4. 7. 1989. Weiters münden zwischen dem Pegel Sachsenburg und Amlach zwei wichtige Seitenzubringer der Drau, die Möll und die Lieser. Einen groben Überblick über die Überregnung des Einzugsgebiets bis zum Pegel Sachsenburg geben die dargestellten Gebietsniederschläge. Diese Darstellungen zeigen, daß die Hauptüberregnung von Ost nach West erfolgte, was bei einer Hauptfließrichtung der Drau von West nach Ost eine besondere Herausforderung für eine Vorhersage war. Die Abflußganglinie am Pegel Sachsenburg ist nur durch das Kraftwerk Strassera am Pegel Amlach in Osttirol beeinflusst. Das Einzugsgebiet weist jedoch eine sehr starke Höhengliederung und einen großen Anteil an Gletscherflächen auf. Die dritte dargestellte Ganglinie zeigt die Abflüsse des Kraftwerks Malta-Unterstufe. Für dieses Kraftwerk gibt es eine markante behördliche Betriebseinschränkung, wonach das Kraftwerk ab einem Abfluß in Sachsenburg größer $240 \text{ m}^3/\text{s}$ nur eingeschränkt betrieben werden kann und ab einem Abfluß in Sachsenburg größer $350 \text{ m}^3/\text{s}$ überhaupt abgesellt werden muß. Diese Betriebseinschränkung bildet naturgemäß einen Schwerpunkt für die Vorhersage.

Beispiel zwei (Abb. 2) zeigt wiederum die bereits im Beispiel eins beschriebenen Ganglinien. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich vom 20. bis 27. 7. 1989. Die Abflüsse liegen

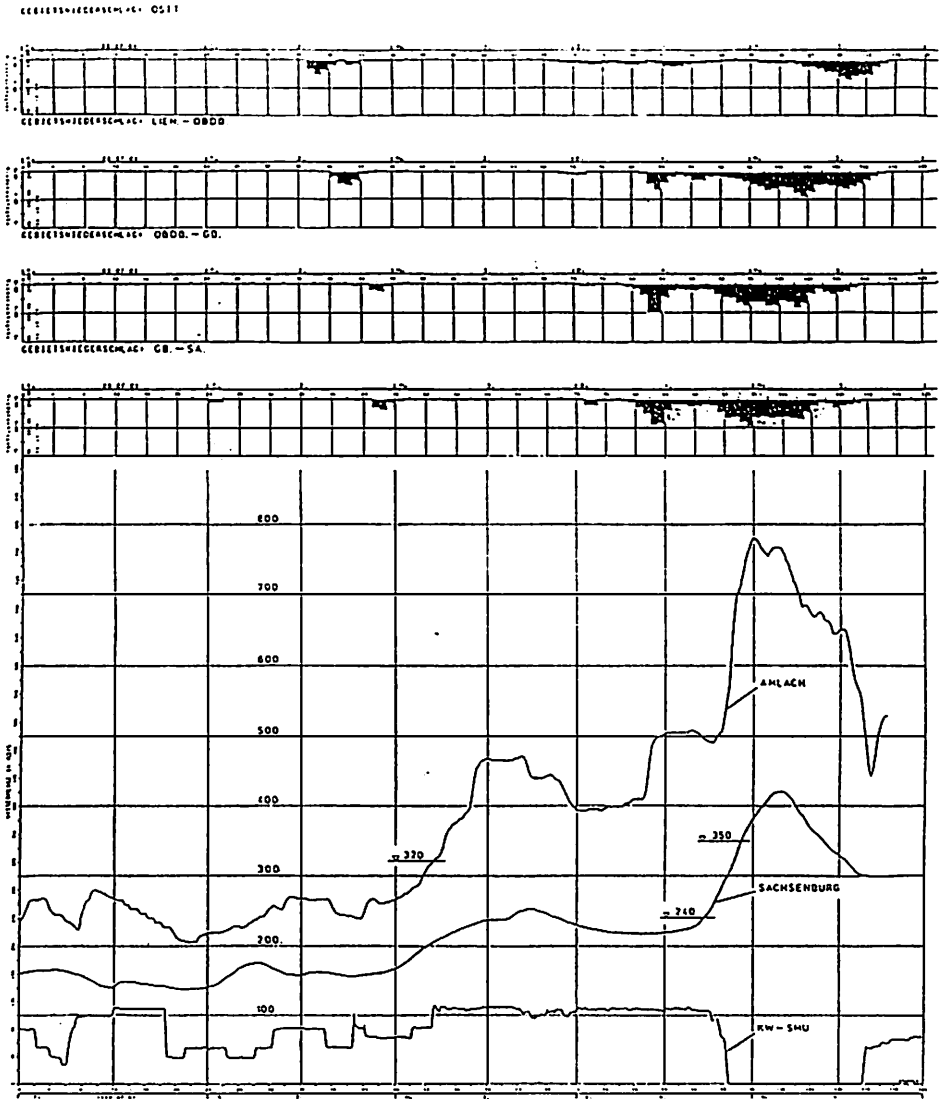


Abb. 1: Entwicklung und Ausbildung des Abflußereignisses vom 1. bis 5. 7. 1989 am Pegel Sachsenburg und Amlach

GEBIETSGRÄNZE Nr. 0511

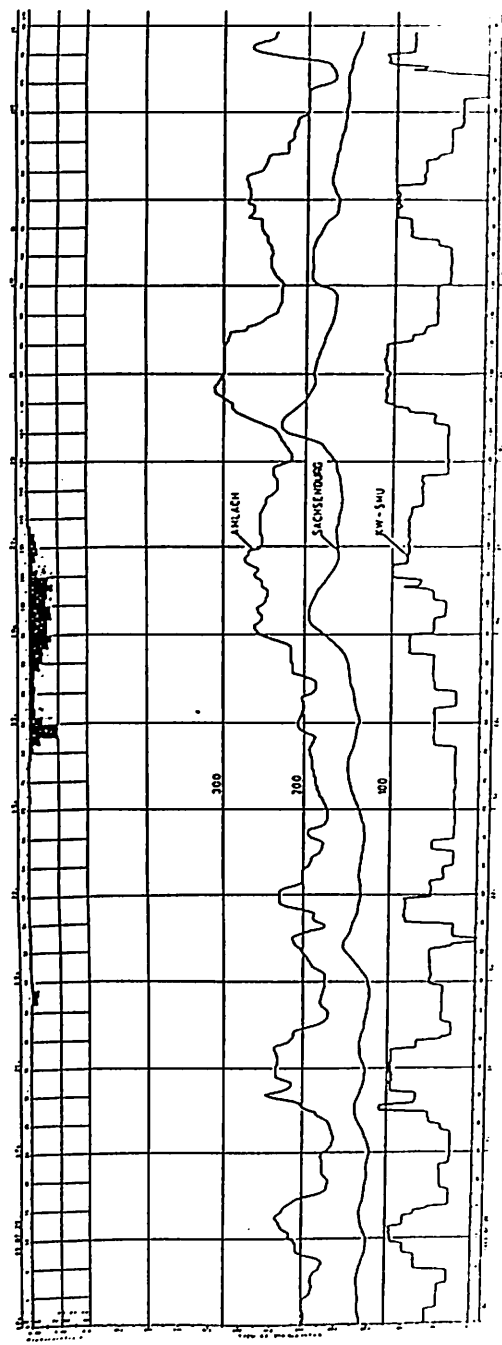
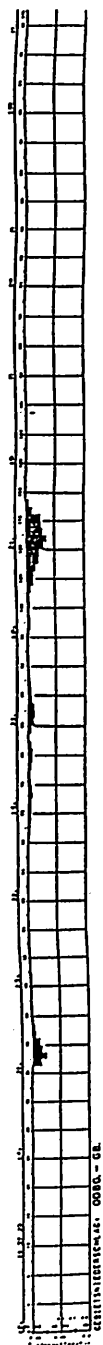
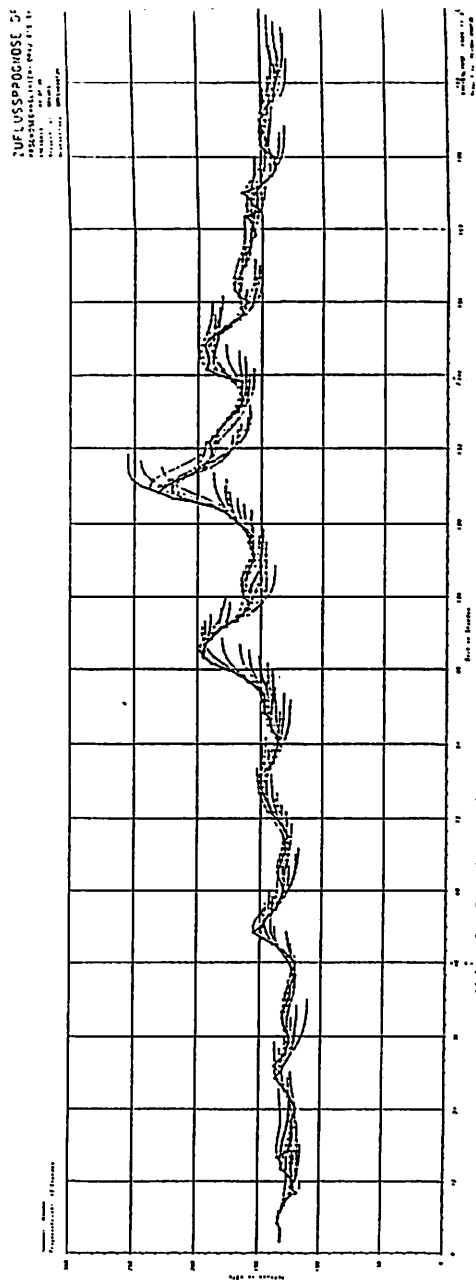


Abb. 2: Abflußganglinien und Gebietsniederschläge an der Drau
im Zeitraum vom 20. bis 27. 7. 1989



Aub. 3: Ergebnisse der Prognoserechnungen für den Zeitraum
 20. bis 24. 7. 1989 (Prognosezeit 12 Stunden).

etwas über den langjährigen Monatsmittelwerten des J. Dieses Beispiel soll den normalen "Alltagsbetrieb" darstellen für den ebenfalls laufend Vorhersagen gerechnet werden. wurde gewählt, da neben dem Einfluß der Schmelze aus 8 Gletscherregionen (20./21. 7. 1989) die Einflüsse kurzer witterregen (22. 7. 1989) und auch anhaltender, aber unterschiedlicher Niederschläge (23./24. 7. 1989) gezeigt werden können. Die Ergebnisse der Prognoserechnungen für den Pegel Sachsenburg sind in Abb. 3 dargestellt.

3. Diskussion der Vorhersageergebnisse

Als Parameter zur Beurteilung der Vorhersageergebnisse werden u. a. die mittleren Prognosefehler aller Prognoseschritte in einem definierten Zeitraum in Abhängigkeit von der Prognosezeit ausgewertet. Für Hochwasserwellen wird dieser mittlere Prognosefehler sowohl für das gesamte Ereignis als auch gesondert für den Wellenanstieg inkl. Scheitel berechnet. Bei beiden in der Folge gezeigten Beispielen waren sowohl die Niederschlagsabflußteile als auch die Wellenabflußteile des Modells zeitweise aktiv. Eine Niederschlagsvorhersage bei Niederschlagspersistenzannahme erfolgte nicht.

Die Abb. 4 zeigt den mittleren Prognosefehler für den Bezugspunkt Sachsenburg für die beiden Beispiele (1.7.1989 und 20.7.1989). Deutlich erkennt man die Zunahme des Prognosefehlers mit steigender Prognosezeit, was natürlicherweise aus den verminderten Informationsgehalt bei größeren Vorhersagezeiten zurückzuführen ist. Vorhersagen für einen Zeitraum von 10 Stunden sind für Sachsenburg extrem lang und entsprechen etwa der Konzentrationszeit der Abflüsse aus den entferntesten Punkten des Einzugsgebiets. Die beobachteten Fehler mit etwa 4 - 6 % für 8-Stunden-Prognosen und 6 - 10 % für 10-Stundenprognosen lagen im Bereich des Erwarteten.

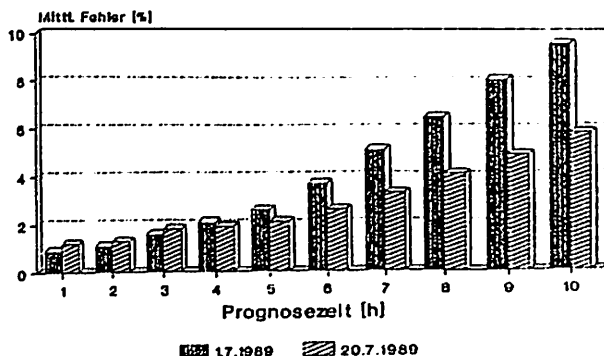


Abb. 4: Mittlerer Prognosefehler in % für den Bezugspunkt Sachsenburg in Abhängigkeit von der Prognosezeit.

Die Abb. 5 zeigt ebenfalls den mittleren Prognosefehler in % in Abhängigkeit von der Prognosezeit für den Bezugspunkt Amlach, den letzten Punkt für die Vorhersage der Abflüsse vor deren Zufluß zur geschlossenen Kraftwerkskette an der Drau. Die Fehlerentwicklung nimmt insbesondere für das Hochwasserereignis einen ähnlichen Verlauf wie im Knoten Sachsenburg. Die nicht so ausgeprägte Zunahme des Prognosefehlers mit zunehmender Prognosezeit beim Beispiel 20. 7. 1989 ist so zu erklären, daß die vorherzusagenden Abflüsse fast ausschließlich aus dem Einzugsgebiet der Oberen Drau kamen, während die beiden großen Seitenzubringer Möll und Lieser, welche zwischen Sachsenburg und Amlach in die Drau münden, keine sehr ausgeprägten Wellen ausbildeten, jedoch im Falle der Möll durch zwei große Spreicherkraftwerksanlagen beeinflußt waren. Auch im Bezugspunkt Amlach lagen die Prognosefehler im Bereich des erwarteten und waren somit eine gute Hilfe für die Betriebsführung der Kraftwerksketten an der Drau.

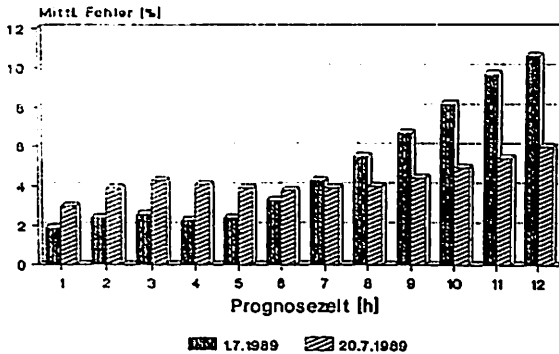


Abb. 5: Mittlerer Prognosefehler in % für den Bezugspunkt Amlach in Abhängigkeit von der Prognosezeit

Die Fehlermaße der Abb. 6 zeigen die Prognosefehler in Prozent in den Bezugspunkten Sachsenburg und Amlach in Abhängigkeit von der Prognosezeit, jedoch nur für den Bereich des Wellenanstiegs und des Scheitels für das Ereignis 1. 7. 1989. Dieser Bereich ist besonders für die Vorhersage von Grenzabflüssen in beiden Bezugspunkten von großem Interesse. Die Fehleinschätzungen der Prognosen im Ausmaß von 10 - 17 % bei einer Prognosezeit von 8 bzw. 10 Stunden in Sachsenburg sind vertretbar und aus der Dynamik der Abflußbildung erklärbar (vgl. Pkt. 2). Die Fehler im Ausmaß von ca. 12 % bei einer 12-Stunden-Prognose für den Bezugspunkt Amlach waren kleiner als erwartet, da speziell bei diesem Ereignis eine erfolgte Staulegung im Ausgleichsbecken Rottau an der Möll die Abflüsse in Amlach sehr stark beeinflussen und dadurch die Vorhersagen wesentlich erschwerten.

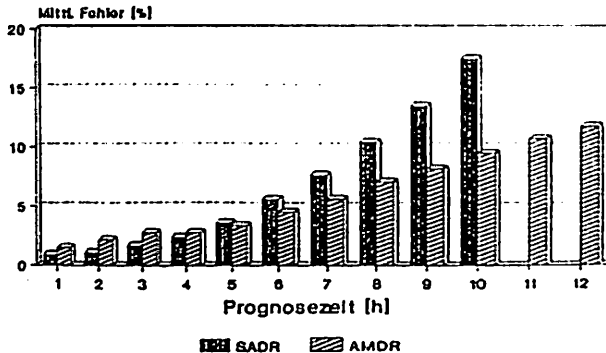


Abb. 6: Mittlerer Prognosefehler in % im Wellenanstieg Scheitel für die Bezugspunkte Sachsenburg und Amlach Ereignis 1. 7. 1989 in Abhängigkeit von der Prognosezeit

4. Aussagekraft der Zuflußprognosen für den Kraftwerksbetreiber

Anhand des Beispiels vom 1. 7. 1989 soll gezeigt werden, welche wesentliche Informationen aus den Prognoserechnungen für ein Kraftwerksunternehmen abgeleitet werden können. Den entsprechenden Ausschnitt aus den Prognoserechnungen für Sachsenburg zeigt Abb. 7. Die Problemstellung beim Betrieb des Kraftwerks Malta-Unterstufe, mit einer Ausbauleistung von 49 MW wurde bereits im Abschnitt 2 angesprochen. Aufgrund der Prognoserechnungen war es möglich, bereits erstmals zur Stunde 56 ca. 8 Stunden später zu erwartende Einschränkung beim Einsatz des Kraftwerks Malta-Unterstufe vorherzusagen sowie zur Stunde 86 die Wiederverfügbarkeit der vollen Leistung für die Stunde 94 anzugeben. Diese enorm hohe Treffsicherheit bei der Vorhersage im Alltagsbetrieb, bei nur relativ geringen Überschreitungen der zulässigen Grenzwasserführung, ist mehr als zufriedenstellend und vielfach belegbar.

Schwieriger wird schon die Vorhersage der Grenzwasserführung (240 m³/s und 350 m³/s) bei raschen, niederschlagsabhängigen Abflußzunahmen. So konnte zwar zur Stunde 86 eine klare Überschreitung der Grenze von 240 m³/s für die Stunde 94 vorhergesagt werden (die Prognose zur Stunde 85 zeigte noch keine Grenzwertüberschreitung), jedoch war das Ausmaß der Überschreitung zur Stunde 94, also 8 Stunden in die Zukunft, noch mit einer deutlichen Unsicherheit behaftet. Jedoch bereits die Prognosen zur Stunde 88 und 89 ließen die zu erwartende klare Überschreitung der oberen Grenzwasserführung jeweils 8 bis 10 Stunden deutlich erkennen. Die Prognose zur Stunde 90, also zu einem Zeitpunkt wo die untere Grenzwasserführung gerade erst erreicht wurde, konnte für die Stunde 95 nahezu fehlerfrei hinsichtlich der Menge und des Zeitpunktes der Überschreitung der oberen Grenzwasserführung und auch das Ausmaß der Überschreitung für 8 bis 10 Stunden genau vorhersagen.

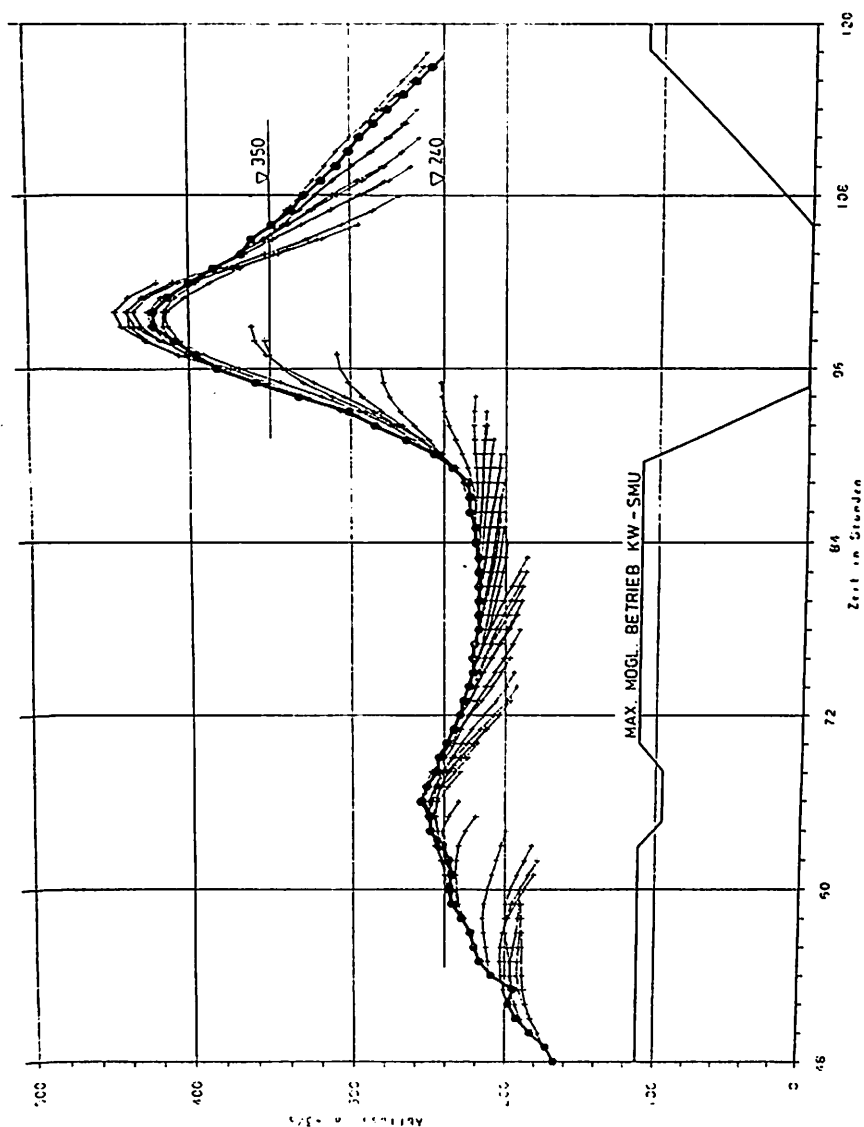


Abb. 7: Ausschnitt aus den Prognoserechnungen für den Bezugspunkt Sachsenburg für das Ereignis 1. 7. 1989 (Prognosezeit 10 Stunden)

Die zweite Frage in diesem Zusammenhang stellt sich nach dem Zeitpunkt der Wiederverfügbarkeit der Kraftwerksanlage. Auch diese Fragestellung konnte aufgrund der Prognoserechnungen bereits erstmals zur Stunde 95 für die nächsten 8 bis 10 Stunden beantwortet werden. Der Zeitfehler betrug dabei noch 2 Stunden. Doch schon die Vorhersagen zur Stunde 9 ermöglichten eine nahezu fehlerfreie Vorhersage des Zeitpunkts und des Ausmaßes der Wiederverfügbarkeit der Kraftwerksanlage 8 Stunden im voraus.

In Abb. 8 ist ein Ausschnitt aus den Prognoserechnungen für den Bezugspunkt Amlach für das Ereignis 1. 7. 1989 mit Prognosezeiten von 12 Stunden dargestellt. Eine der vorhersagenden Grenzmarken ist die Ausbauwassermenge von $320 \text{ m}^3/\text{s}$ in der unmittelbar nachfolgenden Kraftwerkskette an der Oberen Drau. Auch diese Grenzwasserführung konnte gut 12 Stunden im voraus prognostiziert werden, jedoch waren die Vorhersagen noch mit einem Zeitfehler von etwa 2 Stunden behaftet (Prognosen hinken hinter dem natürlichen Anstieg nach). Dieser Zeitfehler dürfte in der Abflußdynamik begründet sein und ist Gegenstand einer detaillierten Analyse.

5. Bisherige Erfahrungen beim Betrieb des Zuflußvorhersagemodells

Im nachfolgenden sollen kurz einige Hinweise aus der Sicht des Modellanwenders gegeben werden, die sich aus den bisherigen Erfahrungen beim Betrieb des Vorhersagemodells ableiten lassen.

Die gewählte Modellstruktur ermöglichte es, eigenständige Phänomene durch spezifische eigene Modellelemente zu beschreiben, wodurch hydrologisch signifikante Erscheinungen erklärbar, nachvollziehbar und damit besser modellierbar wurden.

Der stufenweise Modellaufbau, insbesondere die gut strukturierten Modellbausteine zur Beschreibung unterschiedlicher Einflußfaktoren, ermöglichte ein leichtes nachträgliches Einfügen von Modellbausteinen, um geänderten Verhältnissen im Einzugsgebiet Rechnung zu tragen. Wie etwa die Berücksichtigung von Kraftwerkeinflüssen, wie sie durch die Inbetriebnahme des Kraftwerks Strassen-Amlach in Osttirol erforderlich wurden.

Als besonders wichtig wurde die rechtzeitige Festlegung des zukünftigen Kraftwerkseinsatzplanes erkannt. Er ist einerseits ein Schlüssel für die Erreichung brauchbarer Vorhersagen. Andererseits ist dem Anwender (Lastverteiler) vor Augen zu führen, welche Auswirkungen ein Fehlen dieser Information hat.

Laufende Wartung der Meßwertgeber im Felde, insbesondere die Wartung der Niederschlagsmeßeinrichtungen sind eine unabdingbare Voraussetzung für die Bereitstellung sicherer Niederschlagsinformation und damit brauchbarer Vorhersagen. Ebenso bildet die laufende Überprüfung der Prognoserechnungen.

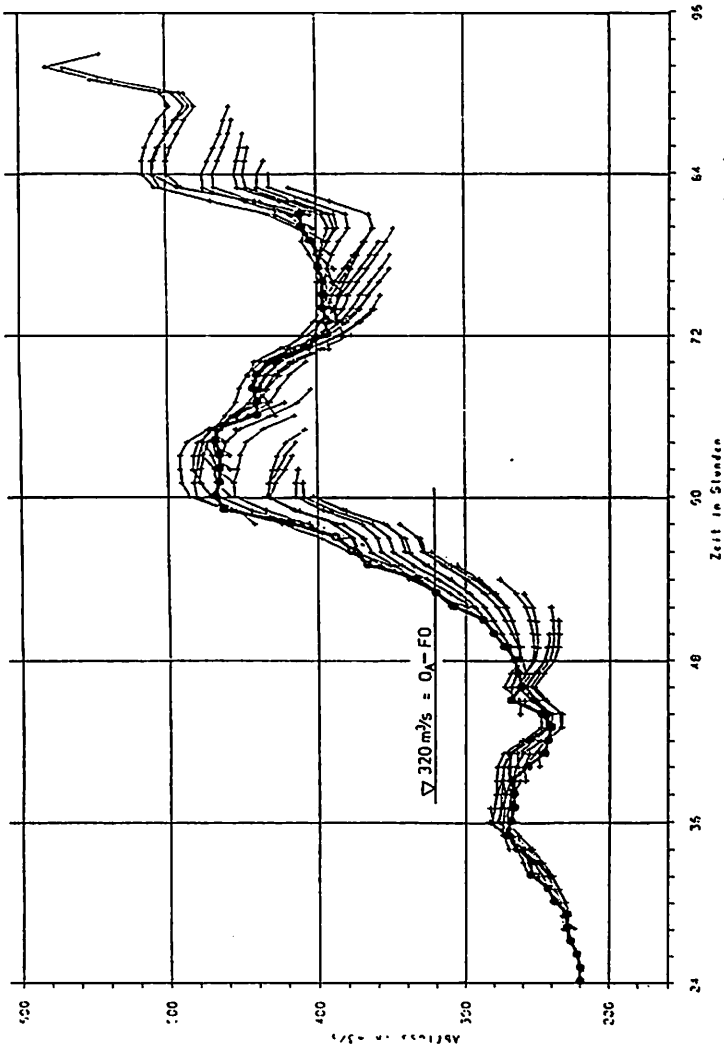


Abb. 8: Ausschnitt aus den Prognoserechnungen für den Bezugspunkt Amlach für das Ereignis 1. 7. 1989 (Prognosezeit 12 Stunden).

santen Datenflusses von der Feldmessung bis zur Meßwertverarbeitung vor dem Eingang in die Vorhersageberechnung einen wesentlichen Bestandteil der laufenden Wartung. Dies gilt auch für alle über Prozeßrechnerkopplungen fernübertragenen Kraftwerksdaten.

Vorhersagemodelle zur Prognoseerstellung für so viele Abflußbereiche, vom Alltagsbetrieb bis zur Hochwasservorhersage, können nicht sich selbst überlassen werden. Eine laufende Betreuung des Modells und die laufende Überprüfung der Ergebnisse, besonders im Hochwasserfall, erfordert einen nicht unerheblichen Personalaufwand. Dieser Aufwand ist insbesondere bei neuen Modellentwicklungen rechtzeitig einzukalkulieren.

Der bisherige Modelleinsatz entsprach voll den Erwartungen, jedoch wird erst ein extremes Hochwasser genaue Auskunft geben, ob auch für diesen Bereich mit den bisher erzielten Genauigkeiten gerechnet werden kann. Es kann jedoch schon heute festgestellt werden, daß mit großer Wahrscheinlichkeit die Vorhersage großer, also extremer, Hochwässer leichter und mit größerer Treffsicherheit möglich sein wird, da bei diesen Ereignissen alle anthropogenen Einflüsse, wie z. B. der Kraftwerksbetrieb fast gänzlich unterbleibt, und damit die Vorhersagen als rein hydrologische Vorhersagen erfolgen können, von denen wir heute schon wissen, daß ihre Prognoserechnungen zu ausgezeichneten Ergebnissen führen. Voraussetzung für die Erfüllung dieser Annahme wird jedoch sein, daß auch bei Extremereignissen eine möglichst vollständige Datenübermittlung aus dem Einzugsgebiet erfolgt.

6. Zusammenfassung

Anwendbare Zuflußvorhersagemodelle sind heute einer der wesentlichsten Bestandteile der modernen Wasserwirtschaft. Sie bilden insbesondere im Zusammenwirken mit Optimierungsmodellen die Grundlage für viele Steuerungs- und Regelprobleme, nicht nur um die wertvolle, emissionsfrei Rohenergie Wasser optimal zu nützen, sondern auch eine Vielzahl schutzwasserwirtschaftlicher Aufgaben erfüllen zu können.

Da zukünftig mit einer weiteren Steigerung der Anforderungen an Vorhersagemodelle zu rechnen ist, wird es unbedingt notwendig sein, auch für die Bereiche der Abflußbildung aus der Schneedecke bzw. von Gletschern sowie zum Problem der Niederschlagsvorhersage anwendbare Modellansätze zu entwickeln. Dabei sollte jedoch nicht vergessen werden, daß jede zusätzliche Meßgröße, die dazu aus dem Einzugsgebiet übertragen werden muß, nicht nur zusätzliche Fehlerquellen (Meßfehler und Übertragungssicherheit) mit sich bringt, sondern auch eine klare Herausforderung an die Meßtechnologie hinsichtlich möglichst wartungsfreier und betriebssicherer Meßwertbefassungen darstellt.

Literatur

- BLÖSCHL, G. (1988): Schneeschmelzmodell für ein Einzugsgebiet großer Höhererstreckung als Baustein eines hydrologischen Vorhersagemodells. Beitrag zur XIV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Kiew 1988.
- DRAXLER, A. (1970): Mathematisches Modell für die Zuflußprognose als Hilfsmittel zur Optimierung des Kraftwerksbetriebes. Dissertation an der Technischen Universität Graz.
- GUTKNECHT, D. (1977a): Überlegungen zur Anwendung mathematischer Modelle auf die Abflußvorhersage. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 18, S.223-232.
- GUTKNECHT, D. (1977b): Verbesserung der Abflußvorhersage durch Verwendung prognostizierter Regenwerte. IX. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Budapest 1977.
- GUTKNECHT, D. (1978): Methoden der hydrologischen Kurzfristvorhersage. Wiener Mitteilungen "Wasser-Abwasser-Gewässer", Bd. 26. Wien 1978.
- GUTKNECHT, D. (1987): Gesichtspunkte für die Auswahl der Modelle. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) 16. Fortbildungslehrgang Hydrologie. Wasserstands- und Abflußvorhersage, Wennigsen/Deister. Bonn 1987.
- GUTKNECHT, D. und KRESSER, W. (1988): Zur Entwicklung "anwendbarer" Vorhersagemodelle. Beitrag zur XIV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Kiew 1988.
- KIRNBAUER, R. (1987): Datenkontrolle und Vorhersageverbesserung bei operationellen Vorhersagen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) 16. Fortbildungslehrgang Hydrologie. Wasserstands- und Abflußvorhersage, Wennigsen/Deister. Bonn 1987.
- KIRNBAUER, R. (1988): Ein Ansatz zur Berechnung der Abflußbildung in hydrologischen Vorhersagemodellen. Beitrag zur XIV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Kiew 1988.
- KRESSER, W. (1980): Zur Geschichte der hydrologischen Vorhersagen im Donaauraum. Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 32, Heft 11/12. Wien 1980.
- KRESSER, W. (1987): Geschichte der Wasserstands- und Abflußvorhersage. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) 16. Fortbildungslehrgang Hydrologie. Wasserstands- und Abflußvorhersage, Wennigsen/Deister. Bonn 1987.
- KUGI, W. (1988): Entwicklung und Einsatz eines hydrologischen Vorhersagemodells aus der Sicht des Modellanwenders. Beitrag zur XIV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Kiew 1988.

- ROHDE, F. G. (1987): Datenverwaltung. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) 16. Fortbildungslehrgang Hydrologie. Wasserstands- und Abflußvorhersage, Wennigsen/Deister. Bonn 1987.
- SCHILLER, G. (1987): Hydrologische Vorhersagen in der österreichischen Elektrizitätswirtschaft. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) 16. Fortbildungslehrgang Hydrologie. Wasserstands- und Abflußvorhersage, Wennigsen/Deister. Bonn 1987.
- SCHLATTE, H. und KUGI, W. (1986): Vorhersagemodell für die Zuflüsse zu den Österreichischen Draukraftwerken. XIII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Belgrad 1986.
- SCHNATTER, S., GUTKNECHT, D., KIRNBAUER, R. (1986): A Bayesian Approach to Estimating the parameters of a Hydrological Forecasting System. International Symposium on Probability and Bayesian Stations. Innsbruck, September 1986. Plenum press New York 1987.
- SCHNATTER, S. (1987): Ein Bayes'sches Verfahren zur Zustandsgrößen- und Parameterschätzung in dynamischen wasserwirtschaftlichen Systemen. DVWK, 3. Wissenschaftliche Tagung Hydrologie und Wasserwirtschaft, "Planung und Betrieb wasserwirtschaftlicher Systeme" 19.-20. März 1987 Ruhr-Universität Bochum.
- SCHNATTER, S. (1988): Dynamische Bayes'sche Methoden zur Zustandsgrößen- und Parameterschätzung für hydrologische Vorhersagedelle. Beitrag zur XIV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen. Kiew 1988.

Anschrift des Verfassers:

Dipl. Ing. Wilhelm Kugi
Österr. Draukraftwerke AG
Kohldorfer Straße 98
A - 9010 Klagenfurt

РЕКУРСИВНЫЕ ОЦЕНКИ ПРИ ПОМОЩИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Ионел Злате-Подани

Институт Метеорологии и Гидрологии

Бухарест, Румыния

Рекурсивные оценки при помощи стохастической модели

В работе представлено стохастическое моделирование гидрологического прогноза, применяя рекурсивную модель типа АRIMA. Модель используется при временных сериях высокой зависимости, а именно $\rho_1 > 0,95$.

Обычно, к такой модели обращаются, когда располагают только гидрографом у входа и выхода и временем торможения системы. Представленные примеры относятся к системам с одним входом и одним выходом. Модель легко обобщить для линейной формы с несколькими входными переменными, также как и в случае многочленной корреляции

Рекомендуется подготовить входные данные для удовлетворении определённых условий статистической омогенизации.

RECURSIVE ESTIMATIONS BY STOCHASTIC MODEL

The paper shows a stochastic approach to the hydrological forecasting using a recursive ARIMA type model.

The model is applied to time series with high dependence, $\rho_1 > 0.95$ respectively. Such a model is generally applied when only the input and output hydrographs and the system delay time are available.

The examples given refer to a system implying an input and an output, but, the model can easily be generalized to a linear form with several input variables, similar to a multiple correlation. It is also advisable to prepare the input data so as to satisfy certain statistical homogeneousness requirements.

РЕКУРСИВНЫЕ ОЦЕНКИ ПРИ ПОМОЩИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рекурсивная модель учитывает, как погрешность измеренных данных, так и погрешности структуры линейной модели.

Для прогнозирования, применение модели нужно приспособить к располагаемой информации. Следовательно, не ставится вопрос о выборе единственной модели для всех возможных обстановок, а вопрос разработки группы моделей, удовлетворяющих поочередно существующие требования.

Обстановки, обычно появляющиеся в прогнозах можно классифицировать по критериям пространства и времени. Так, для микроштаба, время торможения системы короткое, входными переменными являются осадки, выходными – гидрограф стока, модель становится переходным соотношением между входными и выходными переменными для оценки сверхкраткосрочного типа, при увеличении заблаговременности прогнозирования дождя. В случае среднего масштаба обстановка приблизительно та же, как в вышепредставленном, с расхождением, что дополнительная информация о изученном гидрографическом бассейне позволяет применение концептуальной модели. В случае макромасштаба трудно применять модель дождь–сток, так как по мере роста площади осложняются, как схема вычисления, так и учёт рассчитанных осадков для такой площади. Следовательно, целесообразно ограничить анализ к единственной переменной исследования, а именно речные гидрографы, представляющие глобальные эффекты явления дождь–сток или антропогенной деятельности.

Модель гидрологического прогноза состоит из структуры производства и структуры реактуализации. Когда эти структуры соединены, для каждого момента прогноза алгоритм является рекурсивным, появляясь две возможные ситуации:

- известны только гидрографы основной реки и притоков;
- располагают информацией о гидравлике движения воды.

В первом случае рекомендуется применение стохастической модели, а во втором, структурно-стохастической модели.

Применение стохастической модели в Румынии рекомендуется прогнозу по Дунаю, у входа в страну. В случаях учёта гидрографов притоков, рекурсивная модель представляет собой корреляцию многочленного типа. Следовательно, рекомендуется обобщение статистического

ческих характеристик соответствующих переменных, используя способ типа скользящей средней.

В случае, представленном в настоящей работе, экспериментирование модели осуществляется на реке Прут, для системы состоящей из одного входа и одного выхода, каждый из них с двумя состояниями.

Обобщение модели легко осуществить.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Выражается соотношение:

$$x_k = a_1 x_{k-1} + a_2 x_{k-2} + b_1 u_{k-1} + b_2 u_{k-1-1} \quad (1)$$

где:

x — выход из физической системы в момент

u — вход в систему в момент

a_i, b_i — параметры линейной структуры

— время торможения системы

Отклонения данных измерений и несовершенство модели характеризуются переменной в соотношении измерения:

$$y_k = x_k + \xi_k \quad (2)$$

где:

y_k — измеренное значение

Компонент ξ_k применяется, как гауссовская переменная и обязан носить характер белого шума.

На основе соотношений (1) и (2), после оценки x_k , значение сравнивается с y_k , после чего параметры (1) актуализируются в зависимости от информации, полученной в момент k , что ведёт к рекурсивной модели.

Соотношение (1) можно выразить в форме:

$$x_k = z_k^T a \quad (3)$$

где:

$$z = [x_{k-1}, x_{k-2}, u_{k-1}, u_{k-1-1}]^T \quad (4)$$

$$a = [a_1, a_2, b_1, b_2]^T \quad (5)$$

а:

$$a_k = a_{k-1} + u_k$$

Благодаря рекурсивному характеру модели, параметры a зависят от времени. Для прогноза используются значения a их последней актуализации, а именно:

$$a_{k/k-1} = a_{k-1}$$

с:

$$P_{k/k-1} = P_{k-1} + Q$$

где:

$$Q = \begin{vmatrix} \sigma_{u11}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \sigma_{u44}^2 \end{vmatrix}$$

после получения измеренных значений, применяясь коррекция:

$$a_k = a_{k/k-1} + P_{k/k-1} x_k \left[\sigma^2 + z_k^T P_{k/k-1} x_k \right]^{-1} \left\{ y_k - z_k^T a_{k/k-1} \right\}$$

а:

$$P_k = P_{k/k-1} - P_{k/k-1} x_k \left[\sigma^2 + z_k^T P_{k/k-1} x_k \right]^{-1} z_k^T P_{k/k-1}$$

где:

P_k - матрица отклонений оценки в фазе прогнозирования
 $P_{k/k-1}$ - матрица отклонений оценки после актуализации a
 σ^2 - стандартное отклонение

Таким образом, соответственно баэссианской теории, (7) об-
 печивает априорную информацию, а (9) - апостериорную, сравне-
 модели с реальной ситуацией, как тренд, осуществляясь постое-
 во времени. Для улучшения оценок обязательно добиться уменьше-
 σ_{ξ}^2 . Один из способов состоит в сглаживании входных гидрогра-
 методом скользящей средней, по выбранному критерию омогенизации

ЧИСЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ

Модель экспериментировалась на речном участке, где $T = 4$
 T - время торможения, Δt - временной шаг. Компонент ξ учиты-
 ется, как нестационарная переменная, используя окно с откры-

$10\Delta t$.

Прогноз для $i\Delta t$, где $i = 1, 2, 4$ осуществляется по определенным отдельным временным сериям, состоящих из исходных серий, реэешентиионированием через $i\Delta t$.

Численные примеры представлены в рисунках 1а, б, в, где иллюстрируется возможность алгоритма воспроизвести прогнозы для $1\Delta t$, $2\Delta t$ и $4\Delta t$. Отметим, что зависимость временных серий очень высокая, соответственно $Q_1 > 0,95$. В этих случаях, применение такой модели ведёт к получению результатов за очень короткий срок.

ВЫВОДЫ

Представленные результаты относятся к численному эксперименту, осуществлённому моделью типа АРІМА, а не к его оперативному применению.

Полученные результаты удовлетворительные, существуя возможность внедрения усовершенствованной модели в оперативную деятельность.

Описанная форма модели не исчерпывает все возможности стохастического подхода для гидрологического прогноза. Некоторые предложения были изложены выше, а именно, применение критерий статистического обобщения и сглаживание использованных серий методами типа скользящей средней.

Другая возможность усовершенствования модели относится к созданию линейной структуры типа многочленной корреляции, в представленной рекурсивной форме.

Сглаживание некоторых компонентов обязательно в случае временных серий притоков, значения которых ниже значений основного течения, для компенсации явлений у слияния рек.

Представленная модель расширяет диапазон моделей прогноза осуществляя приближение метода к специфике реальной анализуемой ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) KRAIJENHOFF, D.A., MOLL, J.R.

River flow modelling and forecasting. 1986,
Dordrecht-Boston-Lancaster-Tokyo

- 2) MIERKIEWIEZ, M., SZOLLOSI-NAGY, A.
Linear Kalman filter for the short term forecasting
runoff on the Dunajec river. Jr. of. Hydrological Science
vol.6, No. 1-2, 1979
- 3) SZOLLOSI-NAGY and all.
On the recursive algorithms in real-time flow forecasting
Hungarian experiences, Budapest
- 4) ZLATE, I.
Posibilitățile de utilizare a algoritmilor recursivi
proгноza hidrologică, Studii de Hidrologie, vol.55, 1987

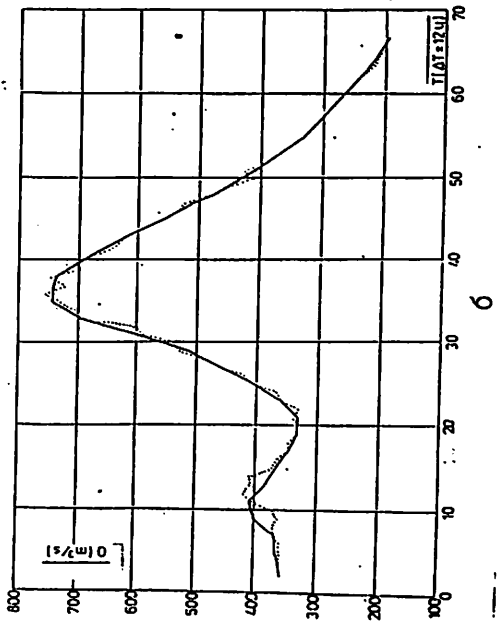
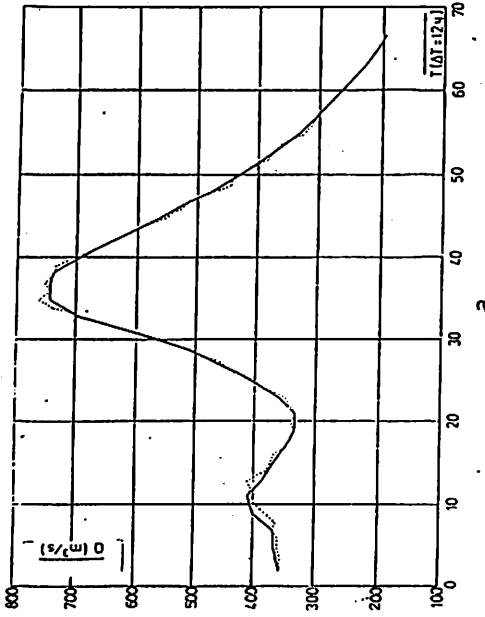
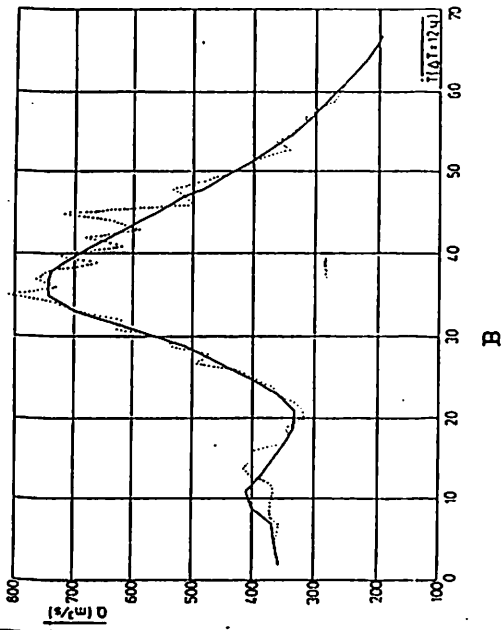


Рис. 1. Воспроизведение прогноза с
запаздывающей Δt (а), $2\Delta t$
(б) и $4\Delta t$ (в). Гидрограф: (—) из-
меренный; (....) воспроизведённый.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МИНИМИЗАЦИИ МАКСИМАЛЬНЫХ ОШИБОК В ПРОГНОЗАХ ПИКА ПАВОДКОВ

Ковач Шандор

Среднетисайское Управление Охраны Окружающей Среды и Водного
Хозяйства, Сольнок, БР

Интересна и важна часть гидрологических прогнозов, занимающаяся предсказанием величины и времени наступления пика высоких паводков. Для рек с незначительным продольным уклоном, где для данных сечений нет однозначной связи между уровнем и расходом воды, а во время противопаводочной защиты необходимо знать ожидаемые максимальные уровни паводков, часто используются системы прогнозов, основывающиеся только на данных уровней реки. С помощью регрессионных уравнений, используя одновременные уровни на определенных постах водной системы, взятые во время максимального уровня паводка на выборочном верхнем посту, вычисляется максимальное значение пика паводков на нижележащем посту. Как известно, метод регрессии не способ прогнозирования, но при использовании физически обоснованных данных и параметров он дает хорошие результаты. При определении параметров линейной регрессии рассчитывается минимальное значение дисперсии. Вычисления такого типа несут в себе возможность увеличения ошибок. При выдаче прогнозов интервал $\pm$ ошибок, определенный по максимальным отклонениям, часто ставит под сомнение пригодность прогноза. Во избежание этого был разработан так называемый метод минимизации максимальных ошибок, применение которого на 30-40% снижает максимальную ошибку прогноза при незначительном увеличении

абсолютной средней ошибки и дисперсии ошибок.

Порядок вычислений по методу минимизации максимальных ошибок следующий.

Пусть $Y, X_1, X_2, \dots, X_n$ вероятные переменные. Длина рядов N . Значения зависимых и независимых переменных даны в нормированном виде:

$$\begin{array}{ccccccc} Y_1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ Y_2 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_N & X_{N1} & X_{N2} & \dots & X_{Nn} \end{array} \quad (1.)$$

ряды не обязательно подчиняются условию

$$\begin{aligned} Y_1 &= \alpha_1 X_{11} + \alpha_2 X_{12} + \dots + \alpha_n X_{1n} \\ Y_2 &= \alpha_1 X_{21} + \alpha_2 X_{22} + \dots + \alpha_n X_{2n} \\ &\vdots \\ Y_N &= \alpha_1 X_{N1} + \alpha_2 X_{N2} + \dots + \alpha_n X_{Nn} \end{aligned} \quad (2.)$$

поэтому получаются отклонения

$$\begin{aligned} q_1 &= \alpha_1 X_{11} + \alpha_2 X_{12} + \dots + \alpha_n X_{1n} - Y_1 \\ q_2 &= \alpha_1 X_{21} + \alpha_2 X_{22} + \dots + \alpha_n X_{2n} - Y_2 \\ &\vdots \\ q_N &= \alpha_1 X_{N1} + \alpha_2 X_{N2} + \dots + \alpha_n X_{Nn} - Y_N \end{aligned} \quad (3.)$$

При определении $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ необходимо, чтобы

$$q = \max(|q_1|, |q_2|, \dots, |q_N|) \quad (4.)$$

было минимальное.

Ясно, что

$$-q \leq q_1 \leq q, -q \leq q_2 \leq q, \dots, -q \leq q_N \leq q, \quad (5.)$$

или

$$\begin{aligned} -q &\leq \alpha_1 X_{11} + \alpha_2 X_{12} + \dots + \alpha_n X_{1n} - Y_1 \leq q \\ -q &\leq \alpha_1 X_{21} + \alpha_2 X_{22} + \dots + \alpha_n X_{2n} - Y_2 \leq q \\ &\vdots \\ -q &\leq \alpha_1 X_{N1} + \alpha_2 X_{N2} + \dots + \alpha_n X_{Nn} - Y_N \leq q \end{aligned} \quad (6.)$$

В выражении (4)–(6) неизвестны только $q, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ и в этих неизвестных переменных зависимости линейные. Опре-

деление минимального значения q при линейном условии $2N$ -задача линейного программирования.

Введем новые переменные. Тогда

$$\beta = \frac{1}{q}; \quad \beta_1 = \varepsilon_1 \frac{\alpha_1}{q}, \quad \beta_2 = \varepsilon_2 \frac{\alpha_2}{q}, \quad \dots, \quad \beta_n = \varepsilon_n \frac{\alpha_n}{q}, \quad (7.)$$

где

$$\varepsilon_i \begin{cases} I, & \text{если } \alpha_i > 0 \\ -I, & \text{если } \alpha_i < 0 \end{cases} \quad (8.)$$

Видно, что $\beta \geq 0; \beta_1 \geq 0, \beta_2 \geq 0, \dots, \beta_n \geq 0$.

Задача с новыми переменными имеет следующий вид :

$$\begin{aligned} x_{11} \varepsilon_1 \beta_1 + x_{12} \varepsilon_2 \beta_2 + \dots + x_{1n} \varepsilon_n \beta_n - y_1 \beta &\leq 1 \\ -x_{11} \varepsilon_1 \beta_1 - x_{12} \varepsilon_2 \beta_2 - \dots - x_{1n} \varepsilon_n \beta_n + y_1 \beta &\leq 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{N1} \varepsilon_1 \beta_1 + x_{N2} \varepsilon_2 \beta_2 + \dots + x_{Nn} \varepsilon_n \beta_n - y_N \beta &\leq 1 \\ -x_{N1} \varepsilon_1 \beta_1 - x_{N2} \varepsilon_2 \beta_2 - \dots - x_{Nn} \varepsilon_n \beta_n + y_N \beta &\leq 1 \end{aligned} \quad (9.)$$

Решение задачи производится по симплекс-методу.

Процесс преобразований ведется по следующей таблице.

	$\dots j \dots j^*$				
i	$\dots a_{ij} \dots a_{ij}^*$	b_i	i'	$\dots a'_{ij} \dots a'_{ij}^*$	b'_i
i^*	$\dots a_{i^*j} \dots a_{i^*j}^*$	b_{i^*}	i'^*	$\dots a'_{i^*j} \dots a'_{i^*j}^*$	b'_{i^*}
	$\dots p_j \dots p_{j^*}$	$-q_0$		$\dots p'_j \dots p'_{j^*}$	$-q'_0$

Допустимой симплекс-таблице соответствует точка максимума, если все коэффициенты целевой функции отрицательны. Если критерий не выполняется, перейдем от одного допустимого базисного решения к соседнему допустимому, т.е. такому, в котором множество базисных и свободных переменных изменены на один элемент. Этот процесс называют симплекс-шагом или заменой базиса.

1) Выбор разрешающего столбца : среди элементов в таблице выбирается любой $p_{j^*} > 0$, и соответствующий столбец называется

разрешающим. В качестве p_j^* рекомендуется выбирать максимальное p_j .

2) Выбор разрешающей строки, если $a_{ij}^* \leq 0$ для всех элементов разрешающего столбца, то решения не существует. Если это не так, то для всех положительных a_{ij}^* нужно вычислить отношения b_i/a_{ij}^* . Строка i^* , для которой это отношение минимально, называется решающей строкой i^* :

$$\min_{a_{ij}^* > 0} \frac{b_i}{a_{ij}^*} = \frac{b_{i^*}}{a_{i^*j^*}} \quad (10.)$$

общий элемент $a_{i^*j^*}$ разрешающего столбца и разрешающей строки называется разрешающим элементом.

3) Замена базиса с помощью разрешающего элемента $a_{i^*j^*}$ — процесс, производящий в таблице преобразования канонического вида, при котором базисная переменная x_{i^*} становится свободной, одновременно свободная переменная x_{j^*} становится базисной. Если a — какое-либо значение в таблице, то обозначаем через a' значение, стоящее в новой таблице на том же самом месте:

а)

$$\begin{aligned} i'^* &= j^*, \quad i' = i && \text{для всех } i \neq i^*, \\ j'^* &= i^*, \quad j' = j && \text{для всех } j \neq j^*. \end{aligned} \quad (11.)$$

$$\text{б) } a'_{i^*j^*} = \frac{1}{a_{i^*j^*}}, \quad (12.)$$

$$\begin{aligned} \text{в) } a'_{i^*j} &= a_{i^*j} a'_{i^*j^*} && \text{для всех } j \neq j^*, \quad b'_{i^*} = b_{i^*} a'_{i^*j^*}, \\ a'_{ij^*} &= a_{ij^*} a'_{i^*j^*} && \text{для всех } i \neq i^*, \quad p'_{j^*} = -p_{j^*} a'_{i^*j^*} \end{aligned} \quad (13.)$$

Отметим, что элементы правого столбца и нижней строки пересчитываются по тому же самому принципу, что и элементы в центральной части таблицы

$$\begin{aligned} \Gamma) \quad a_{ij}' &= a_{ij} - a_{i^*j}^* a_{ij}^* \quad \text{для всех } i \neq i^*, j \neq j^* \\ p_j' &= p_j - a_{i^*j}^* p_j^* \quad \text{для всех } j \neq j^*. \end{aligned} \quad (14.)$$

$$\begin{aligned} \Delta) \quad b_i' &= b_i - b_{i^*}^* a_{ij}^* \quad \text{для всех } i \neq i^*, \\ (-Q_0)' &= (-Q_0) - b_{i^*}^* p_j^* \end{aligned} \quad (15.)$$

В данной работе первая симплекс-таблица имеет следующий

вид :

j	1	2	...	n	n+1	b
1	$x_{11} \varepsilon_1$	$x_{12} \varepsilon_2$	...	$x_{1n} \varepsilon_n$	$-y_1$	1
2	$-x_{21} \varepsilon_1$	$-x_{22} \varepsilon_2$	...	$-x_{2n} \varepsilon_n$	y_1	1
3	$x_{21} \varepsilon_1$	$x_{22} \varepsilon_2$	...	$x_{2n} \varepsilon_n$	$-y_2$	1
4	$-x_{21} \varepsilon_1$	$-x_{22} \varepsilon_2$	...	$-x_{2n} \varepsilon_n$	y_2	1
...	...	...	...	...	...	...
2N-1	$x_{N1} \varepsilon_1$	$x_{N2} \varepsilon_2$	...	$x_{Nn} \varepsilon_n$	$-y_N$	1
2N	$-x_{N1} \varepsilon_1$	$-x_{N2} \varepsilon_2$	...	$-x_{Nn} \varepsilon_n$	y_N	1
	0	0	...	0	1	0

где x и y — нормированные величины исходных данных.

Коэффициенты умножения определяются по следующему выраже-

$$\text{нию:} \quad \beta(i) = b(j(i)). \quad (16.)$$

Как отмечалось выше, основная задача данного метода — снизить максимальную возможную ошибку прогноза. Результаты расчетов на р.Тису и р.Кёрёш представлены в табл. I. Анализ результатов показывает, что применение метода минимизации максимальных ошибок приводит к значительному понижению величин максимальной ошибки.

Ошибки прогнозов по методу линейной регрессии и
по минимизации максимальных ошибок

I. Река Тиса

	ВАШАРОВНАМЕНЬ — ТОКАЙ		ВАШАРОВНАМЕНЬ — СОЛЬНОК		ТОКАЙ — СОЛЬНОК	
	ЛИН. РЕГР.	МИН. МАКС. О.	ЛИН. РЕГР.	МИН. МАКС. О.	ЛИН. РЕГР.	МИН. МАКС. О.
$ \overline{\Delta H} $	10	11	12	15	9	10
σ	12	13	15	17	10	11
$ \Delta H _{\max}$	26	21	30	20	19	14

II. Река Кёрёш

	ШАРКАД — САРВАШ		БЕКЕШ — САРВАШ	
	ЛИН. РЕГР.	МИН. МАКС. О.	ЛИН. РЕГР.	МИН. МАКС. О.
$ \overline{\Delta H} $	19	22	9	10
σ	23	27	11	12
$ \Delta H _{\max}$	47	30	22	16

The adoption of the process of minimizing
the maximum defects for forecasting the flood peaks

The forecasting of the maximum values and dates of flood waves is a very interesting and important field of the hydrological forecasts. In the cases of insignificantly falling rivers we often use the methods founded on only the dates of water-levels.

In this paper we make a comparison between the regression counting and the result of process of minimizing maximum defects. In the course of determination of the parameters of linear regression counting we make the minimizing of the quadratic mean defect. The counting this sort contains the probability of some larger defects. Besides the little increasing of the absolute mean defect and the dispersion of defect we have achieved that the maximum defect of the forecasting is decreased with 30-40 per cent.

ANWENDUNG DES MODELLS DER LINEAREN SPEICHERKASKADE MIT BERÜCKSICHTIGUNG VON RÜCKSTAUEFFEKTEN AN DER ODER

MESSAL, H.

Institut für Wasserwirtschaft, Berlin, DDR

Anwendung des Modells der linearen Speicherkaskade mit Berücksichtigung von Rückstauwirkungen an der Oder

Das Modell der linearen Speicherkaskade mit Berücksichtigung von Rückstauwirkungen (kurz: rückgestaute lineare Speicherkaskade: RLSK) ist ein konzeptionelles Modell und erweitert das KALININ-MILJUKOV-Konzept (bzw. die bekannte Nash-Kaskade) um einen Rückstauparameter. Das Modell wurde am Teilabschnitt Eisenhüttenstadt-Kietz der Oder angepaßt und getestet. Die RLSK kann wahlweise Wasserstände oder Durchflüsse am oberen und unteren Rand als Eingabewerte verwenden. Im genannten Flußabschnitt kamen Wasserstände am Systemeingang bzw. -ausgang zur Anwendung, berechnet wurden aber sowohl Wasserstände als auch Durchflüsse für den Vorhersagepegel Frankfurt/Oder ohne Anwendung der klassischen Wasserstands-Durchflußbeziehung. Die Querprofilaten für die Pegel sind oft nicht repräsentativ für den gesamten modellierten Flußabschnitt (z.B. bei Vorhandensein von Brücken). Es wird eine einfache Methode vorgestellt, solche "gestörten" Profile in fiktive, das Systemverhalten besser beschreibende Profile zu transformieren.

Application of the linear cascade model with special reference to backwater effects at the river Oder

The linear cascade model with special reference to backwater effects is a conceptual model which supplements the KALININ-MILJUKOV-concept (i.e. the famous NASH-cascade) by a backwater parameter. The model was calibrated and tested at the river Oder between the towns of Eisenhüttenstadt and Kietz. The model can use either water levels or discharges at the upper and lower boundary conditions as input values. In the mentioned river section water levels were used as system inputs and outputs and both, water levels and discharges, were computed for the forecasting gauge at Frankfurt/Oder without using the classical rating curve. Available cross-section data for river gauges are often not representative for the whole river section to be modelled (e.g. where piers stand in the river). A simple method is presented to transform such "disturbed" cross-sections into fictive ones that describe the system behaviour better.

1. Modellkonzept

Das Modell der linearen Speicherkaskade mit Berücksichtigung von Rückstauwirkungen (kurz: rückgestaute lineare Speicherkaskade: RLSK) ist ein konzeptionelles Modell und erweitert das Kalinin-Miljukov Konzept (bzw. die bekannte Nash-Kaskade) um einen Rückstauparameter a . Die energetische Grundgleichung der RLSK lautet

$$q_i(t) = s_i(t) / k - a * s_{i+1}(t) / k \quad (1)$$

mit: $q_i(t)$ - Durchflußfunktion des i . Speicherelementes
 $s_i(t)$ - Speicherinhaltsfunktion des i . Speicherelementes

- k - Speicherkonstante eines Elementes der RLSK
 a - Rückstauparameter der RLSK ($0 \leq a \leq 1$).

Als konzeptionelles Modell wäre die Anwendung der RLSK sowohl in Verbindung mit einem hydrologischen Einzugsgebietsmodell als auch als Flußlaufmodell denkbar. Bei der Nutzung als Vorhersagemodell ist Flußlauf eignet sich die RLSK prinzipiell zur Anwendung eines Kalman-Filters bei Nachführungsrechnungen (updating), da das Modell systemtheoretisch abgeleitet wurde.

Die RLSK kann wahlweise Wasserstände oder Durchflüsse am oberen und unteren Rand als Eingabewerte verwenden. Im Falle von Wasserständen werden diese in Speicherinhaltswerte $si(t)$ umgerechnet

$$si(t) = Ai(wi(t)) * L / (n + 1) \quad (2)$$

- mit: $si(t)$ - Speicherinhaltsfunktion des i. Speicherelementes
 $wi(t)$ - Wasserstandsfunktion des i. Speicherelementes
 $Ai(wi(t))$ - Fließflächenfunktion des i. Speicherelementes
 n - Anzahl der Speicherelemente der RLSK
 L - Entfernung zwischen oberer und unterer Randfunktion.

Die allgemeine Vorhersagegleichung für die gesamte RLSK lautet

$$\underline{X}(t + \Delta t) = \underline{\Phi}(\Delta t) * \underline{X}(t) + \underline{\Omega}(\Delta t) * (\underline{V} * \underline{U}(t) + (1 - \underline{V}) * \underline{U}(t + \Delta t)) \quad (3)$$

mit: $\underline{X}(t)$ - Zustandsvektor (Durchflüsse $qi(t)$ oder Speicherinhaltswerte $si(t)$ für $i = 1..n$)

$\underline{U}(t)$ - Vektor der Randfunktionen (Durchflüsse $qj(t)$ oder Speicherinhaltswerte $sj(t)$ mit $j = 0$ und $j = (n+1)$ unter Berücksichtigung von Gl. (2) $wj(t) \rightarrow sj(t)$)

$\underline{\Phi}$ - Übergangsmatrix ($\underline{\Phi} = \underline{\Phi}(a, k, n, \Delta t)$)

$\underline{\Omega}$ - Transformationsmatrix für Randfunktionen

($\underline{\Omega} = \underline{\Omega}(a, k, n, \Delta t)$)

$\underline{V}$ - Wichtungsfaktor für Einfluß der Vorhersagewerte der Randfunktionen ($0 \leq \underline{V} \leq 1$)

Δt - Vorhersagezeitintervall

Die Berechnung der Matrizenelemente $\varphi_{i,j}$ mit $i = 1..n$ und $j = 1..n$ sowie $\omega_{i,l}$ mit $i = 1..n$ und $l = 1, 2$ aus den Parametern a, k, n und Δt kann MESSAL, BECKER, SZÖLLÖSI-NAGY, 1984, entnommen werden.

Wurden als Randfunktionen Durchflüsse verwendet, so erhält man für den Vorhersagepegel ($i = p$) Durchflüsse $qp(t + \Delta t)$. Im Falle von Wasserständen als Randfunktionen erhält man sowohl Wasserstandsvorhersagen durch die Umkehrung der Gl. (2)

$$wp(t + \Delta t) = Bp(sp(t + \Delta t)) * (n + 1) / L \quad (4)$$

mit: Bp - inverse Fließflächenfunktion des p. Speicherelementes als auch Durchflußvorhersagen $qp(t + \Delta t)$ unter Anwendung von Gl. (1), d.h. ohne Verwendung einer Wasserstands-Durchfluß-Beziehung. Die Nutzung von Wasserständen bedingt aber das Vorhandensein von Querschnittsdaten des Flußbettes für den oberen und unteren Rand sowie für den Vorhersagepegel.

Da die Speicherkonstante k der RLSK in direkter Proportionalität zur Schwerpunktlaufzeit steht, bei größerer Speicheranzahl n aber verkleinert werden muß, empfiehlt es sich, zwischen der Speicherkonstante k eines Elementes und k^0 der gesamten RLSK zu unterscheiden und bei Anpassungsrechnungen nur k^0 zu verändern. Zwischen beiden gilt dann folgende Beziehung

$$k = k^0 / n \quad (5)$$

2. Anwendung der RLSK als einstufiges Flußlaufmodell

Die RLSK kann als konzeptionelles Modell sowohl in ein hydrologisches Einzugsgebietsmodell integriert werden als auch Anwendung als Flußlaufmodell finden. Im vorliegenden Fall wurden Anpassungsrechnungen für die RLSK als einstufiges Flußlaufmodell ohne seitliche Nebenflüsse am Teilabschnitt Eisenhüttenstadt-Kietz der Oder durchgeführt mit Eisenhüttenstadt (0 km) als oberem und Kietz (60.7 km) als unterem Rand sowie Frankfurt/Oder (29.8 km) als Vorhersagepegel. Die Oder zeigt in diesem Abschnitt Rückstauverhalten, wenn auch ein nicht allzu starkes. Die Berechnungen erfolgten mit dem Programmsystem HYDRA, OPPERMAN, 1989, so daß für die Wasserstandsganglinien zu Vergleichszwecken auch die errechneten Werte eines nichtlinearen hydraulischen Modells herangezogen werden konnten.

Als Randfunktionswerte dienten ausschließlich Wasserstände, berechnet wurden jedoch sowohl der Wasserstand als auch der Durchfluß in Frankfurt/Oder. Als Meßwerte für den Durchfluß wurden dabei die Jahrbuch-Werte von Eisenhüttenstadt zugrunde gelegt.

Da die Translationszeit von Eisenhüttenstadt nach Frankfurt/Oder ca. 12 h beträgt, als Taktzeit Δt (extern) aber 1 Tag gewählt werden mußte, wurde mit einem modellinternen Intervall von 6 h gearbeitet, wobei die Randfunktionswerte linear interpoliert wurden.

Die Anpassungsrechnungen erfolgten nach der "trail-and-error"-Methode, da ein Verfahren zur Parameterbestimmung noch nicht entwickelt wurde und sich die Anwendung eines Optimierungsverfahrens aus verschiedenen Gründen, auf die noch eingegangen wird (Abschn. 4 und 5), zunächst als nicht sehr sinnvoll erwies. Die Abb. 1 und 3 zeigen die Simulationsergebnisse hinsichtlich des Wasserstandes mit einem konstanten mittleren Parametersatz ($a=0.5$; $n=20$; $k^*=0.319$ bzw. $k=0.0160$), ermittelt aus 5 verschiedenen Hochwasserereignissen. Abb. 2 zeigt die Durchflußsimulation für Ereignis 6/80 sowohl für den genannten mittleren Parametersatz als auch für das ereignisoptimale Tripel hinsichtlich der Speicherkonstante k^* ($a=0.5$; $n=20$; $k^*=0.345$ bzw. $k=0.0173$). Man kann sehen, daß k^* nur bei Ereignisbeginn nachgeführt werden mußte.

Die Parameteranpassungen erfolgten stets so, daß ein Parameter-Tripel jeweils nur dann akzeptiert wurde, wenn sowohl die Wasserstands- als auch die Durchflußganglinie gleichzeitig eine hohe Anpassungsgüte aufwies, um die Anzahl der Bedingungen für den Lösungsraum zu erhöhen. Die jeweils besten Anpassungen wurden mit künstlich veränderten Querschnittsdaten für die Flußlaufprofile in Frankfurt/Oder und Kietz erzielt (s. Abschn. 5).

3. Simulation eines extremen, fiktiven Hochwasserereignisses mit starkem Rückstau effekt

Trotz der Tatsache, daß unterhalb des unteren Randes (Kietz) die Warta in die Oder mündet, sind die Rückstauwirkungen in Frankfurt/O gering, da die Warta eine sehr ausgeglichene Wasserführung aufweist, die vorhandenen Ereignisse keinen Fall "Oder wenig - Warta viel Wasser" beinhalten und die Rückstauverhältnisse in der Oder in diesem Abschnitt ohnehin nicht sehr groß sind. Um die Rückstauwirkung der RLSK zu demonstrieren, wurde in Kietz ein extremer fiktiver Wasserstandsimpuls (24.6.80, s. Abb. 4a) angenommen. Abb. 4a bzw. 4b zeigen die resultierende Wasserstands- bzw. Durchflußgang-

linie in Frankfurt/Oder. Wie man sieht, bewirkt der in Abschn. 3 erwähnte mittlere Parametersatz ($a=0.5$; $n=20$; $k^*=0.319$ bzw. $k=0.0160$) keinen sichtbaren Rückstau effekt. Bei $a=0.9$ tritt dagegen eine deutliche Wirkung stromauf in Erscheinung. Weiterhin sieht man, daß sich die Variation von n auf die Größe des Einzelpulses am 24.6. relativ stark, auf die Hauptwelle dagegen kaum auswirkt.

4. Erkenntnisse aus den Berechnungen zur Parameteranpassung

Bei der Anpassung von 5 Hochwasserereignissen wurde deutlich, daß sich zu jedem vorgegebenen Wert a (von 0.01 bis 0.95) und einem n (1..2) eine Speicherkonstante k^* finden läßt, die eine etwa gleichwertige Anpassungsgüte gewährleistet. Das ist eigentlich physikalisch begründbar, da Reibung, vertreten durch k , durch Rückstau, vertreten durch a , ersetzt werden kann und umgekehrt. Das gilt auch für nichtlineare hydraulische Modelle. Ein eindeutiger Wert für a ließ sich nicht bestimmen, da in den Beobachtungsdaten kein Ereignis, wie z.B. in Abb. 4 dargestellt, enthalten war. Vergleicht man die optimalen k^* -Werte untereinander, gilt näherungsweise folgende empirische Beziehung

$$k^* \approx (((1 + 1/n) \cdot (2 \cdot n)) / (e^{*2})) \cdot \text{FAK} \cdot \text{TL} \cdot (1 - a) \quad (6)$$
 mit: TL - Schwerpunktlaufzeit vom oberen Rand zum Vorhersagepegel
FAK - konstanter Faktor (hier aufgetreten mit $\text{FAK} \approx 1.3$)

Aus Gl. (6) wird ersichtlich, k^* stabilisiert sich für große n bei jeweils konstantem a , sofern ein numerisch zulässiger oberer Grenzwert für n nicht überschritten wird. Letzters resultiert aus der Berechnungsformeln für Φ und Ω , bei denen bereits mit 8-byte-Worten gearbeitet wurde, und tritt bei kleinem a in Erscheinung (z.B. bei $a=0.01$ muß gelten: $n \leq 30$). Die optimalen k^* -Werte waren im vorliegenden Fall kleiner 1. Für $\Delta t \ll k^*$ würde man sich sicher dem globalen Optimum des Parametertripels der RLSK nähern. Die Sensitivität von k^* auf den Wasserstand war im vorliegenden Fall relativ klein, auf den Durchfluß dagegen relativ groß. Bei Nachführungsrechnungen (updating) sollte nur k^* optimiert werden, da es die unterschiedlichen rauhigkeitsbedingten Fließzeiten beschreibt.

Bei großem a (z.B. $a > 0.8$), traten bei zu kleinem n numerische Schwingungen auf, beispielsweise bei ($a=0.9$; $n=5$; $k^*=0.06$). Wählte man $n=20$, so verschwanden diese. Eine weitere Erhöhung der Zahlen Genauigkeit würde hier sicherlich Abhilfe schaffen.

5. Aspekte bei der Nutzung von Querprofildaten des Flußbettes

Betrachtet man Abb. 1 und 3, so stellt man fest, daß die Güte der Anpassung mit originalen Querprofilen nicht ausreichend ist. Die Profile sind singulär und nicht repräsentativ für den ihnen jeweils zugeordneten Flußabschnitt. Es konnte bei der Zugrundelegung dieser Querschnittsdaten kein Parametertripel der RLSK gefunden werden, mit dem eine ausreichende Anpassung gewährleistet werden kann, da die RLSK die physikalische Größe "Geschwindigkeit" nicht enthält. Aus diesem Grunde wurden die Querschnittsdaten für die Pegel Frankfurt/Oder und Kietz künstlich verändert. Der Erfolg war unverkennbar (vergl. Abb. 1 und 3), so daß alle weiteren Anpassungen mit der veränderten Datensätzen durchgeführt wurden.

Ein nichtlineares hydraulisches Modell bietet in der Regel andere Möglichkeiten. So werden häufig weitere, zwischen den Pegeln lie-

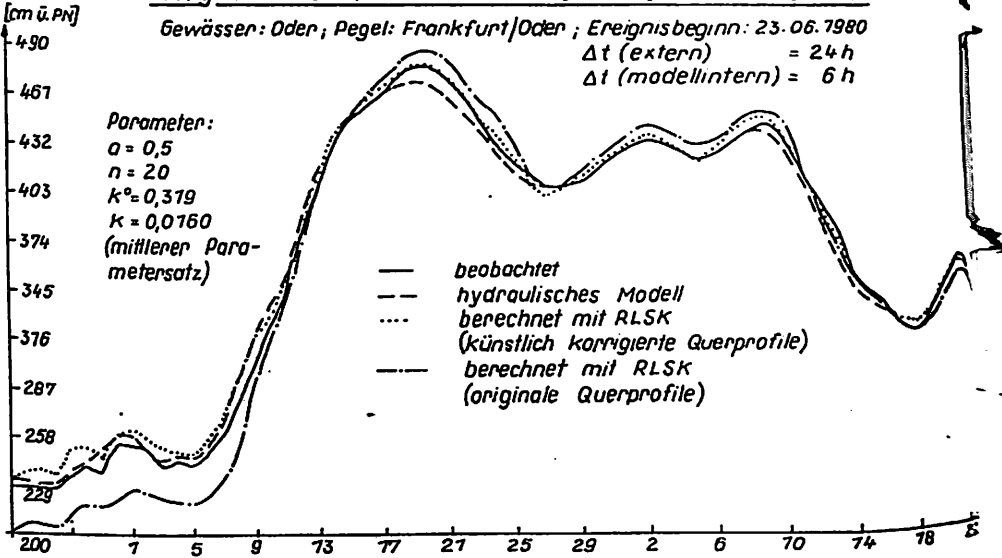
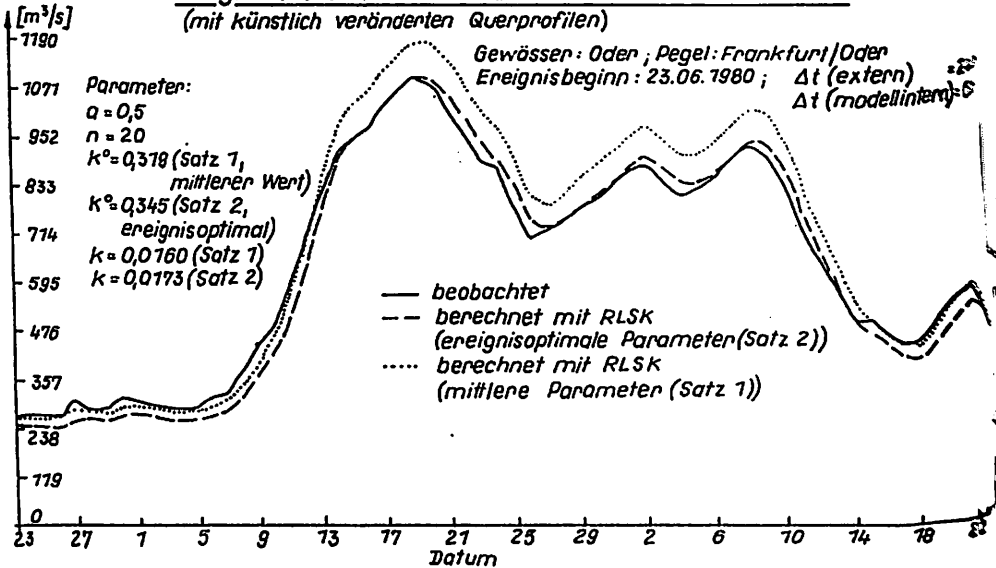
gende Querschnitte einbezogen. Für jeden dieser Teilabschnitte können dann weiterhin unterschiedliche Fließfaktoren angenommen werden. Dieses Verfahren führt zum Erfolg, obwohl auch hier künstliche Änderungen nicht unbedingt durch natürliche Gegebenheiten gerechtfertigt werden können. Dem Erfolg steht allerdings der große Datenerfassungs- und Optimierungsaufwand gegenüber.

Der Vorteil der konzeptionellen Modelle besteht in ihrer Einfachheit. Der Datenaufwand für drei Profildatensätze bei der Wasserstands-RLSK ist ohnehin schon recht groß. Deshalb wurde das bereits erwähnte einfache Verfahren zur künstlichen Korrektur der Querschnittsdaten angewendet. Zunächst wählt man sich von den drei Pegelquerschnitten denjenigen aus, welcher am zuverlässigsten erscheint und als Bezugsprofil dienen sollte. Aus einer Vielzahl von zur Verfügung stehenden Ereignissen sucht man sich über den gesamten Bereich der Wasserführung untereinander korrespondierende Wasserstände heraus, angefangen bei Niedrigwasserereignissen, stationären Phasen im Mittelwasserbereich, Scheiteldurchflußwerten bei Hochwasser sowie den Tiefstwerten zwischen jeweils zwei Scheiteln bei mehrgipfligen Ereignissen. Für beide zu verändernde Pegelquerschnitte geht man jeweils folgendermaßen vor. Beginnend mit den niedrigsten Wasserständen berechnet man sich die Fließfläche des Bezugspegels und verändert die zum korrespondierenden Wasserstand gehörende Breite des zu verändernden Profils solange, bis in etwa die gleiche Fließfläche entsteht. Das wiederholt man stufenweise bis zum höchsten Wasserstand. Bedingt durch die Dispersion der Welle im Flußlauf korrespondieren die Wasserstände im Hochwasserbereich nur teilweise miteinander. Aus diesem Grunde werden sich bei den sich anschließenden Simulationsrechnungen im oberen Wasserstandsbereich wieder Abweichungen offenbaren, die durch keine Parameterveränderungen beseitigt werden können. Deshalb sind in diesem oberen Bereich die Fließbreiten der betreffenden beiden Pegel weiterhin so zu verändern, bis eine Anpassung der Wasserstandsganglinie am Vorhersagepegel bei alleiniger Variation der Modellparameter der RLSK zumindest bei einem Hochwasserereignis gelingt. Wenn vorhanden, sollte die Durchflußganglinie wieder hinzugezogen werden, um eine unnötige Drift von k^0 zu vermeiden.

Ob das beschriebene Verfahren bei seiner hier erfolgten Anwendung bereits das Optimum der repräsentativen künstlichen Querschnittsdaten ermitteln ließ, bleibt offen. Sicherlich sind noch kleinere Genauigkeitsverbesserungen erzielbar. Die hier bereits erzielte Verbesserung der Anpassungsgüte spricht allerdings für die Anwendung des Verfahrens. Künftig sollte eine Einbeziehung der Profildaten bei der Parameteroptimierung erprobt werden.

Literatur

- MESSAL, H., BECKER, A., SZOLLOSI-NAGY, A., 1984, "Lineares Speicherkaskadenmodell mit Erfassung von Rückstauwirkungen und verallgemeinerte Lösungsdarstellung", XII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Beitr. 2-27, Bratislava, Aug. 1984;
- OPPERMANN, R., 1989, "Eindimensionale Simulation allmählich veränderlicher instationärer Fließvorgänge in Gewässernetzen", Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, (1989) 50, Verlag für Bauwesen, Berlin;

Abb. 1 : Vergleich beobachteter und berechneter WasserständeAbb. 2 : Vergleich beobachteter und berechneter Durchflüsse
 (mit künstlich veränderten Querprofilen)

[cm ü NN]

Abb.3 : Vergleich beobachteter und berechneter Wasserstände

Ereignisbeginn: 6.12.1985

Gewässer : Oder

Pegel : Frankfurt / Oder

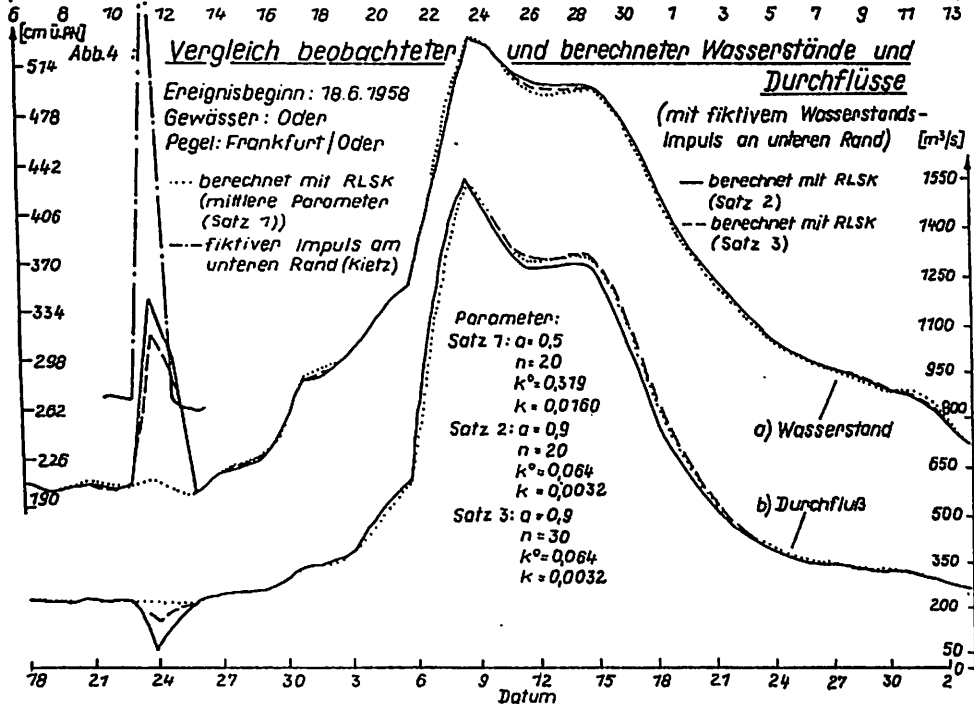
 $\Delta t(\text{extern}) = 24 \text{ h}$ $\Delta t(\text{modellintern}) = 6 \text{ h}$

Parameter:

 $a = 0,5$ $n = 20$ $k^0 = 0,319$ $k = 0,0160$

(mittleren Parameter-Satz)

- beobachtet
- - - hydraulisches Modell
- ... berechnet mit RLSK (künstlich korrigierte Querprofile)
- - - berechnet mit RLSK (originale Querprofile)



LONG RANGE FORECASTS OF THE WATER INFLOW
INTO RESERVOIR ON THE MOUNTAIN RIVER

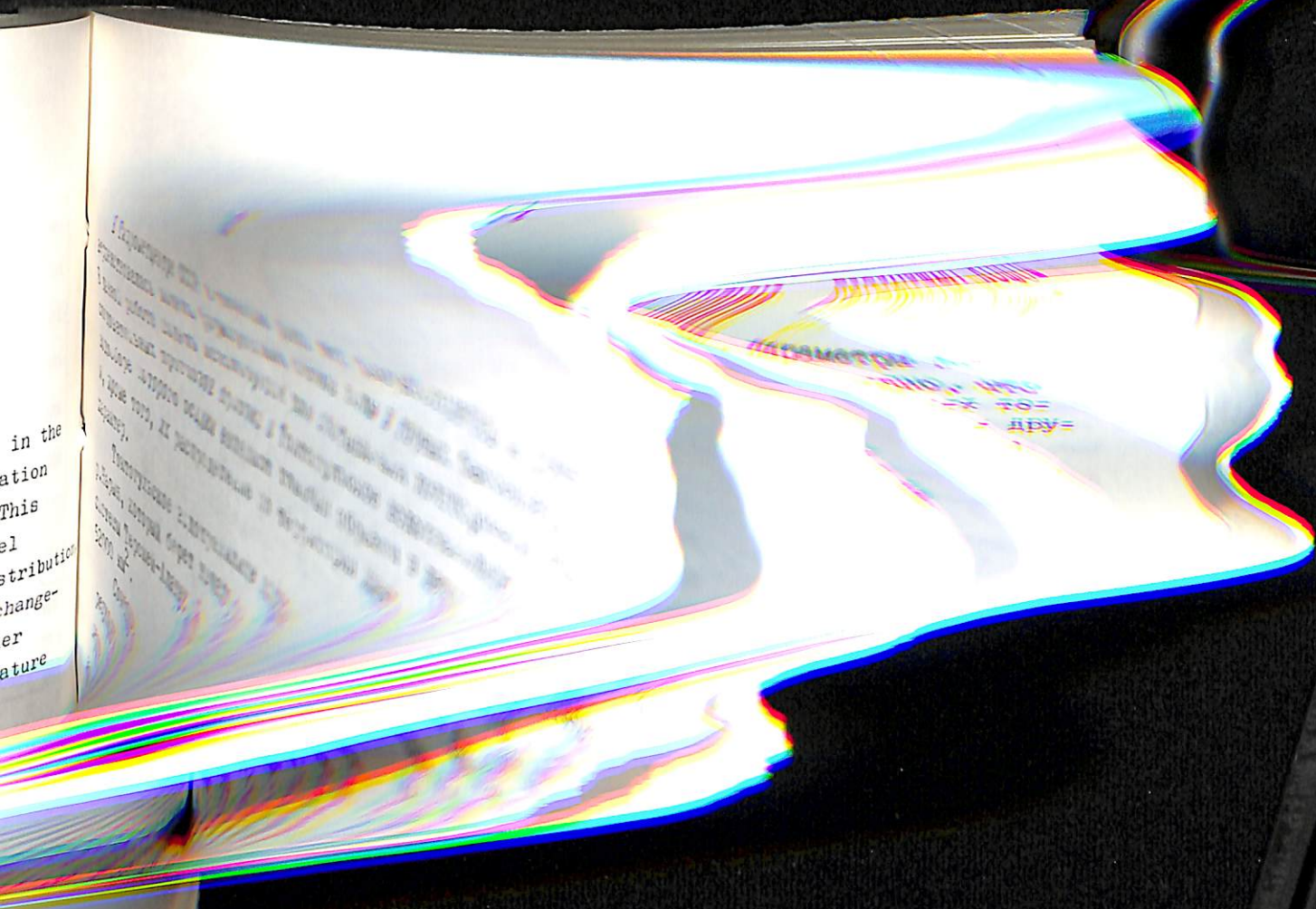
MUHIN V.M.

ABSTRACT

It is proposed the model of runoff formation in mountains and the method of the hydrograph calculation and the forecast of water inflow into reservoir. The method is based on the model application. The model takes into consideration an unevenness of snow distribution, temperature inversion in the mountains, seasonal variability of the transformation parameters and other factors of runoff. Decade data about an air temperature and precipitation are used.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ПРОТОКА

in the
ation
This
el
tribution
change-
er
ature



LONG RANGE FORECASTS OF THE WATER INFLOW INTO RESERVOIR ON THE MOUNTAIN RIVER

MUHIN V.M.

ABSTRACT

It is preposed the model of runoff formation in the mountains and the method of the hydrograph calculation and the forecast of water inflow into reservoir. This method is based on the model application. The model takes into consideration an unevenness of snow distribution, temperature inversion in the mountains, seasonal changeability of the transformation parameters and another factors of runoff. Decade data about an air temperature and precipitation are used.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА ГОРНОЙ РЕКЕ

Мухин В.М.
Гидрометцентр СССР
Москва, СССР

Р Е З Ю М Е

Предлагается модель формирования стока в горах и основы ее применения метод расчета гидрографа и прогноза притока воды в водохранилище. В модели учитываются неравномерность распределения снега, температурная инверсия в горах, сезонная изменчивость параметров трансформации и другие факторы стока. Используются декадные данные о температуре воздуха и осадках.

В Гидрометцентре СССР в течение ряда лет разрабатывалась и усовершенствовалась модель формирования стока воды в горных бассейнах. В данной работе модель используется для составления долгосрочных последовательных прогнозов притока в Токторульское водохранилище, на водосборе которого осадки выпадают главным образом в летний период и, кроме того, их распределение по территории имеет очень сложный характер.

Токторульское водохранилище находится в 635 км от истоков р. Нарын, который берет начало среди высоких хребтов (более 5000 м) системы Терской-Алатау. Площадь водосбора водохранилища составляет 52000 км².

Сочетание особенностей рельефа и климата в бассейне вызывает регулярно возникающее с октября до начала апреля нарушение закономерного уменьшения температуры воздуха с высотой — температурная инверсия. При наличии снега радиационные и орographicеские инверсии усиливаются антициклональными барическими образованиями, характерными здесь для холодного периода, и получают значительное вертикальное развитие — до высоты 1–3 км. Такие инверсии отхватывают, как правило, значительную часть бассейна. На рис. 1 представлен график внутригодового хода вертикальных градиентов температуры ниже () и выше (γ_a) высоты, равной 2.5 км. Как видно, γ_n изменяется в среднем от 6° до 0°С/км, а γ_a — от 6° до 13°С/км.

Исследования особенностей распределения осадков по территории производились путем анализа следующих их характеристик:

1) поля сумм осадков с октября по март и с апреля по сентябрь для каждого года и среднемноголетних; 2) картограммы корреляционных связей между перечисленными суммами осадков на всех станциях между собой с притоком в водохранилище; 3) картограммы величин собственных векторов корреляционных матриц полей сумм осадков за названные периоды; 4) графиков зависимостей среднемноголетних месячных и годовых сумм осадков от высоты с привлечением данных суммарных осадкомеров и величин годовой абляции на границе питания ледников.

Абляция на границе питания ледников, которую без существенных погрешностей отождествляют с фирновой линией /5/, приближенно равна накоплению осадков в виде снега на ней. Это позволяет по средней многолетней температуре за теплый сезон (θ) рассчитать величину выпавших за год осадков на фирновой линии /5/

$$A = (\theta + 9,5)^3, \quad (I)$$

где A — величина абляции за год, мм.

Комплексный анализ распределения осадков по территории разделить ее на три региона с четко выраженными зависимостями количества осадков от высоты.

Для расчета количества осадков выпадающих в бассейне, была аппроксимация зависимостей осадков от высоты с помощью точной формулы, которая приводится в работе /1,3/.

В данной работе вместо среднесуточной температуры и суммы осадков использовались их декадные значения. При вторичной обработке значительно сокращается банк необходимых данных и упрощается создание и обработку. При этом возникает ряд вполне разрешимых проблем. Для учета вероятности выпадения осадков в твердом виде к декаде среднедекадной температуры и высоты применен способ, разработанный в /2/. Количество осадков в твердом виде $X_T(H, \theta, t)$ за данную декаду вычисляется с помощью следующего выражения

$$X_T(H, \theta, t) = \frac{X(H, t)}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf}(\theta_i) + [T_0 - \bar{\theta}(H, t)] [\operatorname{erf}(\theta_0) - \operatorname{erf}(\theta)] \right\} - \left\{ 0,40 \frac{6}{T_0 - T_1} [\exp(-\theta_1^2) - \exp(-\theta_0^2)] \right\},$$

$$\text{где } \theta_i = \frac{T_i - \bar{\theta}}{6\sqrt{2}}, \quad \operatorname{erf}(\theta_i) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\theta_i} e^{-t^2} dt, \quad i = 0, 1;$$

6 — среднее квадратическое отклонение среднесуточных температур воздуха от среднедекадного значения $\bar{\theta}$; $T_0, T_1, \theta_0, \theta_1$ — пороговые температуры.

Для расчета интенсивности снеготаяния применялись два слоя. В первом слое таяния за декаду (h_T) вычисляется по формуле, принятой для суточного таяния в работе /6/

$$h_T = \alpha (\theta - \theta_0)^\beta \cdot 10,$$

где θ_0 — температура воздуха начала таяния; α и β — параметры.

Однако (3) для бассейна р. Нарын давала завышенные результаты в начальный период таяния. Поэтому был получен другой приближенный ход. Установленные связи между средней декадной температурой и положительными среднесуточными температур ($\sum \theta_+^c$) за те же декады описаны выражениями линейного вида.

$$\sum \theta_+^c = \theta + 5^0 \quad \text{при} \quad \theta = -5^0 \div 0^0 \text{C}$$

$$\sum \theta_+^c = 9\theta + 5^0 \quad \text{при} \quad \theta = 0^0 \div 5^0 \text{C},$$

$$\sum \theta_+^c = 10\theta \quad \text{при} \quad \theta > 5^0 \text{C}$$

В методе расчета снеготаяния учитываются вододерживающая способность снега и неравномерность его залегания по высоте бассейна и в пределах каждой высотной зоны. Подробное описание алгоритма содержится в работе /3,4/. Поэтому ниже приводится лишь основное уравнение, являющееся аппроксимацией эмпирической интегральной кривой распределения $P(S, h)$ запасов воды в снежном покрове S в пределах 500-метровой высотной зоны.

$$P(S, h) = \exp[-(S + S_p \ln M - h)/S_p], \quad (0 \leq h \leq S_p \ln M), \quad (5)$$

h — величина слоя станования снега или слоя поступления осадков на поверхность снега, мм; S_p — параметр, зависящий от рельефа и численно равный среднему слою воды в снежном покрове в высотной зоне, при котором она полностью покрывается снегом, мм; M — параметр, равный 100.

Для бассейна Нарына величины S_p подбирались. Они оказались меньше найденных ранее для других рек, так как в бассейне Нарына значительную долю площади занимают всхолмленные пространства, плоскогорья, несмотря на его большую среднезвешенную высоту.

Процесс стекания воды к заикающему створу описывался с помощью двухобъемной линейной модели /3,4/, но с учетом изменчивости ее параметров внутри периода вегетации. Для этого параметры определялись для каждого месяца, а затем их закономерное изменение по месяцам аппроксимировалось путем подбора линейных выражений. Окончательное выражение для расчета гидрографа приводится ниже

$$Q(t) = (0,04 M_1 - 0,13) Q(t-2) + (0,05 M_1 - 0,08) Q(t-1) + (0,15 - 0,03 M_2) q(t-2) + \\ + (0,05 M_3 - 0,5) q(t-2) + (0,24 - 0,03 M_4) q(t-1) + (0,14 M_4 - 0,49) q(t) +$$

$$+ (0,90 - 0,09 M_5) q(t), \quad (6)$$

где $Q(t)$, $Q(t-1)$, $Q(t-2)$ — декадный приток в водохранилище, м³/с; $q(t)$, $q(t-1)$, $q(t-2)$ — поступления воды на поверхность бассейна в соответствующую декаду, м³/с; $M_1 + M_5$ — календарные номера месяцев периода вегетации: $M_1 = 4+9$ (при $t = 19+36$); $M_2 = 4+7$ (при $t = 19+30$); $M_3 = 8+9$ (при $t = 31+36$); $M_4 = 4+6$ (при $t = 19+27$); $M_5 = 7+9$ (при $t = 28+36$). Номерация декад t производится от I-ой декады октября предыдущего года по 3-ью декаду октября текущего года.

Сопоставление рассчитанных по метеорологическим данным и фактических гидрографов, обнаруживает тесную связь между ними ($S/6 = 0,4$), а также удовлетворительное совпадение дат прохождения льков паводков

(65% по максимальным пикам за период половодья) и их высоты (по максимальным за половодье средняя ошибка - 20%, максимум - 10%). Анализ погрешностей рассчитанных гидрографов позволяет считать, что разработанная модель дает возможность путем удлинения коротких гидрологических рядов, восполнения пропусков в них, повысить надежность расчетных характеристик этих рядов. Кроме того, с помощью модели можно получать по метеорологическим данным характеристики распределения стока внутри периода вегетации, а также рассчитывать вероятное влияние на сток гипотетических сочетаний погодных либо климатических условий и применять их для составления различного вида гидрологических прогнозов вероятностном виде.

Для составления долгосрочных прогнозов стока разработана модель трансформации, чем (6). Она содержит меньшее число параметров, требующих оптимизации их величины:

$$(Q_{t+\delta} - Q_B) - (Q_t - Q_B) \exp(-\mathcal{L}\delta) = f(Q_{t-d}, Q_{t+\delta}),$$

где Q_B - расход базисного стока; Q_t - средний расход за период (декада, месяц), в конце которого составляется прогноз (t); δ - период заблаговременности; $\mathcal{L}$ - параметр, характеризующий емкость бассейна и определяемый по нижней отгибающей связи $Q_{t+\delta} = f(Q_t)$. Аргументы правой части уравнения (7) рассчитываются с помощью модели формирования (накопления и таяния) снежного покрова: первый - расход воды за один из месяцев (или декаду), предшествующих моменту составления прогноза; второй - является функцией средневзвешенных площади бассейна снеготанисов (SF_t), т.е. $Q_{t+\delta} = f(SF_t)$.

Общий вид уравнений для прогноза притока за период ($Q_{t+\delta m}$) в m месяце (квартал или часть периода вегетации) можно представить исходя из (7), так:

$$\bar{Q}_{t+\delta m} - \frac{1}{\delta m} Q_t \sum_{i=1}^{i=\delta m} \exp(-\mathcal{L}i) - [1 - \exp(-\mathcal{L}i)] Q_B = f(Q_{t-d}, Q_{t+d}),$$

где δm - период заблаговременности; i - порядковый номер месяца в периоде заблаговременности, $i = 1 + \delta m$.

Уравнения (7) и (8) после соответствующих преобразований в виде записываются одинаково

$$Q_{t+\delta} = bQ_t + (1-b)Q_B + a_1Q_t + a_2Q_{t+\delta}(SF_t) + c,$$

где b - параметр, зависящий от $\mathcal{L}$ и вычисляемый независимо заранее; a_1 и a_2 - оптимизируемые параметры.

Ниже приводятся некоторые примеры полученных уравнений: для прогноза на месяц

$$Q_{VI} = 0,16 Q_{IV} + 0,84 Q_B + 7,8 SF_V + 0,2 q_V - 113$$

$$Q_{VII} = 0,40 Q_{VI} + 0,60 Q_B + 3,2 SF_{VI} - 34$$

$$Q_{VIII} = 0,40 Q_{VII} + 0,60 Q_B + 0,1 q_{VII} + 70$$

для прогноза на период

$$Q_{IV-VI} = 0,21 Q_{III} + 0,79 Q_B + 3,1 SF_{III} + 153$$

$$Q_{VII-IX} = 0,21 Q_{VI} + 0,79 Q_B + 2,4 SF_{IV} + 0,1 q_{IV} + 169$$

где римские цифры - периоды, к которым относятся обозначенные буквами величины.

Оценка точности проверочных прогнозов произведена с помощью отношения среднеквадратичной ошибки S к среднеквадратической изменчивости предсказываемой величины - G . Наиболее успешными оказались прогнозы с июня по сентябрь - $S/G \approx 0,4$, наименее успешными - апрель-май - $S/G = 0,72$.

Прогнозы притока воды в водохранилище за период имеют оценку $S/G = 0,4 - 0,6$.

Литература

1. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.И. и др. Математическое моделирование процесса стока горных рек // Тр. САНЛМ, 1972, Вып. 61/76./160, с.
2. Глазырин Г.Н. К расчету количества твердых осадков и таяния в горах // Тр. САНЛМ, 1983, Вып. 96/179/, с. 3-12.
3. Мухин В.И., Полунин А.И. Методические указания к разработке метода краткосрочного прогноза расхода воды горной реки на основе модели формирования стока. М. Гидрометеиздат, 1982, 149 с.
4. Мухин В.И. Применение математического моделирования в сочетании с эмпирическими методами в долгосрочных прогнозах стока горных рек // Тр. ГИСССР, 1988, Вып. 295, с. 38-49.
5. Ходаков В.Г. О зависимости суммарной абляции поверхности ледников от температуры воздуха. МГЛ № 7, 1965, с. 48-50.
6. Шенцис Л.Д. К вопросу расчета таяния снежного покрова в горах по температуре воздуха // Тр. САНЛМ, 1983, Вып. 91/172/, с. 3-13.

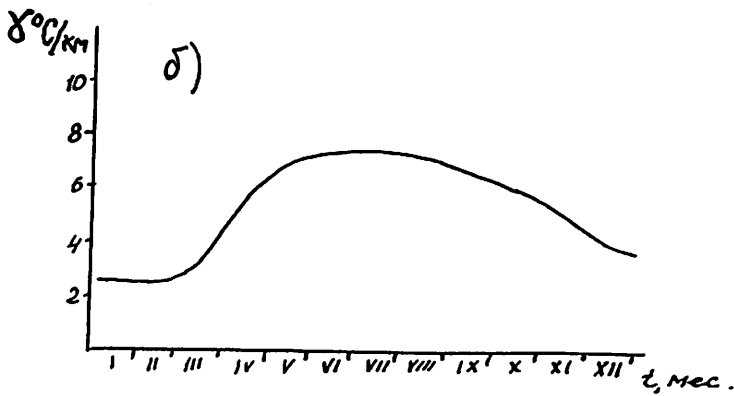
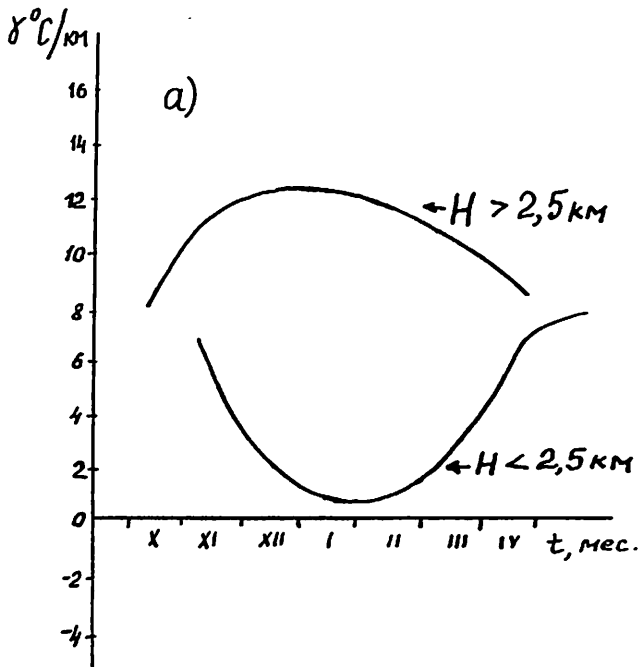


Рис. 1 Внутригодовой ход вертикального градиента температуры воздуха: а) 1 - выше высоты $H = 2,5 \text{ км}$, 2 - ниже высоты $H = 2,5 \text{ км}$; б) среднего по высоте

**2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГНОЗОВ МЕТЕОЭЛЕМЕНТОВ
И ОСОБЕННО КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗАХ**

**NUTZUNG VON PROGNOSEN DER METEOROLO-
GISCHEN ELEMENTE UND INSBESONDERE
DER QUANTITAET DER NIEDERSCHLAEGE
FUER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN**

1907

1. 1. 1907

2.

3.

WETTER-UND KLIEMAT-STATISTIK

DES KÖNIGREICHES SACHSEN

IM SAHRISCHEN KREISE

VERGLEICH DER WETTER-UND KLIEMAT-STATISTIK

DES SAHRISCHEN KREISES

MIT DER WETTER-UND KLIEMAT-STATISTIK

DES SAHRISCHEN KREISES

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

IM SAHRISCHEN KREISE

1. 1. 1907

2.

3.

4.

5.

6.

7.

8.

9.

10.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

21.

22.

23.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЖДЕВОГО СТОКА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПАВОДКОВ

Соседко М.Н., Маслова Т.В., Лукьянец О.И.
Украинский региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт
г.Киев, УССР

РЕЗЮМЕ

Математическая модель формирования дождевого стока представлена в виде системы, состоящей из параллельных подсистем. Неоднородность распределения осадков и условий водообразования учитывается в модели путем самостоятельного расчета его в каждой подсистеме. Прогноз хода стока выдается в виде интервальных оценок различной вероятности на основе предложенной схемы экстраполяции осадков.

An application of a mathematical model of runoff formation with distributed parameters for short-term forecast of floods

ABSTRACT

The mathematical model of the formation of runoff from rainfall is a system consisting of parallel subsystems. Heterogeneities of distribution of rainfall and conditions of water yield is represented by means of independent calculation in each subsystem. Forecast of discharge hydrograph is presented in a form of the interval estimates of various probability and based on the suggested scheme of rainfall extrapolation.

Повышение практической ценности предвычисления паводков на горных реках может быть обеспечено при условии автоматизации наблюдательной сети и использовании прогнозов осадков. При этом необходимо знать наперед распределение осадков по территории, которое существенно влияет на высоту и форму паводковой волны. Поскольку специализированные прогнозы количества осадков отсутствуют, для увеличения заблаговременности прогноза хода стока могут быть привлечены данные о характере вероятного их пространственно-временного распределения в периоды дождей. Такой подход предлагается на примере использования математической модели Дождь-3.

Особенности структуры модели

Описание всего комплекса процессов формирования стока на полном водосборе представляется математической моделью Дождь-3 в виде системы, состоящей из параллельных подсистем. Пространственная неоднородность водообразования на водосборе учитывается путем самостоятельного расчета его на каждой выделенной площади (в подсистемах) по соответствующим исходным данным, средним для этой площади.

В каждой подсистеме, состоящей из трех условных емкостей, осуществляется решение воднобалансовых соотношений, которые учитывают основные элементарные процессы, происходящие на водосборе: испарение, поверхностное задержание, впитывание воды в почву, накопление ее в почвогрунтах, образование генетически разнородных видов стока - поверхностного, подповерхностного и почвенного.

Для оценки водообразования и его распределения на компоненты применяется схема и расчетные выражения (соотношения), описанные в публикациях [2,3,5] и отражающие через свои параметры почвенные, морфометрические и гидравлические свойства частной площади.

В результате действия параллельных подсистем ход стока $Q(t)$ замыкающем створе водосбора рассчитывается как сумма трансформированных водообразований, поступающих с условных емкостей каждой частной площади (рис.1):

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N f_i [Q_{1,i}(t) + Q_{2,i}(t) + Q_{3,i}(t)] + Q_R(t). \quad (1)$$

Здесь f_i - относительный размер i -той частной площади. Остальные символы объяснены на рис.1.

Размерность модели Дождь-3, как системы, то есть количество подсистем, определяется разнообразием условий формирования стока территории водосбора и его конфигурацией. Таким образом, количество подсистем ограничивается лишь целесообразностью пространственной детализации стокообразования и степенью информативности наблюдений на сети [1,4]. Следовательно, характер построения модели и взаимодействие подсистем придает ей свойства системы с распределенными параметрами.

Схема экстраполяции осадков и формы прогнозирования хода стока

Дождевые паводки в Карпатах вызываются ливнями, которые выпадают при фронтально-циклонических ситуациях. В эти периоды наблюдаются

дожди продолжительностью обычно 12-24, иногда до 30-36 ч, которые охватывают площади порядка 15-30 тыс. км².

На основе анализа структуры полей осадков в периоды дождевых паводков, их вероятной изменчивости во времени и по территории предложена схема экстраполяции осадков на предстоящий период. Суть этой схемы состоит в следующем. Исходя из среднего количества осадков $\bar{P}$, зарегистрированного на частной площади за расчетный интервал Δt , оценивается их интенсивность на ближайшие два интервала с применением отношения K_p :

$$\bar{P}(t+2\Delta t, t+\Delta t) = \bar{P}(t+\Delta t, t) = K_p \bar{P}(t, t-\Delta t). \quad (2)$$

Значения отношений K_p принимаются равными от 0,5 до 1,5 в зависимости от задаваемой вероятности изменения интенсивности дождя во времени и по площади водосбора (табл.). При этом вводится ограничение на верхний предел интенсивности (для рассматриваемой местности - 40 мм за 3 ч при вероятности превышения 5%).

Прогнозы хода стока выдаются в виде интервальных оценок (границных значений расходов воды) по двум схемам: (1) при отсутствии сведений о возможной тенденции изменения интенсивности осадков для вероятностей 80, 60 и 50% и (2) при наличии такого предположения в зависимости от предсказанной тенденции изменения интенсивности. На рис. 2 и 3 изображен пример прогноза в интервальных оценках для бассейна р. Опора (площадь 733 км²).

Литература

1. Соседко М.Н. Оценка точности расчета гидрографа с помощью функций влияния при неравномерном распределении водообразования по площади речного бассейна. - Труды УкрНИГМИ, 1982, вып. 190, с. 17-34.
2. Соседко М.Н. Оценка составляющих водного баланса при математическом моделировании процессов формирования дождевого стока. - Материалы XII Конференции Придунайских стран по гидрологическим прогнозам. Том. 2. Братислава, 1984, 36(1-9).
3. Соседко М.Н. Из опыта идентификации математической модели формирования дождевого стока на горных водосборах. - Труды УкрНИИ Госкомгидромета, 1985, вып. 201, с. 40-50.
4. Соседко М.Н. Способ идентификации частных бассейновых функций влияния на основе взаимосвязи их параметров. - Труды УкрНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 217, с. 91-100.

5. Соседко М.Н., Панайотов Т., Янков В. Методика идентификации параметров математической модели формирования дождевого стока на горных водосборах. – Проблемы на метеорологията и хидрологията, София, 1987, с.35-44.

Таблица

Схема экстраполяции осадков
на период заблаговременности прогноза
(граничные значения отношений K_p)

Характеристики изменения интенсивности дождя	Значения K_p при				
	2 частных площадах		3 частных площадах		
	I	2	I	2	3
Схема I					
Вероятность 80%	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Вероятность 60%	1.0	1.5	1.0	1.25	1.5
	1.5	1.0	1.5	1.25	1.0
	0.5	1.0	0.5	0.75	1.0
	1.0	0.5	1.0	0.75	0.5
Вероятность 50%	0.5	1.5	0.5	1.0	1.5
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.5	0.5	1.5	1.0	0.5
Схема 2					
Усиление	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.0	1.5	1.0	1.25	1.5
	1.5	1.0	1.5	1.25	1.0
Сохранение	0.5	1.5	0.5	1.0	1.5
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.5	0.5	1.5	1.0	0.5
Снижение	0.5	1.0	0.5	0.75	1.0
	1.0	0.5	1.0	0.75	0.5
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

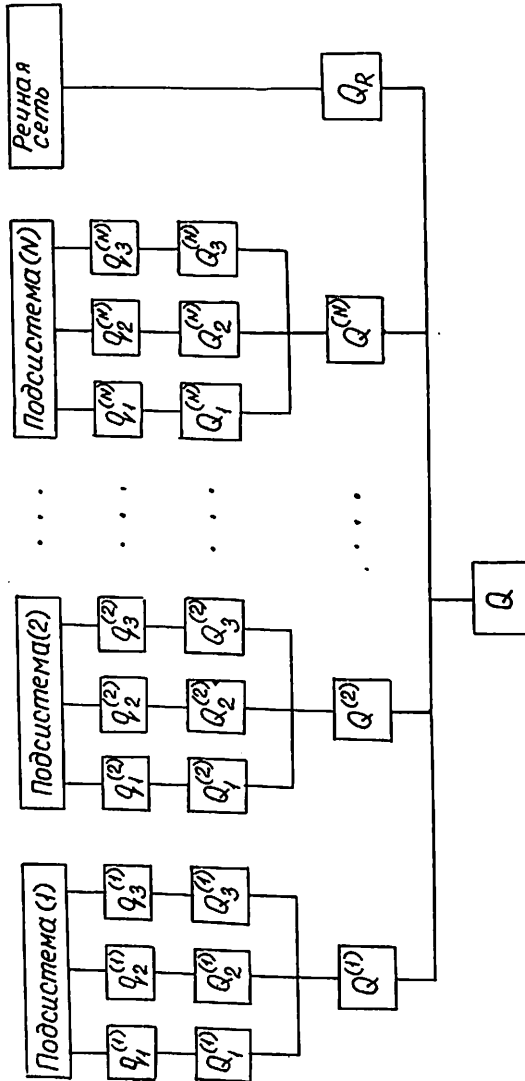


Рис. 1. Структура математической модели Дождь-3

$q_1^{(i)}$ - поверхностное водобразование $Q_3^{(i)}$ - гидрограф почвенного стока
 $q_2^{(i)}$ - подповерхностное водобразование $Q^{(i)}$ - общий гидрограф подсистемы
 $q_3^{(i)}$ - почвенное водобразование Q_R - истощение запасов воды в речной сети
 $Q_1^{(i)}$ - гидрограф поверхностного стока Q - гидрограф стока с водосбора
 $Q_2^{(i)}$ - гидрограф подповерхностного стока Q - гидрограф стока с водосбора

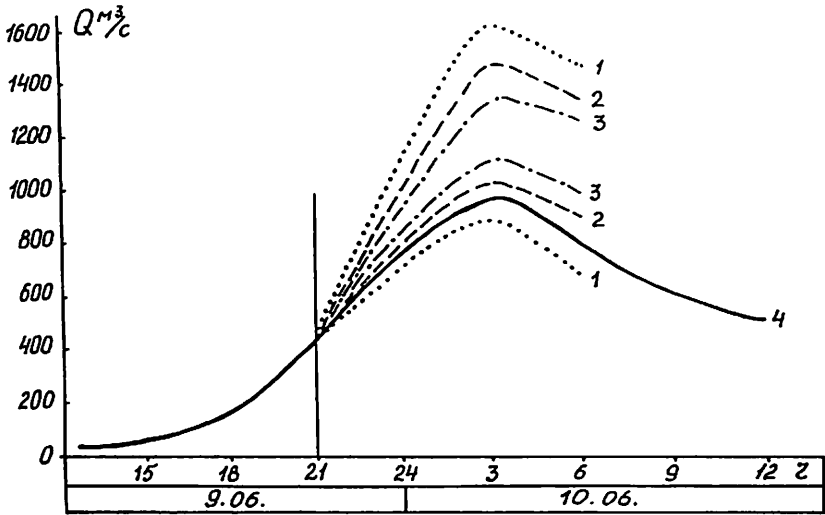


Рис.2. Границы интервальных оценок прогнозируемых значений расходов воды при вероятности 80, 60 и 50% (соответственно 1, 2, 3). 4 – фактический ход стока.

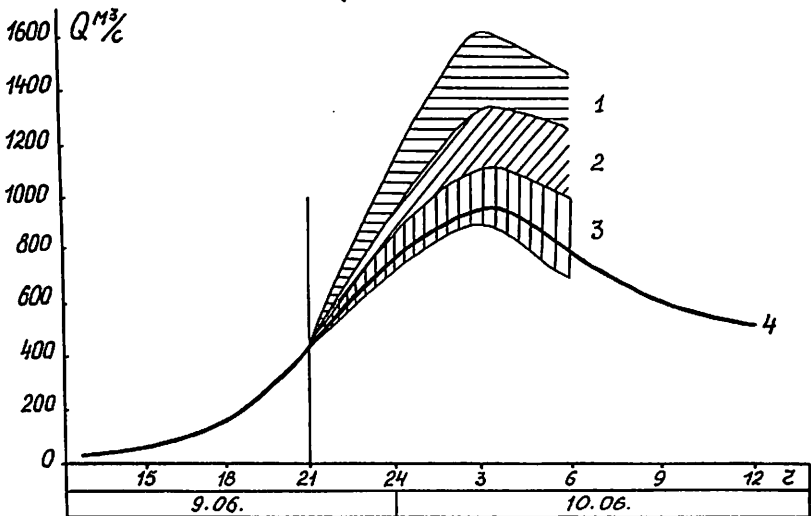


Рис.3. Границы прогнозируемых значений расходов воды для случаев усиления (1), сохранения (2) и снижения (3) интенсивности дождя. 4 – фактический ход стока.

ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА КРАТКОСРОЧНЫХ ПАВОДКОВ В ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ БАССЕЙНАХ ПРОЛИВНОГО РЕЖИМА

Др. инж. В. А. Стэнеску, А. Станчу

Институт Метеорологии и Гидрологии

Бухарест, Румыния

Возможности гидрологического прогноза краткосрочных паводков в гидрографических бассейнах проливного режима

РЕЗЮМЕ

В Румынии существуют зоны, где с предпочтением происходят паводки с очень быстрым характером, имея в виду срок ответа бассейна, с одной стороны вследствие большого фрагментирования рельефа и высоких склонов гор и, с другой стороны, от дождей с проливным характером.

Чтобы обеспечить оперативный прогноз паводков в таких гидрографических бассейнах, были разработаны сценарии, симулирующие конечное число возможных метеорологических и гидрологических случаев, которые могут произойти в бассейне.

Максимальный расход на анализированный бассейн может быть прогнозирован с помощью графиков интерполяции, зависимо от количества средних осадков на бассейн, от продолжительности дождя и показателя предыдущей влажности.

MEANS OF ELABORATING HYDROLOGICAL FORECASTS FOR SHORT- RANGE FLOODS IN CATCHMENT AREAS WITH TERRITORIAL REGIME

Abstract

In Romania there are several areas where floods occur quite often, the response of the basin taking place rapidly, on the one hand due to the broken relief structure and the steep slopes and on the other hand due to heavy rainfalls.

For the operational forecasting of floods in such catchment areas, several scenarios were elaborated to simulate a finite number of meteorological and hydrological situations that are liable to occur.

The maximum discharge within the basin under consideration can be predicted by means of interpolation graphs, in terms of the mean precipitation amounts fallen, the rainfall duration and the antecedent humidity index.

Возможности гидрологического прогноза краткосрочных паводков в гидрографических бассейнах проливного режима

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

В Румынии существуют зоны, где с предпочтением происходят паводки с очень быстрым характером, имея в виду срок ответа бассейна, с одной стороны вследствие большого фрагментирования рельефа и высоких склонов гор и, с другой стороны, от дождей с проливным характером, краткосрочные и с высокой интенсивностью. Также, в этих районах почва является мало проницаемой. Такие паводки встречаются в Добрудже и на молдавском плато.

В этом районе, большие паводки были причинены проникновением окклюзивных фронтов влажного воздуха с Черного моря. Вследствие статистического анализа дождей выпавших между 1960-1988 гг, установилось, что только 30% из них покрывают всю территорию.

Большинство из них краткосрочные дожди (3-6 часов) неравномерного расположения на территории и имеют проливной характер.

Максимальные паводковые расходы происходят в короткий срок (несколько часов) после окончания проливных дождей, таким образом период заблаговременности прогноза максимального расхода является очень коротким (2-3 часа).

В случае прогноза осадков, используя радарную технику, период заблаговременности повышается до 3-4 часов.

Чтобы обеспечить высокую оперативность прогноза для гидрографических бассейнов, имеющих эти характеристики, были разработаны сценарии, симулирующие конечное число метеорологических и гидрологических случаев, которые могут произойти в бассейне. Разработка сценариев прогноза была составлена на основе математической модели /1/ типа "резервуар". Эффективные осадки интегрируются через функцию типа единый гидрограф /2/.

ВЫБОР СЦЕНАРИЕВ

На основе анализа способа формирования паводков, зарегистрированных на гидрометрических станциях, находящихся в изученной зоне, было определено умеренное число возможных гидрометеорологических случаев, для которых были разработаны 108 сценариев прогноза.

Для показателя исходной влажности почвы были селекционированы 3 варианта, а именно :

- минимальная влажность (сухая почва) - 0 мм
- средняя влажность - 25 мм
- высокая влажность - 40 мм

Для продолжительности дождя выбрались интервалы :

- час
- 3 часа
- 6 часов

Для количества осреднённых осадков на бассейн выбрались значения :

- 50 мм
- 75 мм
- 100 мм

Для способа распределения осадков во времени выработлось треугольное распределение.

Также, были приняты во внимание 4 возможные случаи (а, в, с, d) пространственного распределения осадков, а именно :

- а) дождь, распределённый на треть бассейна, в верхней части
- в) дождь, распределённый на треть бассейна, в средней части
- с) дождь, распределённый на треть бассейна, в нижней части
- d) дождь, равномерно распределённый на всю площадь бассейна

Сценарии симуляции паводков, рассчитанных для любого сочетания упомянутых вариантов, были разработаны для гидрографического бассейна Кинежа ($F = 550 \text{ км}^2$).

Получилось таким образом число $3 \times 3 \times 3 \times 4 = 108$ симулированных гидрографов.

Чтобы работать оперативно в режиме прогноза были составлены графики интерполяции для подсчитывания максимальных расходов зависимо от количества осреднённых осадков на бассейн, продолжительности дождя и показателя предыдущей влажности (рис. I) для 4 анализированных случаев (а, в, с, d) пространственного распределения осадков.

Качество прогноза зависит в очень большой степени от правильной оценки количества выпавших осадков на бассейн и от передачи и концентрирования в реальное время этого количества осадков. Для получения оценок осадков в реальное время была проектирована автоматическая информационная система, через которой данные передаются по радио к центру концентрирования и автоматической обработки данных.

Оптимизация плотности pluviометрических станций, предложенных для снабжения автоматическими станциями сбора данных, была осуществлена методом временной статистики Гандин-Каган /3/.

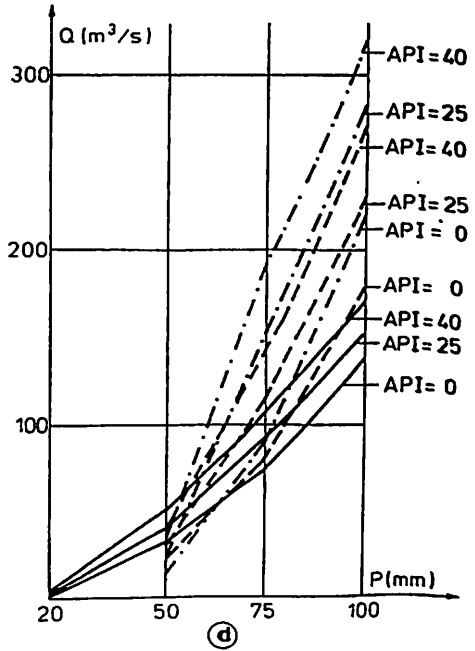
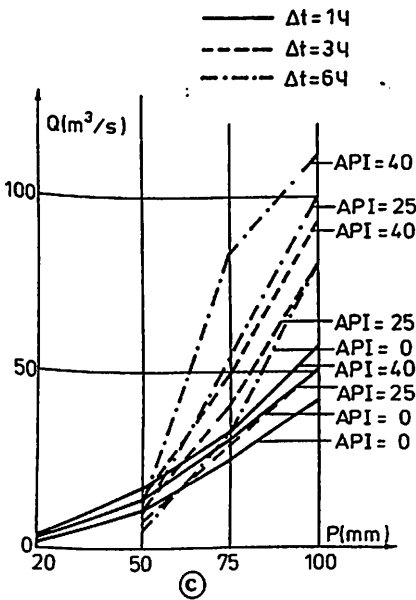
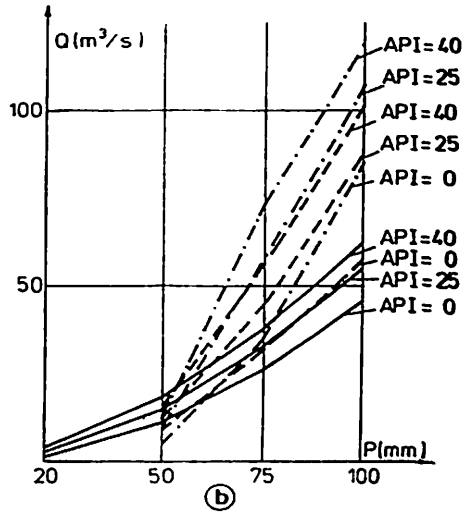
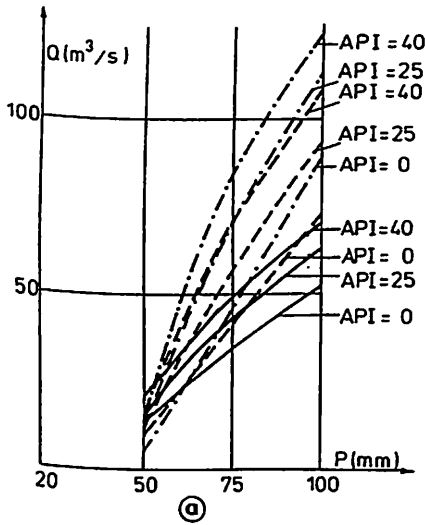


Рис. 1. Кривые $Q(P, \Delta t, \Delta API)$

КОНЕЧНЫЕ ВЫВОДЫ

Чтобы повысить период заблаговременности гидрологического прогноза, рекомендуется осуществить разработку прогноза до окончания дождя, но учитывая указания синоптического и радарного прогноза по количеству, предусмотренному выпасть после первого момента прогноза.

В этом случае период заблаговременности растёт, но точность прогноза зависит от возможностей метеорологического прогноза.

Более высокую точность возможно достичь в тех случаях, когда количество выпавшего дождя в первые 1-3 часа достаточно велико (50-80 мм-ого разряда и более этого), когда возможно допустить, что в дальнейшем прогнозируемое количество понижается с точки зрения численного разряда по сравнению с уже реализованным количеством и, следовательно, ошибки прогноза последующего дождя не влияют сильно на общее выпавшее количество дождя и, таким образом на характерные значения паводка (полученные посредством математической модели или сценария).

Наоборот, если дождь содержит главное ядро в конце временного интервала выпадания, прогноз паводка может иметь достаточную точность только если дожидается окончание дождя и, в этом случае, заблаговременность заметно понижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. SERBAN, P., (1984)
Modele matematice pentru prognoza undelor de viitură. Studii de hidrologie, vol.51
2. NASH, Y.E., (1957)
The form of the instantaneous unit hidrogeograph. General Assembly of Toronto
3. GANDIN, L.S., KAGAN, R.L., (1976)
Metode statistice de interpretare a datelor meteorologice. Leningrad.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО - МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДОЖДЕВОГО И ТАЛОГО СТОКА ДЛЯ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ РАСХОДОВ ВОДЫ В РЕЧНОЙ СЕТИ

В.Н.Демидов, Н.А.Назаров

Институт водных проблем АН СССР, Москва, СССР

Обсуждаются методические вопросы схематизации и математического описания речных бассейнов и происходящих на них гидрологических процессов для расчетов и прогнозов дождевого и талого стока. Рассматриваются особенности информационного обеспечения физико-математических моделей различной степени сложности. Сопоставляются результаты имитационных расчетов и измерений расходов воды одновременно в нескольких створах речной сети.

THE USE OF PHYSICALLY-BASED RAINFALL AND SNOWMELT RUNOFF MODELS FOR SHORT-TERM STREAM FLOW FORECASTING

The methodical aspects of schematization and mathematical description of drainage basin and hydrological processes for rainfall and snowmelt runoff calculation and forecasting are discussed. The problems of data required for the models of different degree of complexity are considered. The observed and simulated hydrographs in several gauges of river network are compared.

Одним из необходимых условий создания современных методов краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды для речных систем является привлечение физически обоснованных моделей формирования дождевого и талого стока. На практике такие методы разрабатываются преимущественно с помощью концептуальных моделей, основанных на параметрическом описании гидрологических процессов / 3, 8 /. Речной бассейн схематизируется в виде последовательно-параллельных звеньев из частных водосборов, ограниченных гидрометрическими ствами. В этом случае количество частных водосборов лимитируется числом створов с сетевыми наблюдениями. Имеющиеся длительные гидрос-

метеорологические ряды наблюдений используются для идентификации параметров концептуальных моделей в предположении о том, что естественные условия движения воды и водообмена в бассейне нарушаться не будут.

В отличие от концептуальных физико-математических модели более полно учитывают антропогенные изменения бассейна и менее требовательны к длительности рядов наблюдений за стоком при сравнительно широком использовании данных о пространственной изменчивости характеристик бассейна и априорной информации, заложенной в структуре этих моделей. Ниже рассматриваются результаты расчетов гидрографов для речной сети, полученных с помощью модели формирования дождевого стока по данным водосбора р.Голятинка, бассейн р.Дунай /2/, а также с помощью модели формирования тало-дождевого стока по данным водосбора р.Уз, бассейн р.Днепр /4,5/. В обоих примерах используется различная схематизация бассейна, русловой сети и гидрологических процессов, что позволяет решать те или иные прогнозные задачи с различными пространственно-временными масштабами осреднения и с неодинаковой степенью агрегирования исходной информации.

Модель формирования дождевого стока основана на использовании нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных для описания процессов движения воды по разветвленной русловой сети, поверхности склонов и в пористой среде. Перенос влаги в насыщенной и ненасыщенной зонах описывается раздельно: в насыщенной зоне моделируется плано-плоское движение грунтовых вод (используется уравнение Буссинеска), а в ненасыщенной зоне — только вертикальный влагоперенос. Такой подход к решению задачи движения подземных вод впервые рассмотрен в /9/, использован он и в модели /10/. Водосборная площадь при ее схематизации покрывается прямоугольной равномерной сеткой. Главное русло и притоки различных порядков заменяются отрезками прямых, параллельными осям координат и проходящими по границе элементарных площадок возможного поверхностного стекания воды. Пространственное изменение характеристик водосбора и осадков учитывается заданием параметров для каждого выделенного квадрата. Взаимодействие процессов гидрологической системы организовано нами на основе такого сопряжения, которое позволяет учитывать обратную связь между моделируемыми процессами. Стыковка результатов расчетов вертикального влагопереноса с данными моделирования плановой фильтрации выполняется в каждом узле пространственной сетки с использованием специальной вычислитель-

ной процедуры, обеспечивающей соблюдение водного баланса в системе "насыщенная-ненасыщенная зона" [2].

Модель проверялась по материалам гидрометеорологических наблюдений за формированием паводков в бассейне р. Голятинка (86 км²), Закарпатская воднобалансовая станция. Русловая сеть водосбора представлялась в модели главным руслом и пятью притоками (рис. 1а). Длины и уклоны участков русла, а также уклоны поверхности водосбора задавались по топографической карте. Коэффициент горизонтальной фильтрации для каждого пространственного узла водосборной площади задавался как средневзвешенное величин коэффициента горизонтальной фильтрации подповерхностного и грунтового потока с учетом их глубин. Проведенные расчеты расходов воды дождевых паводков в замыкающем створе р. Голятинка-п. Майдан и в промежуточном створе р. Голятинка-п. Голятин (59 км²) в целом достаточно хорошо согласуются с наблюдаемыми. На рис. 1 показаны рассчитанные и наблюдаемые гидрографы в указанных створах на примере паводка от 6 сентября 1966 г.

При схематизированном описании более крупных бассейнов (для расчетов и прогнозов стока в речной сети в течение года) выделяются укрупненные расчетные участки (РУ), совпадающие с частными водосборами боковых притоков [4, 6]. Каждый РУ характеризуется размерами, плотностью гидрографической сети, уклоном, типами почвогрунтов, параметрами землепользования и сопротивлением движению воды. Неоднородности мелкого масштаба в пределах РУ описываются с помощью словесных функций распределения и весовых коэффициентов, обозначающих доли площади с этими неоднородностями. При вертикальном рассмотрении склонов рассматриваются их поверхность, приповерхностный приповерхностный слой, приуроченный к зоне распространения корневой системы растений и фазовых превращений почвенной влаги, и подземный водонесущий слой с грунтовыми водами, дренируемыми речной сетью. Предполагается, что стекающие с безрусловых склонов поверхностные, подповерхностные (с учетом возвратного стока) и грунтовые воды поступают в дренажную сеть боковых притоков (за исключением потоков I порядка), а затем - в русло главной реки. Неустановившееся движение воды в нем описывается уравнением кинематической волны. Трансформация стока на склонах, в подземных водонесущих горизонтах и в

ковых русловых потоках рассчитывается по интегральным аналогам этого уравнения, полученным при определенных предпосылках о форме продольного профиля и режиме водного потока в различных средах. Система ноль-мерных уравнений применялась также при описании перехвата осадков растительным покровом, формирования снежного покрова и сляготания, теплового и водного режима почвы. При обращении к интегральным аналогам часто удается сохранить первоначальный смысл параметров исходных уравнений гидротермодинамики.

Проблема информационного обеспечения модели тало-дождевого стока сводится прежде всего к задаче оценки ее калибруемых параметров, число которых заметно сокращено. Большая часть параметров модели определяется на картографической основе, по таблицам и по данным независимых измерений. Недостающие картографические сведения о числе и значениях морфометрических характеристик боковых притоков низкого порядка уточняются с помощью моделей строения речной сети /1,7/.

Практические возможности модели тало-дождевого стока изучались, в частности, по данным стандартных наблюдений (1966-1975 гг.) в бассейне р.Уж, площадь которого разделялась на 14 укрупненных РУ. На входе в модель задавались данные ежедневных наблюдений за осадками в пунктах Коростень и Полесское, за температурой и влажностью воздуха - в Полесском. Часть параметров (в данном случае 7) калибровалась по наблюдаемым гидрографам. На рис.2 представлен пример контрольных расчетов расходов воды в сравнении с наблюдаемыми в створах р.Уж-п.Коростень (1450 км^2) и р.Уж-п.Полесское (5690 км^2). Там же показаны наблюдаемые (в п.Славенщина) и рассчитанные характеристики снежного покрова и промерзания почвы, а также результаты моделирования испарения почвенной влаги (на фоне температуры воздуха), интенсивности поступления талых и дождевых вод, запасов влаги в приповерхностном слое почвы.

Выполненные исследования подтверждают перспективность использования физико-математических моделей формирования дождевого и тало-го стока для краткосрочных прогнозов расходов воды в речной сети. Возможности практического применения таких моделей расширяются в связи с развитием методов и средств автоматизированной обработки аэрокосмической информации о характеристиках бассейна. При недостатке данных наземных и дистанционных измерений часть исходной информации может быть обеспечена моделями строения русловой сети.

Литература

1. Горбунов Ю.В. Модель строения речной сети и ее использование для расчета и прогноза паводков. Тезисы докл. У Всесоюз. гидролог. съезда. Секция гидрол. прогнозов и предсказаний опасных гидр. явлений. Л. Гидрометеоиздат. 1986. С. 34-38.
2. Демидов В.Н. Моделирование взаимодействия поверхностных и подземных вод при формировании стока на речном водосборе. Водные ресурсы. 1989. №2. С. 60-69.
3. Корень В.И., Бельчиков В.А., Нечаева Н.С. Использование математических моделей в автоматизированных системах прогнозирования стока на крупных водосборах. Об. докладов XIV Конференции Придунайских стран по гидрол. прогнозам. 3-7.X.1988. Киев. С. 63-75.
4. Кучмент Л.С., Мотовилов Ю.Г., Назаров Н.А. Чувствительность гидрологических систем. Влияние антропогенных изменений речных бассейнов и климата на гидрологический цикл. М. Наука. 1990. 146 с.
5. Мотовилов Ю.Г., Назаров Н.А., Смахтин В.Ю. Моделирование возможных изменений стока и качества воды в результате антропогенной деятельности на речных водосборах /на примере Украинского Полесья/. Об. докладов XIV Конференции Придунайских стран по гидрол. прогнозам. Киев. 1988. С. 403-416.
6. Назаров Н.А., Сирин А.А. Модель и алгоритмы расчета формирования речного стока на лесном водосборе. М. Изд. ВИПТИ. 1988. 108 с.
7. Рзаницы Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л. Гидрометеоиздат. 1960. 238 с.
8. Соседко М.Н. Имитационная система формирования стока в горном речном бассейне. Об. докладов XIV Конференции Придунайских стран по гидрол. прогнозам. Киев. 1988. С. 103-110.
9. Abbott M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A. et al. An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen "SHE". 2. Structure of a physically-based, distributed modelling system. J. Hydrology. 1986. V. 87. P 61-77.
10. Picul M.F., Street R.L., Remson J. A numerical model based on coupled one-dimensional Richards and Boussinesq equations. Water Res. Res. 1974. V.10. N.2. P. 296-302

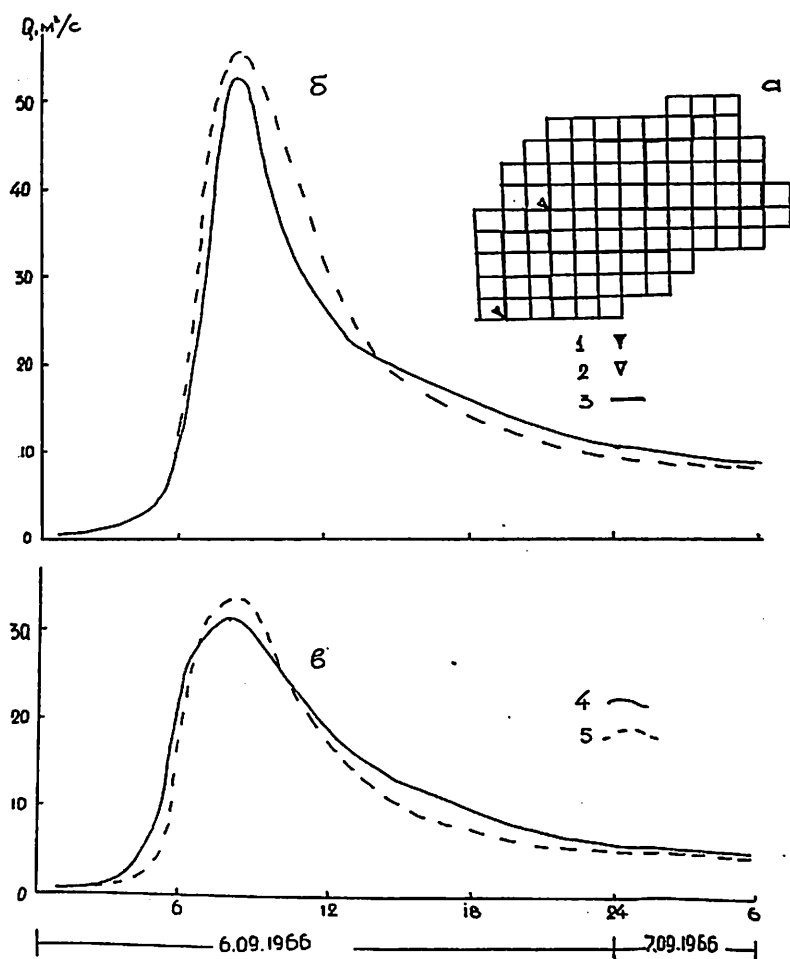


Рис. I Схематизация водосбора р.Голятинка / а /;
измеренные и рассчитанные расходы воды для паводка
в п.Майдан / б / и п.Голятин / в /.

1, 2 - гидрометрические створы соответственно р.Голятинка-п.Майдан и р.Голятинка-п.Голятин; 3-русовая сеть; 4- измеренные расходы; 5- рассчитанные.

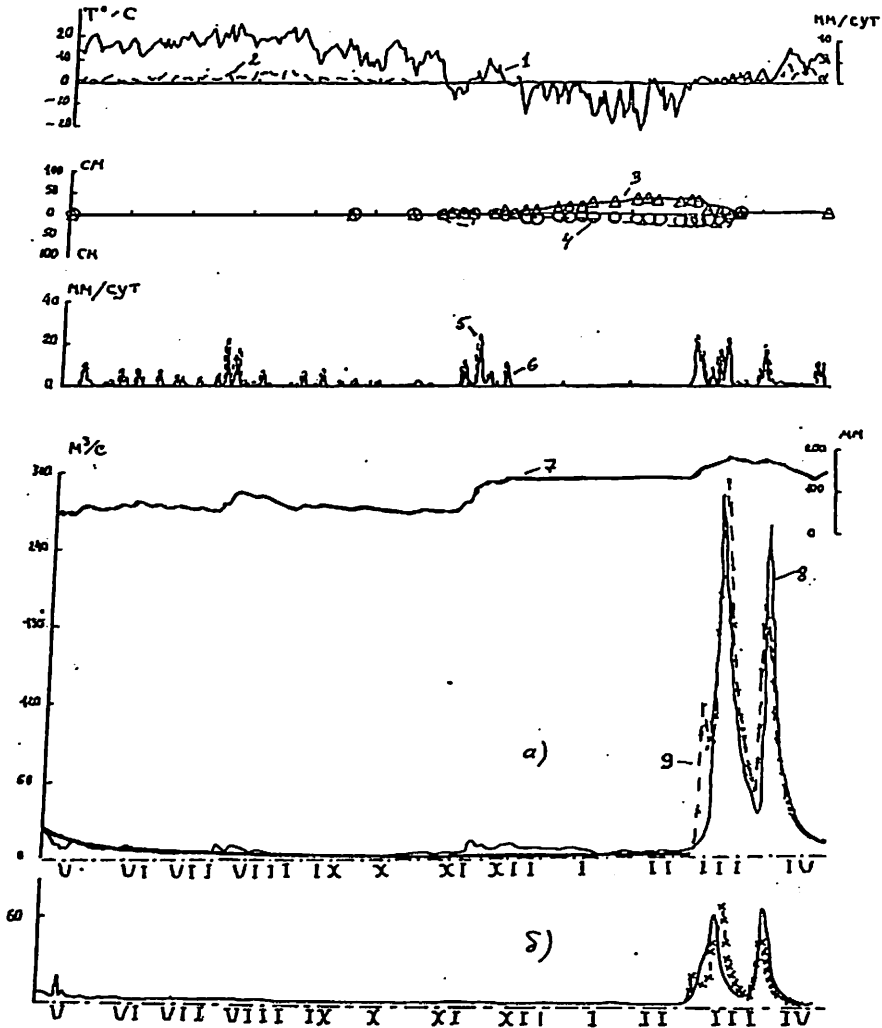


Рис.2. Характеристики гидрологических процессов в бассейне р.Уж, 1966-1967. Обозначения: 1-температура воздуха; 2-испарение; 3-высота снежного покрова; 4-глубина промерзания почвы; поступление тало-дождевых вод в поле(5) и в лесу(6); 7-влагозапасы в 0,5 м слое почвы; наблюдаемые(8) и рассчитанные(9) гидрограмы в створах Полесское (а) и Коростень (б)

ИЗУЧЕНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЁННЫМ СЛУЧАЯМ МОДЕЛЕЙ
ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА В ПЕРИОД ТАЯНИЯ СНЕГА
В ГОРНЫХ БАССЕЙНАХ

Др. инж. В.А.Стэнеску

Институт Метеорологии и Гидрологии

Бухарест, Румыния

Резюме

В настоящей работе представлены разнообразные возможности разработки иных моделей долгосрочного прогноза в период таяния снега которые нуждаются в связях между стоком и каузальными факторами, из которых основными являются запас воды в снежном покрове, количество выпавшей дождевой воды и термический режим воздуха.

Представления предлагаемых моделей установлено учитывая гидрографические бассейны, соответствующие водохранилищам Изворул Мунтелуй и Видрапу.

CASE STUDIES OF LONG-RANGE FORECASTING MODELS
FOR THE PERIOD WHEN THE SNOW IS MELTING IN
THE MOUNTAINOUS CATCHMENT

Abstract

The paper presents various possibilities of elaborating long-range forecasting models for the period when the snow is melting. they consist of the relationships between the runoff and the causal factors; among there mention should be made of the basic ones,

namely; the water storage of the snow cover, the rainfall amount and the air temperature regime.

The forwarded models are presented by considering the catchment areas corresponding to the Izvorul Mureşului and Vidraru reservoirs.

I. Необходимые метеорологические данные, для разработки соотношений долгосрочного прогноза.

Соотношения долгосрочного прогноза нуждаются в связях между стоком и каузальными факторами, из которых основными являются запас воды в снежном покрове, количество выпавшей дождевой воды и термический режим воздуха. Это значит, что необходимо определить хотя бы двухмерные соотношения, нуждающиеся в довольно большом числе рядов зависимых переменных и достаточно высоком качестве данных.

В общем, надёжные снегомерные данные, основанные одновременно на измерениях по снегомерным маршрутам, в отдельных точках наблюдения и даже на аэрофотограмметрических съёмках существуют для относительно коротких интервалах времени.

Экстраполяция рядов данных запаса воды из снега в конце холодного сезона осуществляется корреляцией этого запаса с суммой количества осадков (осреднённой по бассейну), выпавшей в сезоне.

Среднее количество дождя по бассейну $\bar{X}$ вычисляется соотношением между месячным количеством дождя и высотой H с одной стороны и гипсографической кривой с другой стороны, а именно :

$$X = \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} X(H) f(H) dH \quad (1)$$

где $H_{\min}$ и $H_{\max}$ - минимальная и, соответственно, максимальная высота бассейна,

$$f(H) = \frac{\partial p(H)}{\partial H} \quad (2)$$

В соотношении (2) $p(H)$ обозначают значения на абсциссе гипсографической кривой, соответствующей ординате H .

Календарное определение холодного сезона установлено в зависимости

от распределения по высоте бассейной площади.

В настоящей работе представлены бассейны, соответствующие водохранилищам Изворул Мунтелуй (минимальная высота $H_{\min} = 400\text{м}$, максимальная высота $H_{\max} = 1950\text{м}$) и Видрару ($H_{\min} = 900\text{м}$, $H_{\max} = 2450\text{м}$).

Для первого случая холодный сезон анализируется в интервале декабрь – февраль (сумма осадков в этом интервале обозначена $\bar{X}_{\text{XII-I}}$), а для второго, в интервале декабрь – март (сумма осадков обозначена $\bar{X}_{\text{XII-III}}$). Корреляции, необходимые для экстраполяции снегомерных данных между переменными $\bar{X}_{\text{XII-I}}$ и $\bar{X}_{\text{XII-III}}$ с одной стороны и запасом воды из снега, S , осреднённого по бассейну в конце холодного сезона выражаются :

- для водохранилища Изворул мунтелуй : $S = 0,85 \bar{X}_{\text{XII-I}}$ (3)
- для водохранилища Видрару : $S = 0,885 \bar{X}_{\text{XII-III}}$ (4)

Средняя температура воздуха по бассейну определялась, используя данные метеорологических станций и гипсографические кривые двух учтанных бассейнов, соотношением (3), где $X(H)$ заменено $t(H)$. Корреляции $t(H)$, разработанные для каждого месяца в период таяния снега представляют относительную параллель от года к году, свидетельствуя о существовании реальной стабильности термического градиента по мере роста высоты.

2. Гидрологические данные.

Месячные запасы воды, вливающиеся в учтанные два водохранилища определялись либо непосредственными наблюдениями и измерениями, либо экстраполяциями, основанными на корреляциях. Надо заметить, что при оценке месячных запасов воды, вливающих в водохранилище Видрару учитывались, как расходы, вливающие непосредственно в водохранилище, так и данные измерения расходов во всех второстепенных водозаборах.

3. Соотношения долгосрочного гидрологического прогноза.

Структура соотношений прогноза среднемесячных расходов, как выбор самых значительных предсказующих переменных тесно связаны с особенностями развития гидрологического процесса каждого месяца периода таяния снега. Также, специфичные физико-географические условия бассейна определяют установление периода таяния снега.

Выбор двух вышеуказанных бассейнов для изучения по определённым случаям (гидрографические бассейны Изворул Мунтелуй и Видрару) был уста-

новлен именно для выявления разнообразных возможностей разработки самых значительных моделей долгосрочного прогноза. Далее, эти модели анализируются отдельно, для каждого бассейна.

3.1. Бассейн водохранилища Изворул Мунтелуй.

Прогноз среднего расхода марта месяца.

Календарная дата систематического превышения температуры 0°C воды в 13°C . (определяющую высотную изолинию таяния снега) связана со средней температурой месяца марта по бассейну. Для среднемесячных температур, превышающих $+1^{\circ}\text{C}$ изолиния таяния снега доходит до максимальной высоты бассейна. В большинстве годов, когда эта температура находится под $+1^{\circ}\text{C}$, линия таяния снега доходит до 31 марта до высоты 1500м. Так как площадь, соседняя высотным ступеням выше 1500м состоит только из 7% всей площади бассейна ($F = 4000\text{км}^2$), значительным предсказующим элементом является средняя температура воздуха в марте месяце. Учитывая, что градиенты снижения средней температуры марта высотой не различаются значительно от одного года к другому, значение среднемесячных температур $\bar{t}_{III}$, осреднённое по станциям Чахлэу Сат ($H=552\text{м}$) и Пояна Стампей ($H=920\text{м}$) было установлено, как одна из предсказующих переменных. Вторым предсказующим элементом является среднее по бассейну количество осадков $\bar{X}_{III}$.

Расход талой и дождевой воды в марте месяце $\bar{Q}_{III}^*$ определяется разницей :

$$\bar{Q}_{III}^* = \bar{Q}_{III} - Q_0 \quad (5)$$

где $\bar{Q}_{III}$ и Q_0 - средний расход марта месяца, и соответственно, базовый расход в конце февраля месяца. Аналитическое соотношение прогноза :

$$\bar{Q}_{III}^* = 0,21 \bar{X}_{III} + 6,25 \bar{t}_{III} + 12,5 \quad (6)$$

Прогноз среднего расхода апреля месяца.

Учитывая, что в большинстве годов, в апреле месяце тает более 75-80 процентов общего количества снега в бассейне, предсказующими элементами являются :

- отклонение от нормальной средней по бассейну температуры в апреле месяце (Δt_{IV})

- параметр S' из соотношения :

$$S' = \bar{S} + \bar{X}_{IV} + \Delta_s \quad (7)$$

где :

- $\bar{S}$ средний по бассейну запас воды из снега (мм);
- $\bar{X}_{IV}$ - количество осадков на апрель месяц, осреднённое по бассейну;
- $\Delta s = \bar{X}_{III} - \Delta h$, где $\bar{X}_{III}$ - среднее количество осадков в марте, по бассейну, а Δh выводится из соотношения :

$$h = \frac{2592 \cdot \bar{Q}_{IV}^*}{F \alpha} \quad (8)$$

где F - площадь бассейна в км², а α средний коэффициент стока, которого можно принимать равным 0,3-0,4 (выше для большого стока воды в марте месяце).

Также определяется внос воды бассейна без базового стока Q_0 последнего дня февраля месяца. Кривая прогноза, представленная на рис. I соответствует соотношению :

$$\bar{Q}_{IV}^* = (0,525 + 0,1 \Delta t_{IV}) S' \quad (9)$$

Прогноз среднего расхода мая месяца.

Предсказуемым элементом применялось соотношение :

$$E = \bar{X}_V + S_V \quad (10)$$

где $\bar{X}_V$ среднее количество осадков по бассейну в мае месяце,

$S_V = W_V / 2,592$, а $W_V = A - B$ (II), где

$$A = \frac{W_z + (\bar{X}_{III} + \bar{X}_{IV}) F}{1000} \quad (12)$$

где F площадь бассейна в км², $\bar{X}_{III}$ и $\bar{X}_{IV}$ среднее количество осадков по бассейну в марте и апреле (мм), а W_z объём талых вод в начале марта (10^6 м³). В выводится из соотношения :

$$B = (\bar{Q}_{III}^* + \bar{Q}_{IV}^*) / 0,4 \quad (13)$$

Знаменатель 0,4 является средним коэффициентом стока.

Также, как и для марта и апреля, средним расходом мая месяца считается водный сток $\bar{Q}_V^*$ вычитывая базового Q_0 (ежедневный расход в конце февраля). Кривая прогноза $\bar{Q}_V^* = f(\bar{X}_V + S_V)$ представлена на рис. 2.

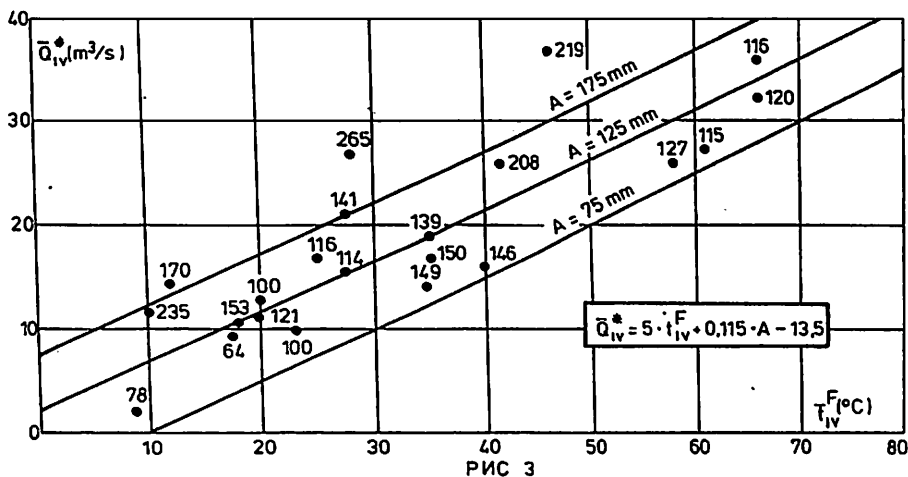
Прогноз водного объёма в период март-май.

На основе соотношения между объёмами талой воды в конце февраля $W_z (10^6$ м³) и средними количествами осадков по бассейну, выпавшие в этом периоде $\bar{X}_{III-V}$ с одной стороны, и вытекшем объёмом W_S (не учитывая объём, соответствующий подземному водоснабжению) получено соотношение :

$$W_S = 3,15 \bar{X}_{III-V} + 0,787 W_z - 394 \quad (14)$$

где :

S_z запас воды из снега (мм), соответствующий объёму, накопившегося до 1400м
 χ_F^{IV} и χ_N^{IV} количество осадков (мм), выпавших в апреле на станциях Фундата и Нукшоара.



Кривая прогноза вноса воды из снега и дождя $\bar{Q}_{IV}^*$ (без базового расхода) представлена на рис.3. Аналитическое соотношение :

$$\bar{Q}_{IV}^* = 5 \bar{t}_{IV}^F + 0,115 A - 13,5 \quad (16)$$

Прогноз среднего расхода мая месяца.

В мае, процесс таяния покрывает всю площадь бассейна. Следовательно, как предсказующие элементы применялись :

- среднее количество осадков (мм) по бассейну, выпавшее в мае месяце $\bar{\chi}_V$
 - среднемесячная температура на станции Быля Лак $\bar{t}_B$
 - значение S_V по соотношению :
- $$S_V^I = (w_z + w_p^{IV} - w_s^{IV}) / 737 \quad (17)$$

где:

w_z - объём талой воды на всей площади бассейна, рассчитанный в начале периода таяния снега

w_p^{IV} объём воды, соответствующий среднему количеству осадков по бассейну, выпавшего в апреле

w_s^{IV} объём, соответствующий вносу талой и осадочной воды апреля

Аналитическое соотношение прогноза :

$$\bar{Q}_V^* = (0,053 + 0,285 \bar{t}_B) (S_V^I + \bar{\chi}_V) \quad (19)$$

Прогноз объёма воды в период апрель-июнь

Снабжение талой водой продолжается и в июне, объём воды прогнозируется в интервале апрель-июнь. На основе значений среднемесячных расходов в этом интервале были рассчитаны объёмы из которых вычитывается объём, соответствующий базисному расходу (Q_0), а также слой стока h_{IV-VI} . Далее, разработалась корреляция между h_{IV-VI} и суммой запаса воды из снега S_z и суммой среднего количества осадков по бассейну в период IV-VI ($\bar{X}_{IV-VI}$): $h_{IV-VI} = 0,6(S_z + \bar{X}_{IV-VI})$ (н)

4. Колебание предсказующих метеорологических элементов.

Значения предсказующих элементов, полученных от метеоролога-прогнозиста можно перенести в вероятности превышения случайного значения температуры или осадков.

Таблица 1

КОЛЕБАНИЕ ПРЕДСКАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Предсказующий элемент	Вероятность превышения				
	20%	40%	50%	60%	80%
$\bar{X}_{III}$ (мм) (Соотношения 6 и 12)	45	38	30	25	18
$\bar{t}_{III}$ (°C) (Соотношение 6)	+ 1,6	+ 1,0	0	- 0,8	- 2,0
$\bar{X}_{IV}$ (мм) (Соотношения 7 и 12)	85	67	59	52	38
Δt_{IV} (°C) (Соотношение 9)	+ 1,7	+ 0,8	+ 0,4	0	- 1,2
$\bar{X}_V$ (мм) (Соотношение 10)	140	115	104	95	78
$\bar{X}_{III-V}$ (мм) (Соотношение 14)	240	210	200	190	165
t_F^{IV} (°C) (Соотношение 16)	+ 5,2	+ 3,8	+ 3,2	+ 2,7	+ 1,6
$(\bar{X}_F^{IV} + \bar{X}_N^{IV}) / 2$ (мм) (Соотношение 15)	95	78	70	65	55
$\bar{X}_V$ (мм) (Соотношение 18)	180	144	128	100	88
$\bar{t}_B$ (Соотношение 18)	+ 4,7	+ 3,8	+ 3,5	+ 3,2	+ 2,4
$\bar{X}_{IV-VI}$ (мм) (Соотношение 19)	440	390	375	355	325

Долгосрочный метеорологический прогноз выражается в качественных терминах (В НОРМЕ, ПОД НОРМОЙ, ВЫШЕ НОРМЫ). Количественное выражение прогнозируемых метеорологических элементов, превращающихся в предсказующие элементы соотношений гидрологического прогноза — проводится выбирая по кривой обеспеченности (Таблица I) значения, соответствующие вероятностям $p = 40-60\%$ (В НОРМЕ), $p = 60-80\%$ (ПОД НОРМОЙ) и $p = 20-40\%$ (ВЫШЕ НОРМЫ).

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ
В КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗАХ СТОКА В ПЕРИОД
ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Бельчиков В.А., Корень В.И., Нечаева Н.С.
Гидрометцентр СССР, СССР

Резюме

При составлении краткосрочных прогнозов стока в период весеннего половодья на основе математических моделей тало-дождевого стока метеозлементы на период заблаговременности задаются либо на основе прогнозов погоды, либо по экстраполяции. В докладе сопоставлены с фактическими данными и проанализированы результаты прогнозов стока с использованием экстраполяции, прогнозов температуры воздуха двумя способами. Оценена точность прогнозов для различной заблаговременности при разных вариантах задания температуры воздуха. Использованы оценки чувствительности модели к входным данным на период заблаговременности.

APPLICATION OF METEOROLOGICAL FORECASTS TO THE RUNOFF
SHORT-RANGE FORECASTS DURING THE SPRING FLOOD

Abstract

In compiling the runoff short-range forecasts on the base of mathematical models during the spring flood, the meteorological elements for the term of forecast are set on the base of weather forecasts or by extrapolation. The results of runoff forecasts obtained by the use of extrapolation and air temperature forecasts are compared with the actual data and analysed by two methods. The accuracy of forecasts for the different terms of forecast at various kinds of the set air temperature is estimated. The estimates of model sensitivity to the input data for the term of forecast are used.

В Гидрометцентре СССР разработан метод краткосрочных автоматизированных прогнозов расходов и уровней воды для речных систем /1/, который прошел испытания и в настоящее время применяется в оперативной практике. В основе метода лежит представление речной системы в виде ряда последовательно соединенных бассейнов, для расчета стока на которых используется комбинация моделей формирования талого и дождевого стока (для входных бассейнов с площадями водосборов 5-15 тыс. км²) и линейная трансформационная модель.

Для использования метода необходимы лишь данные наблюдений стандартной гидрометеорологической сети. В настоящем докладе будем касаться лишь математической модели талого и дождевого стока и трансформации необходимой для ее реализации. При разработке метода и составлении прогноза используются как гидрологические (расходы и уровни воды) данные, так и метеорологические (температура и дефицит влажности воздуха, осадки, данные снегосъемок).

Параметры моделей для отдельных водосборов определяются по заданным. Для повышения надежности определения параметров разработана полуавтоматическая процедура оценки их устойчивости.

Проверочные прогнозы для малой заблаговременности (с использованием фактических данных на период заблаговременности) выявили ее совершенство методики, основанной на использовании кривых добега для расчета поверхностной и почвенной водоотдачи в гидрограф стока малого бассейна. Для уточнения прогнозов использовался статистический алгоритм адаптации /2/. Общее прогностическое выражение в этом случае можно записать в виде:

$$\tilde{Q}_{t+\delta} = \sum_{i=1}^m K_i \left\{ \sum_{j=\delta+1}^{r_i} P_{ij} q_{ij,t+\delta-j+1} + \sum_{j=1}^{\delta} P_{ij} \tilde{q}_{ij,t+\delta-j+1} \right\} + \Phi_{t+\delta}(Q), \quad (1)$$

где t - момент выпуска прогноза; q_{ij} , $\tilde{q}_{ij}$ - входные гидрографы соответственно известные и неизвестные в момент выпуска прогноза; $\Phi_{t+\delta}(Q)$ - некоторый оператор, согласно /2/, усваивающий фактические данные о прогнозируемой величине, поступившие перед выпуском прогноза. Структура этого оператора и особенности его использования при выпуске краткосрочных прогнозов рассматриваются в работе /3/.

При прогнозировании по выражению (1) необходимо задавать входные данные на период заблаговременности, т.е. иметь краткосрочные прогнозы температуры, осадков и дефицита влажности воздуха.

Для определения эффективности методики составлялись прогнозы за прошлые годы. Поскольку архивные данные этих прогнозов для рассматриваемого района отсутствовали, испытывалось несколько способов их экстраполяции.

1. На период заблаговременности все входные элементы вообще не учитывались, т.е. принимались равными нулю.

2. Температура и дефицит влажности воздуха полагались постоянными, равными соответствующим значениям в день выпуска прогноза. Осадки полагались равными нулю.

3. Температура и дефицит влажности воздуха принимались постоянными, равными осредненным значениям за 2 сут, предшествующих прогнозу. Осадки, как и в предыдущих случаях, принимались равными нулю.

В табл. I приведены осредненные за 12 лет средние квадратические погрешности прогнозов при различных способах экстраполяции и при использовании фактических данных на период заблаговременности. 2-й и 3-й способ близки и заметно лучше 1-го способа.

Табл. I

Погрешности прогнозов расходов воды (S м³/с) при различных способах экстраполяции метеорологических данных

Заблаговременность прогноза сут.	Способ экстраполяции метеорологических данных							
	Способ экстраполяции метеорологических данных				Фактические данные			
	1-ый	2-й	3-й	Фактические данные	1-й	2-й	3-й	Фактические данные
	р. Юг-с. Кичменгский Городок				р. Луза-с. Объячево			
1	39	39	39	30	24	24	23	20
2	72	64	65	51	47	45	44	35
3	116	97	99	62	73	67	67	46
4	157	124	128	67	101	84	86	54

Сопоставление этих погрешностей с изменчивостью расходов воды показало, что 2-й и 3-й способы дают хорошие оценки прогнозов с заблаговременностью до 3-4 сут. Но представленные оценки получены для периода весеннего половодья, когда роль осадков не так велика, как для периода дождевых паводков.

Для оценки влияния неточности задания на период заблаговременности каждого входного элемента (осадков P , температуры T и дефицита влажности D воздуха) были составлены прогнозы при задании

двух фактических элементов и нулевым третьем. В первом случае предполагалась равной нулю температура воздуха, во втором – осадки, в третьем – дефицит влажности. Результаты расчетов для бассейна р.Юг помещены в табл. 2. В главе 2 этой таблицы приведены оценки при задании фактических значений для всех элементов.

Табл. 2

Оценки прогнозов расходов воды ($S/\bar{\sigma}$) в период весеннего половодья при различном задании входной информации для р.Юг – р. Кичменгский Городок

Заблаговременность прогноза, сут.	Входные данные			
	фактические значения	T=0	P=0	=0
I	2	3	4	5
1	0.54	0.54	0.54	0.54
2	0.53	0.65	0.54	0.53
3	0.51	0.81	0.56	0.51
4	0.46	0.93	0.55	0.46

Из табл. (2) следует, что неучет температуры воздуха в период формирования половодья оказывает наибольшее влияние на погрешность прогноза. Неучет осадков сказывается заметно меньше, а исключение дефицита влажности воздуха не влияет на точность прогноза. Такая картина характерна для периода весеннего половодья.

Следовательно, наибольшее внимание необходимо обращать на задание температуры воздуха. Так как температура воздуха прогнозируется надежнее других метеорологических элементов, было решено использовать прогнозные значения температуры воздуха при определении значений расходов и уровней воды в период оперативных испытаний метода весны 1986 – 1989 годов для пяти входных бассейнов системы рек Печоры и Юга. Использовались два метода прогноза температуры воздуха: статистический (будем в дальнейшем называть первым) и автоматизированный статистический (второй).

Прогнозы температуры воздуха составлялись по метеорологическим станциям, расположенным на территории отдельных бассейнов или в непосредственной близости от них, с заблаговременностью от одних до

суток (нами использовались прогностические значения температуры до пяти суток).

В табл. 3 приведены оценки прогнозов температуры воздуха двумя методами по метеостанциям Троицко-Печорск и Усть-Шугор, расположенным в бассейне р.Печоры, за период выпуска прогноза стока весной 1988 г. Всего было составлено по 32 прогноза для каждой станции. Ошибка определялась по отклонению прогностических значений от фактических в градусах в диапазонах от 0 до 1.5 и далее через градус до 4.5 и более.

Табл.3

Оценка результатов прогноза температуры воздуха по метеостанциям Троицко-Печорск и Усть-Шугор (бассейн р.Печоры) апрель-май 1988 г.

Заблаговременность прогноза (в сутках)	Метод прогноза											ошибка прогноза (отклонения от фактич. в градусах)
	Синоптический (первый)					Автоматизированный статистический (второй)						
	от 0 до 1.5	от 1.5 до 2.5	от 2.5 до 3.5	от 3.5 до 4.5	от 4.5 и более	от 0 до 1.5	от 1.5 до 2.5	от 2.5 до 3.5	от 3.5 до 4.5	от 4.5 и более		
	от 0 до 1.5	от 1.5 до 2.5	от 2.5 до 3.5	от 3.5 до 4.5	от 4.5 и более	от 0 до 1.5	от 1.5 до 2.5	от 2.5 до 3.5	от 3.5 до 4.5	от 4.5 и более		
1	23	14	6	4	17	24	17	7	2	14	"	
2	14	19	1	8	22	18	11	10	8	17	"	
3	15	9	5	7	28	11	9	13	10	21	"	
4	10	7	4	9	34	10	5	13	9	27	"	
5	7	7	6	4	40	11	10	7	9	27	"	

Анализ табл.3 показывает, что результаты прогнозов обоими способами близки между собой, особенно по числу случаев с ошибкой от 0 до 1.5° и более 4.5° для всех заблаговременностей. Наиболее надежны, как и следовало ожидать, прогнозы на одни сутки, из 64 случаев для 23 и 24 прогнозов в первом и втором способах ошибки не превышают 1.5°.

Второй способ прогноза предпочтительнее, т.к. весь расчет включая и поступающую информацию осуществляется автоматически, но к сожалению количество станций для которых выпускается прогноз, значительно меньше, чем в первом способе.

На рис. 1 показано сопоставление фактического гидрографа половодья 1988 г. р.Илыч (приток р.Печоры) с прогнозными на пять суток значения-

ии расходов, рассчитанными с учетом на период заблаговременности температуры воздуха по прогнозу по первому способу (1) и экстраполяции (2). Использован первый способ, т.к. не по всем метеостанциям в бассейне Печоры есть прогноз по второму способу, а автоматизированный прогноз выполняется по всей системе одновременно.

Разница между прогнозными и фактическими расходами меньше для варианта, в котором используется на период заблаговременности прогноз температуры воздуха, чем при экстраполяции (температура на пять суток принимается постоянной). На том же рисунке показан фактический ход температур воздуха за тот же период по метеостанции Троицко-Печорск являющейся одной из принятых для характеристики температурного фона бассейна р. Илыч, и прогнозы температуры с заблаговременностью одна-три-пять суток двумя методами. На одни сутки, особенно для периода половодья, надо признать прогноз температур обоими методами вполне удовлетворительными. По мере увеличения заблаговременности результаты ухудшаются независимо от принятого метода.

Рассматривая в целом результаты использования прогнозов температуры воздуха при выпуске краткосрочных прогнозов расходов воды с использованием математической модели тало-дождевого стока на период заблаговременности до 5-ти суток для бассейнов рек Печоры и Юга можно сделать следующие выводы:

1. Учет прогноза температуры воздуха дает результат лучше, чем экстраполяция, хотя ошибки прогнозов расходов и уровней для всего периода половодья с использованием экстраполяции температур по некоторым створам очень близки к аналогичным, полученным с прогнозом температур.

Особенно важно использовать прогнозы температур в начале подтопления, когда возможны возвраты холодов, которые не могут быть учтены экстраполяцией.

Наиболее надежны результаты при учете прогноза температуры воздуха на одни сутки.

2. Использование прогнозов температуры воздуха позволяет увеличить заблаговременность прогнозов в период формирования половодья и, кроме того, оценить возможные изменения расходов при аномальном развитии погодных условий.

Литература:

1. Бельчиков В.А., Корень В.Л., Нечаева Н.С. "Система автоматизированных краткосрочных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды для рек лесной зоны. Труды Гидрометцентра СССР, вып. 300, 1988г., с. 51-54".

2. Корень В.А. Статистические алгоритмы адаптации при выпуске краткосрочных прогнозов стока. - Метеорология и гидрология, 1984, № 3, с. 80-84.

3. Корень В.А., Бельчиков В.А. Анализ различных способов учета текущей информации при выпуске краткосрочных прогнозов стока. Труды Гидрометцентра СССР, вып. 300, 1988, с. 97-112.

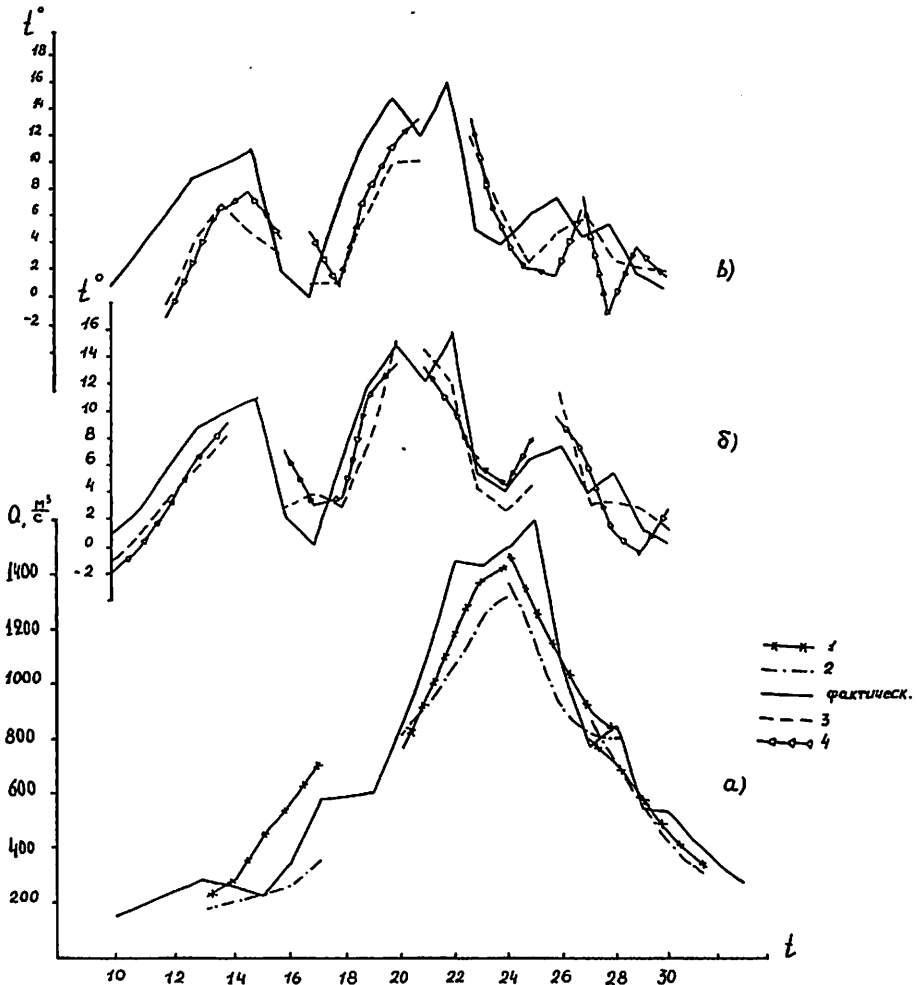


Рис.1. а) Сопоставление фактических расходов р.Ильч(май 1988г.) с прогнозными на пять суток значениями, рассчитанными с учётом на период заблаговременности температуры воздуха по прогнозу 1-м способом(1) и экстраполиции(2). б) и в) Фактическое изменение температуры воздуха и прогноз на одни и трие суток по 1-му способу(3) и 2-му(4).

ПРОГНОЗ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ РЕКИ ПРУТ У ВХОДНОГО СТВОРА КОСТЕШТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ОСАДКАМ

Горная А.И., Серенко Л.К.

Молдгидромет
г.Кишинев, СССР

Резюме

В настоящей работе изложены методы прогноза гидрографа стока, объемов, максимальных расходов воды, слоя и потерь стока дождевых паводков. Актуальность данной работы заключается в том, что прогнозы стока дождевых паводков, составляющих на р.Прут около 70% годового, особенно необходимы для обслуживания комплексного гидроузла Костешты-Стынка, регулирующего этот сток в интересах ряда водопотребителей, основными из которых являются: орошаемое земледелие, водоснабжение, водный транспорт, энергетика, рыбное хозяйство.

The forecast of rain-flood for Prut the river near the inflow-section of the Kostesh reservoirs

Summary

At this scientific work there are prognosis methods of hydrograph of flowing, volumes, maximum expenditure of water, layer and flowing's losses of rain freshets. The actuality of this work lies in the fact that flowing's prognoses of rain freshets, accounting about 70 % of the year flowing are especially important for guaranteeing the work of complex hydroelectric station Kosteshy-Stynka, which regulates this flowing in the interests of the following consumers: irrigating agriculture, water-supply, water transport, power engineering, fish industry.

Прогнозы дождевых паводков по данным об осадках являются одной из наиболее трудных в практическом отношении задач. Трудности ее связаны главным образом с большой неравномерностью процессов формирования дождевого стока и недостатком данных, которые позволили бы учитывать эту неравномерность.

Построение эмпирических зависимостей стока за паводок от количества осадков и некоторых показателей, характеризующих водопоглотительную способность речных бассейнов, получило широкое распространение в практике прогнозов. Отыскание такого рода эмпирических зависимостей дает возможность использовать для определения

объема стока ту ограниченную информацию, которую обеспечивает существующая в данном бассейне система гидрометеорологических наблюдений, не прибегая к детальному расчету водопоглощения и воднобалансовым расчетам (1).

В основу прогноза слоя дождевого стока положено уравнение:

$$Y_{\text{общ}} = Y_{\text{баз}} + Y_{\text{д}}, \quad (1)$$

$$\text{где } Y_{\text{баз}} = 0,04 Q_0. \quad (2)$$

где Q_0 – предпаводочный расход воды (в день выпуска прогноза), который является косвенной характеристикой предшествующего увлажнения почвы.

$Y_{\text{д}}$ определяется по связи рис.1.

$$Y_{\text{д}} = f \left| \sum_{i=0}^t x_i Q_0 \cdot i \right|, \quad \text{где} \quad (3)$$

i – интенсивность дождя, которая определялась только для построения связи по формуле:

$$i = \frac{X - 10}{\sum x}, \quad \text{где} \quad (4)$$

X – сумма осадков за сутки;

$\sum x$ – сумма осадков с начала дождя до даты максимальной величины за сутки.

Построение системы совмещенных корреляционных графиков удобно для практических расчетов. От прогнозируемой величины паводочного стока можно перейти к объему дождевого паводка по существующим в гидрологии формулам.

Критерий применимости предложенной схемы прогноза дождевого стока 0,27, допустимая погрешность слоя стока 8,8 мм (объема – 96,8 млн³).

Для предсказания гидрографа стока дождевых паводков было подобрано три варианта кривых распределения стока (таб.1):

I вариант. Дождевые паводки формируются обычно от единичных дождей, которые охватывают только горную часть бассейна реки. Эти паводки обычно небольшие по объему. Максимальные расходы воды в основном до 400 м³/с. Подъем уровня воды и увеличение притока у входного створа обычно наблюдается на следующие, а максимальный расход (уровень) воды – на вторые сутки после наблюдавшихся максимальных осадков за сутки.

II вариант. Дождевые паводки формируются от выпавших осадков, охватывающих одновременно весь бассейн реки. Подъем уровней воды и увеличение притока наблюдается в день выпавших максимальных

осадков за сутки или на следующие сутки. Время наступления максимальных расходов (уровней) воды от даты максимальных осадков колеблется от 2 до 3 суток и в среднем составляет 2,5 суток. Время добегания максимальных расходов (уровней) воды от пгт Яремча и с. Устерики до с. Корпач составляет двое суток.

III вариант. Дождевые паводки формируются от дождей, которые выпадают несколько дней и бассейн реки начинает орошаться сначала в нижней и центральной части, а затем смещается в горную. В связи с этим подъем уровня воды продолжается трое суток. Начало подъема уровней воды и увеличение притока наблюдается в день выпавших максимальных осадков. Время добегания максимальных расходов (уровней) воды от пгт Яремча и с. Устерики до с. Корпач в среднем составляет 2,5 суток.

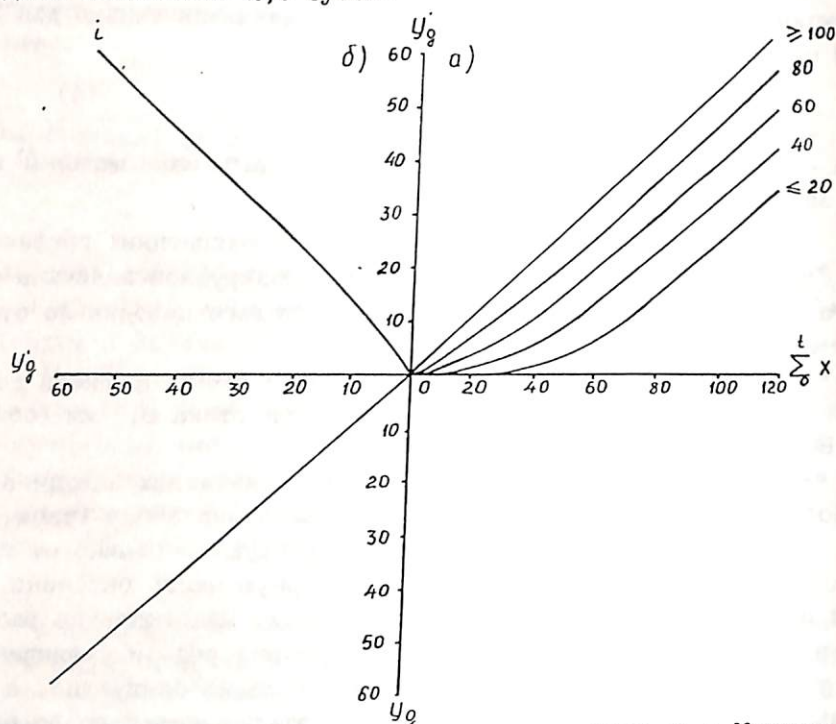


Рис. I. Зависимость дождевого стока, р. Прут у с. Корпач от суммы выпавших осадков $\sum x$, предпаводочного расхода воды Q_0 (цифры у кривых) и интенсивности выпавших осадков i .

Таблица I

Ординаты кривых распределения стока

Вариант кривой распределения стока	Продолжительность паводка (сутки)								
	I	2	3	4	5	6	7	8	9
I	0,25	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,05	0,03
II	0,18	0,31	0,18	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02
III	0,07	0,19	0,32	0,16	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02

Для уточнения ветви спада стока дождевых паводков были рассчитаны ординаты кривых спада стока дождевых паводков. В зависимости от амплитуды максимальных расходов воды было установлено 6 вариантов кривых спада стока. Верхняя кривая спада соответствует более медленному падению расходов воды. Это может наблюдаться при продолжающихся дождях после прохождения максимальных расходов воды. Средняя линия соответствует средним условиям. Нижняя линия - огибающая, соответствует наиболее интенсивному спаду расходов воды, то есть будет соответствовать предельной (так называемой гарантийной) кривой спада. Предельная (гарантийная) кривая спада дает небольшие величины падения расходов воды за рассматриваемый период. Эта кривая спада соответствует бездождному периоду, то есть после интенсивных осадков наблюдается их полное прекращение (2). Уточнение ветви спада гидрографа стока производится после прохождения максимального расхода воды.

По полученным ординатам гидрографа распределения стока было рассчитано 79 гидрографов стока дождевых паводков, оправдываемость получилась удовлетворительной и составила 88 %.

Для предсказания величины максимального расхода воды использовалась однозначная зависимость:

$$Q = f(H) \quad (5)$$

Максимальный уровень определяется по зависимости:

$$\Delta H = f\left(\sum x, H_0\right) \quad (6)$$

на рис.2, где $\sum x$ - сумма выпавших осадков;

H_0 - предпаводочный уровень воды

$$H_{\text{макс}} = \Delta H + H_0 \quad (7)$$

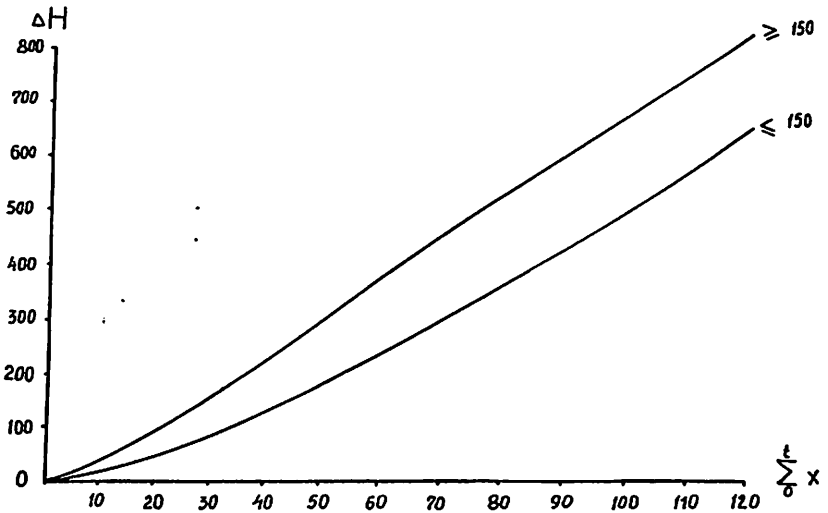


Рис.2. Зависимость подъема уровня воды р.Ирут у пгт Липканы от суммы выпавших осадков и предпаводочных уровней воды (цифры у кривых)

Водпост Корпач (при заполнении водохранилища) находится в подпоре, поэтому прогноз ежедневных максимальных расходов воды и других элементов дождевых паводков составляется на входной створ водохранилища – Липканы, для чего произведен перенос кривой со створа Корпач на створ Липканы.

В заключение отметим, что экономическая эффективность гидрологических прогнозов и предупреждений об опасных явлениях связана с их заблаговременностью. Чем больше заблаговременность прогноза, тем больше возможностей появляется для принятия защитных мер, а следовательно, для предотвращения ущерба.

Разработанная методика позволяет увеличить заблаговременность до 3-х суток, тогда как время руслового добегания до замыкающего расчетного створа составляет всего около 12-24 часов.

Усилия гидрологов направлены сейчас на более глубокое изучение гидрологических процессов, на повышение надежности приемов прогноза. Но на этом пути еще много трудностей, преодоление кото-

рых связано с дальнейшим изучением процессов, расширением гидрометеорологических наблюдений, автоматизации производства и сбора информации и главное повышением надежности прогнозов погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы - Л.: Гидрометеиздат, 1979 - 108-128 с.
2. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов - Л.: Гидрометеиздат, 1960, 1974 - 127-130 с.
3. Наставление по службе прогнозов, раздел 3, часть I - Л.: Гидрометеиздат, 1962.

NIEDERSCHLAGSMESSUNG UND -VORHERSAGE MITTELS WETTERRADAR

Johann Riedl

Deutscher Wetterdienst
 Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
 Bundesrepublik Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Im Radarverbund des Deutschen Wetterdienstes (DWD) werden sowohl qualitative Bilddaten als auch quantitative Niederschlagsdaten erzeugt, die auch der Wasserwirtschaft zur Verfügung gestellt werden. Außer der Nutzung zur Niederschlagsmessung sind Radardaten auch für die Kurzzeitvorhersage anwendbar. Das gebräuchlichste Verfahren hierzu ist die lineare Extrapolation. Die Hauptprobleme bestehen in störenden Bodenechos, Strahlabschattung und im Schmelzzonenbereich. Zu diesen Problemkreisen gibt es Lösungsansätze. Die Genauigkeit von Radar-Niederschlagsdaten kann durch Korrektur anhand von Regennmesserdaten verbessert werden.

ABSTRACT

Qualitative image data as well as quantitative precipitation files are generated by the Deutscher Wetterdienst (DWD) radar network, which are also distributed to hydrological users. Radar data can be used for precipitation measurements and also for nowcasting purposes by linear extrapolation techniques. The main problems in radar meteorology are caused by ground clutter, beam obstruction and bright band effects. Work on solution of these problems is already on the way. The accuracy of radar precipitation measurements can be increased by adjusting the radar data with rain gauge results.

1 EINLEITUNG

Die Ortung von Niederschlagsgebieten und die Beobachtung ihrer Verlagerung mit Hilfe von Radarwellen ist ein schon seit langem bekanntes Verfahren. Seine operationelle Nutzung sowohl als Einzelinformation als auch von Netzwerken ist inzwischen in vielen Wetterdiensten eingeführt. Noch weit weniger genutzt wird das Radarverfahren zur quantitativen Flächen-Niederschlagsmessung. Es sind aber gerade in jüngster Zeit einige Projekte in Angriff genommen worden, die auch diese Nutzungsform mit beinhalten (z. B. NEXRAD, FRONTIERS, FRICS, s. Collier and Chapuis 1990).

2 PROJEKT RADARVERBUND DES DWD

Der DWD baut zur Zeit im Rahmen des Projektes "Radarverbund" ein Netz von neuen Wetterradaranlagen flächendeckend über der Bundesrepublik Deutschland auf (Riedl 1990). Die Lage der vorgesehenen insgesamt 12 Standorte ist aus Abbildung 1 zu ersehen. In Betrieb sind bereits die Anlagen an den Standorten München, Frankfurt und Hamburg; als nächste ist die Anlage in Essen vorgesehen.

Die Radaranlagen werden in mehrfacher Hinsicht genutzt, weshalb in den technischen Spezifikationen auch einige Kompromisse erforderlich waren. Einerseits sollen die Radargeräte qualitative Bilddaten für die synoptische Kurzzeitvorhersage (Nowcasting) liefern, andererseits sollen sie auch zur Gewinnung von quantitativen Flächenniederschlagsdaten dienen.

2.1 DATENERFASSUNG

Für die Bilderneuerungsrate der lokalen quantitativen Produkte sind von den Nutzern maximal 15 Minuten gefordert worden. Die Radaranlage startet daher zu Beginn jeder Viertelstunde eine Raumabtastung, die aus einer Sequenz von maximal 20 Elevationswinkeln besteht. Die Echowerte (Radarreflektivität in dBZ) werden dabei bis zu einer Entfernung von 230 km erfaßt und anschließend im Steuer- und Auswerterechner in einem Datenquader von 400 km x 400 km x 12 km einsortiert. Dabei wird eine polarstereographische Projektion (60° N, 10° E) berücksichtigt. Aus diesem Datenquader werden alle späteren Bildprodukte entwickelt.

Die Datenerfassung für die Niederschlagsprodukte erfolgt in einem getrennten Zyklus. Frühere Untersuchungen (Aniol und Riedl 1979) haben gezeigt, daß für ausreichende Genauigkeit bei der Radar-Flächenniederschlagsmessung die Abtastfolge fünf Minuten nicht wesentlich überschreiten darf. Aus diesem Grund wird die Raumabtastung jeweils zu vollen fünf Minuten unterbrochen und eine möglichst bodennahe Abtastung eingeschoben. Der Elevationswinkel kann dabei in 45°-Sektoren der Umgebungsorographie angepaßt werden. Die Echodaten werden bis zu einer Entfernung von 100 km übernommen und in einer Datenscheibe von 360° x 100 km zwischengespeichert. Diese Daten bilden die Ausgangsbasis für die Niederschlagsdateien.

2.2 DATENAUSWERTUNG UND PRODUKTGENERIERUNG

Es wird hier nur auf die Bildprodukte eingegangen, die für Nutzer aus der Hydrologie von Interesse sein können.

Das Hauptbildprodukt PL (lokale Echoverteilung) wird aus dem Datenquader extrahiert. Im sogenannten Grundriß zeigt es die Echoverteilung in der untersten bodenechofreien Höhenschicht. Die Projektionen der stärksten Echos in Seiten- und Aufriß zeigen dem Synoptiker die vertikale Erstreckung des Niederschlags und damit Hinweise zur Unterscheidung zwischen advektiven und konvektiven Niederschlagsformen. Mit Hilfe einer im Rechner gespeicherten Bodenechodatei, die an niederschlagsfreien Tagen aufgenommen wurde, lassen sich die im Normalfall mit Bodenechos kontaminierten Gebiete im Bild ausblenden. Abbildung 2 zeigt ein PL-Bild mit einem ausgedehnten Niederschlagsgebiet über dem Einzugsgebiet des Donauoberlaufes. Das PL-Produkt ist auch für die Wasserwirtschaft von Interesse, da es einen Überblick über die Niederschlagssituation einer Fläche von 400 x 400 km vermittelt.

Die im quantitativen Meßzyklus aufgenommenen dBZ-Werte werden im Radarrechner über die vom Operator gewählte mittlere Z/R-Beziehung

in Niederschlagsintensität (mm/5 min) umgerechnet. Aus jeweils 12 5-Minuten-Werten werden Stundensummen gebildet und auf Magnetband abgespeichert. Die Daten bleiben aber im Polarkoordinatensystem (λ x Grad). Bei der Speicherung wird eine Datenkompression durchgeführt, durch die niederschlagsfreie Elemente unterdrückt werden. Auch bei dieser Messung ist eine Berücksichtigung von Bodenechos über eine entsprechende Bodenechodatei möglich. Allerdings werden hier nur die Werte der normalerweise mit Bodenechos kontaminierten Flächenelemente in einem besonderen Bit gekennzeichnet und die weitere Entscheidung dem späteren Nutzer überlassen. Neben der einstündigen Niederschlagsdatei hält der Rechner auch eine Zwischensummendatei vor, in der die Stundenwerte bis zur Tagessumme (jeweils von 6.30 bis 6.30 UTC) aufaddiert werden. Zur optischen Darstellung kann eine solche Datei in einem Personal Computer in ein Falschfarbenbild umgesetzt werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 3 wiedergegeben. Deutlich darauf zu sehen sind auch die Effekte von gänzlicher bzw. teilweiser Strahlabschattung.

Neben diesen Standardprodukten können noch einige Sonderprodukte auf Anforderung durch den Operator hergestellt werden.

2.3 DATENVERTEILUNG

Der Radarrechner überträgt die fertigen Produkte an das wetterdienstinterne Kommunikations- und Darstellungssystem. Die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer haben direkt am Radarrechner Zugriff zum Abruf des PL-Produktes und der Datei der einstündigen Niederschlagshöhen. Die Abgabe erfolgt mit Hilfe eines speziellen Kommunikationsprozessors über DATEX-P (= X.25).

3 MÖGLICHKEITEN DER VORHERSAGE

Grundsätzlich geben die Radardaten den Ist-Zustand in der Atmosphäre wieder. Sie können aber auch - oft in Verbindung mit anderen Daten wie Satellitendaten, Bodenbeobachtungen und Ergebnissen von numerischen Wettervorhersagemodellen - für die Kurzzeitfristvorhersage (nowcasting) Verwendung finden. Viele bahnbrechende Arbeiten auf diesem Gebiet wurden im britischen Wetterdienst durchgeführt (Collier 1989).

Die zunächst einfachste und am meisten angewandte Technik ist die lineare Extrapolation der Verlagerung von Echogebieten. Während dies einem geübten Radarbeobachter aus entsprechend aufbereiteten Radarbildern relativ leicht gelingt, bereitet die Automation doch einige Schwierigkeiten und erfordert erheblichen Computeraufwand. Für den Computer einfacher ist die Bildung der Verlagerungsvektoren aus den Schwerpunkten der Echogebiete (meist konvektive Systeme); aber auch hier liegt die Schwierigkeit in der Definition des Schwerpunktes. In der Praxis haben sich bisher interaktive Systeme am besten bewährt, bei denen automatisch erarbeitete Daten durch die Eingabe subjektiver Beobachtungsdaten ergänzt werden (z. B. die FRONTIERS). Für Verlagerungsvorhersagen insbesondere hat sich die Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse in der unteren Troposphäre, z. B. der 700-hPa-Fläche, als recht vorteilhaft erwiesen.

Zur Verbesserung der quantitativen Niederschlagsvorhersagen können flächendeckende Radar-Niederschlagsdaten als Eingangsgrößen in die entsprechenden numerischen Vorhersagemodelle beitragen.

4 PROBLEME UND ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN

Eine der Hauptschwierigkeiten in der Radarmeteorologie stellen die Festzielechos dar, die entweder von permanenten Hindernissen im Radarstrahl verursacht werden oder von Bodenzielen stammen, die vom Radarstrahl infolge anormaler Ausbreitungsbedingungen berührt werden. Während ein geübter Radarbeobachter meist in der Lage ist, Festzielechos von Niederschlagsechos zu unterscheiden, stößt diese Trennung bei automatischer Auswertung durch Computer auf z. T. erhebliche Schwierigkeiten, die mit nur einem einzigen Verfahren nicht zu überwinden sind. Mit Hilfe von sogenannten Bodenechodateien können im aktuellen Fall an den markierten Stellen die Echos als vermutliche Bodenechos ausgeblendet werden. Man erhält aber auf diese Weise "blinde Flecken" im Radarbild. Bodenechos aufgrund anormaler Ausbreitungsbedingungen sind auf diese Weise aber nicht zu beherrschen. Einen Schritt weiter helfen hier Dopplerradargeräte, bei denen sich durch geeignete Tiefpaßfilter die Spektralbereiche um den Nullpunkt des Geschwindigkeitsspektrums herausdämpfen lassen. Allerdings kann dabei auch Niederschlag unterdrückt werden, wenn die Windgeschwindigkeit sehr gering ist oder die Richtung genau senkrecht zum Radarstrahl liegt.

Bei Abschattung des Radarstrahls durch Hindernisse werden azimutale Lücken meist durch Interpolation der Nachbarfelder aufgefüllt.

Erhebliche Verfälschungen des Radarergebnisses können durch unterschiedliche Aggregatzustände im Radarvolumen verursacht werden. Insbesondere beim Durchstrahlen des Schmelzzonenbereiches steigt das Echo stark an, der bekannte Bright-band-Effekt. Die unkorrigierte Umrechnung dieser Reflektivitätswerte in Niederschlag führt zwangsläufig zu starker Überschätzung. In Großbritannien und Schweden gibt es bereits Ansätze für Korrekturverfahren (z. B. Persson und Lundgren 1986).

Bei der Radar-Flächenniederschlagsmessung wird verbreitet das Radarergebnis durch Vergleich mit Bodenmeßergebnissen korrigiert; der Vorgang wird auch Aneichung genannt. Die Zeitintervalle, nach denen die Aneichung durchgeführt wird, sind in den einzelnen Ländern unterschiedlich und reichen von 15 Minuten über eine Stunde bis zu 24 Stunden. Bei diesen Vergleichen ist immer zu berücksichtigen, daß der Bodenwert, resultierend aus einer Auffangfläche von 200 cm^2 , dem Radarwert gegenübersteht, der aus einem Rückstreuolumen von ca. $0,5 \text{ km}^3$ in 1 bis 2 km Höhe gebildet wird. Umfangreiche Vergleichsergebnisse liegen in Großbritannien vor. Für frontgebundene Niederschläge ohne Bright-band-Effekt gibt Collier (1986) einen mittleren Quotienten der einstündigen Regenhöhen von Radar-/Bodenwert im Nahbereich von ca. 0,8 an, der mit zunehmender Entfernung stetig auf ca. 0,4 in 75 km abnimmt. Bei Schauerereignissen dagegen steigen die Quotienten von ca. 0,7 auf ca. 2,0 mit der Entfernung. Für 24stündige Niederschlagshöhen liegen die mittleren

Quotienten aus 4 bis 5 Jahren je nach Güte des Radarstandortes bei 0,95 bis 0,71 im Entfernungsbereich 30 - 70 km (s. Brownscope and Hems 1990).

Im Radarverbund des DWD ist eine Aneicherung in Echtzeit noch nicht möglich, solange das Netz von automatisch fernmeldenden Niederschlagsmessern nicht zur Verfügung steht. Für die Zukunft ist durch Verbesserung der Korrekturverfahren eine Steigerung der Genauigkeit der quantitativen Daten zu erwarten. Durch Einsatz der Dopplertechnik kann das Bodenechoproblem deutlich entschärft werden. Für die deutsche Wasserwirtschaft werden neben den einstündigen quantitativen Niederschlagshöhen im 100-km-Umkreis von jedem Radarstandort auch die Bilddaten im 400 x 400 km Bereich abrufbar sein. Diese Bilddaten lassen sich als Komposit auch zu einer Übersicht über größere Einzugsgebiete zusammensetzen und so für Entscheidungen in Steuerungsfragen mit heranziehen.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- Aniol, R. und J. Riedl (1979): Quantitative Radar-Flächenniederschlagsmessung: Problematik und praktische Erfahrungen. Meteor. Rdsch. 32 (1979), S. 116-127.
- Brownscope, J.L. and B.D. Hems (1990): Comparison of radar precipitation measurements with a dense network of raingauges - Application to radar networking. Weather Radar Networking 1990, p 426-433.
- Collier, C.G. (1986): Accuracy of rainfall estimates by radar; part II: Comparison with raingauge network. Journal of Hydrology, 83 (1986), p 225-235.
- Collier, C.G. (1989): Applications of weather radar systems, a guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. Ellis Horwood Ltd., Chichester (UK), 1989.
- Collier, C.G. and M. Chapuis (Editors) (1989): Weather radar networking, Seminar on COST Project 73. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (NL), 1990.
- Persson, O. and P. Lundgren (1986): Reduction of melting level effects on radar rain rate estimates. PROMIS Reports No. 5, SMHI, Norrköping (S), 1986.
- Riedl, J. (1990): The weather radar network of the Deutscher Wetterdienst, Progress report. Weather Radar Networking, 1990, p 86-90.

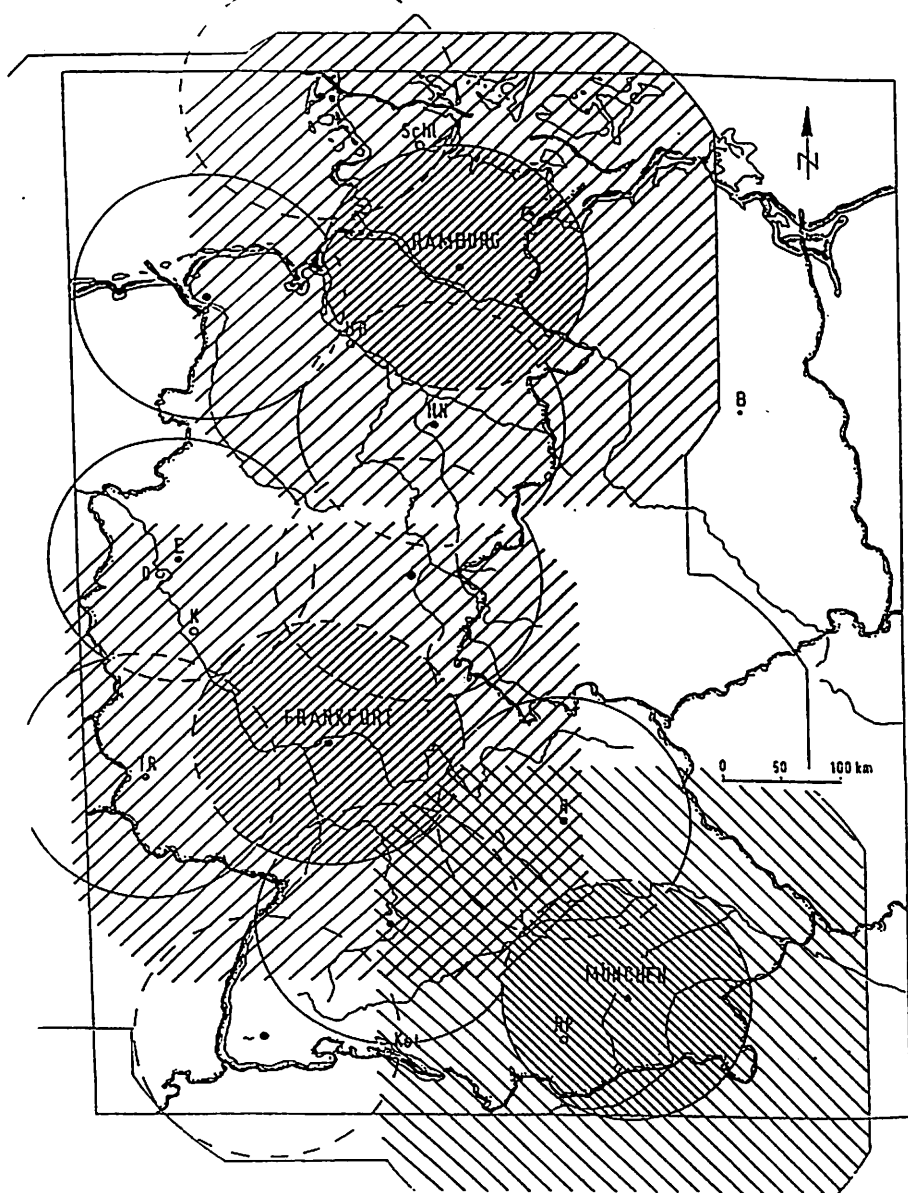


Abb. 1: Standorte des DWD-Radarverbundnetzes. Bilddatenbereich und Niederschlagsmeßbereich (100-km-Kreise) sind an den bereits in Betrieb befindlichen Standorten gekennzeichnet.

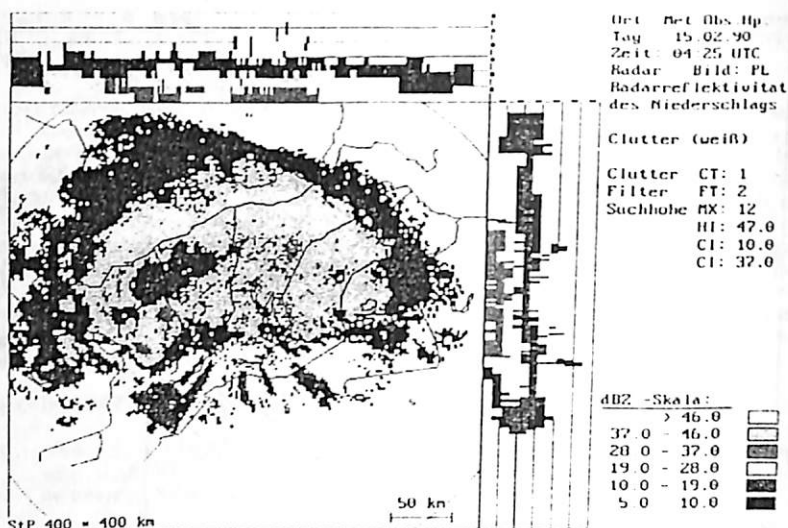


Abb. 2: Bildprodukt PL-Darstellung der Echoverteilung im 400 x 400 km Bereich (Grundriß) und Höhenersreckung (bis 12 km) der Echos (Seiten- und Aufriß).

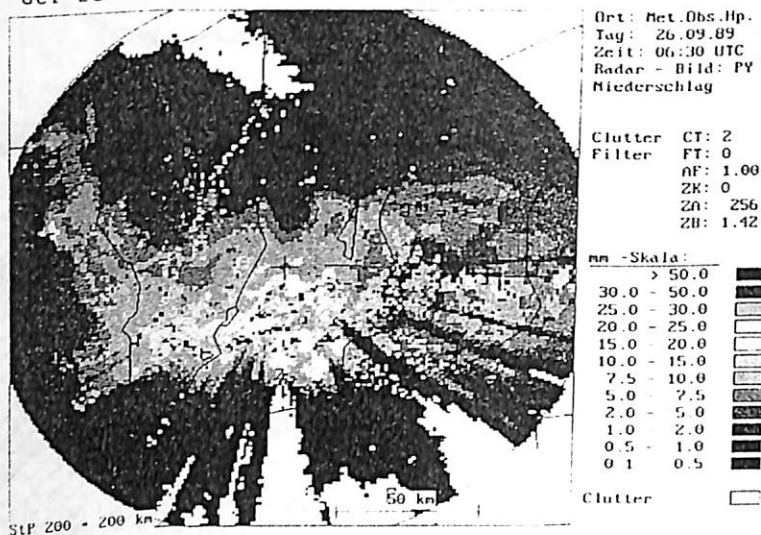


Abb. 3: Bildliche Darstellung (100-km-Radius) der 24stündigen Niederschlagssumme, 25.09., 6.30 UTC bis 26.09.1989, 6.30 UTC.

**3. ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ
В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ И УЧЕТ
ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**ANWENDUNG DER HYDROLOGISCHEN
PROGNOSEN IN DER WASSERWIRTSCHAFT
UND DIE BERUECKSICHTIGUNG IHRER
OEKONOMISCHEN EFFECTIVITAET**

XV КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОГНОЗАМ, СОФИЯ, 1990

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Прохаска, С.И., Бартош, Б.И., Милутин, Д.Н., Ивезич, Л.И.,
Институт водного хозяйства им. "Дрослава Черни",
Белград, Югославия

Р е з ю м е

В настоящей статье показана структура математической модели оттока воды из водохранилища, являющаяся составляющей общей модели притока воды на сложных речных системах с водохранилищами в реальном времени. Для определенных вариантов использования воды из водохранилища, при существовании прогноза притока воды, модель дает прогноз выходного гидрографа и отметки уровней воды верхнего бьефа. В работе дается пример применения модели для реальных условий одного из водохранилищ на реке Дрине.

This paper presents the structure of mathematical method used for computing outflow discharges from the reservoirs, as a component of general mathematical model for forecasting the river flow in complex river system. The model requires the forecasted inflow in the reservoir and for the specific option of possible use of water from reservoir gives the forecasts of outflow hydrograph and water levels in the reservoir.

The paper is illustrated by results of its application in real conditions of one reservoir in the Drina river basin.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных объектов для защиты от наводнения являются водохранилища, которые значительно влияют на распластывание паводочных волн. Зидоизменение входного гидрографа состоит в изменении распределения водных масс по времени и в изменении пика гидрографа и то, как правило, в смысле увеличения временного базиса и уменьшения пика паводка. Между тем, эффекты влияния водохранилища могут быть и обратные, в зависимости от способа управления водосбросными органами. В таком случае могут наступить искусственные совпадения паводочных волн, вызывая увеличение пиков паводков, по отношению к тем, которые появились бы в естественных условиях, т.е. в условиях без водохранилищ.

Ниже дается краткое описание методологического подхода к решению задачи математического моделирования распластывания паводочной волны водохранилищами, одним из назначений которых является и защита от наводнений и его применение в реальном времени.

2. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ

Расчет распластывания паводочных волн водохранилищами основывается на модифицированном Пульс-методе, который детально рассматривается в литературе / /.

Основой является уравнение неразрывности потока, которое записывается в форме:

$$\frac{I_1 + I_{i-1}}{2} + \left(\frac{S_{i-1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i-1}}{2} \right) - Q_{i-1} = \frac{S_i}{\Delta t} + \frac{Q_i}{2} \quad (1)$$

где:

I_i - расход воды на входе в водохранилище в момент времени i , /м³/с/,

Q_1 - расход воды на выходе из водохранилища
в момент времени t , $/\text{м}^3/\text{с}/$,

S_1 - состояние объема воды в водохранилище
в момент времени t , $/\text{м}^3/\text{с}/$,

Δt - расчетный интервал времени $/\text{с}/$

При этом предполагается, что:

а/ Площадь водного зеркала в водохранилище - горизонтальная

б/ Расход воды из водохранилища является однозначной функцией
объема воды в водохранилище.

Так как все виды расходов воды через плотину водохранилища
можно представить в виде функции уровней верхнего бьефа, а
также учитывая предположение а/, вытекает:

$$Q_{uk} = f(z) = \Psi(s) \quad (2)$$

где:

Q_{uk} - общий расход воды из водохранилища $/\text{м}^3/\text{с}/$

$$Q_{uk} = OPR + OI + OTUR$$

OPR - расход через водосборные органы $/\text{м}^3/\text{с}/$

OI - расход через водоспускные органы $/\text{м}^3/\text{с}/$

OTU - расход через турбины $/\text{м}^3/\text{с}/$

Z - уровень воды в водохранилище $/\text{м.н.м.}/$

Комбинированием выше приведенных уравнений можно получить
прямую зависимость расхода воды из водохранилища и объема
воды в нем:

$$Q = f\left(\frac{S}{\Delta t} + \frac{Q}{2}\right) \quad (3)$$

На практике эта зависимость формируется на основе морфометрических и технических характеристик водосборных и водоспускных органов.

Вводя обозначение момента времени, уравнение /3/ будет:

$$Q_1 = f \left(\frac{S_1}{\Delta t} + \frac{Q_1}{2} \right) \quad (4)$$

и в сущности представляет собой основную зависимость для расчета расхода из водохранилища в момент времени .
Выражение в скобках на правой стороне уравнения /4/ является известным в момент времени , так как вычисляется по уравнению /1/. Это практически значит, что для расчета расхода воды из водохранилища, по изложенному методу, должны быть известны ординаты входного гидрографа и функциональная зависимость, определяемая уравнением /3/.

Для практического использования изложенных процедур сделан генеральный софтвер.

Входные данные:

1. Кривая расходов водохранилища $S = f(Z)$
2. Возможные варианты расхода воды из водохранилища в зависимости от уровня $Q = (Z)$

Варианты описывают полное или частичное включение:

- водосборных органов
- турбин
- водоспусков
- комбинации приведенных вариантов

3. Входные гидрографы I

Выходные данные - вычисленные значения:

1. Выходные гидрографы, O
2. Уровни воды в водохранилище, Z

Программа работает интерактивно и требует данные о интервалах времени Δt , и очередной номер варианта.

Программа дает возможность изменения вариантов в течение расчета /переход с одного на другой, значительно отличающийся вариант/, а также и изменения расчетного интервала времени. Процент включения расходования воды по отдельным вариантам дается также интерактивно. Такие качества интерактивного софтвера дают возможность предшествующего опорожнения водохранилища с целью уменьшения паводочной волны вниз по течению от плотины.

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ

Для практического применения модели использованы данные одного из водохранилищ а бассейне р. Доины.

Предполагается, что известен, спрогнозирован, входной гидрограф с требуемой заблаговременностью и что известен уровень воды в водохранилище в момент начала расчета.

Расчет производится для различных вариантов работы водохранилища, т.е.:

- один вариант в течение всего периода заблаговременности,
- изменение вариантов в течение этого периода.

В конкретном случае определены следующие возможные варианты:

1. Водосброс /+ турбины/
2. Водосброс + I водоспуск /+ турбины/
3. Водосброс + 4 водоспуска /+ турбины/
4. I водоспуск /+ турбины/
5. 4 водоспуска /+ турбины/
6. Турбины

Предусмотрено, чтобы турбины работали с переменной мощностью, что определяется процентом работы. Заданы ограничения, обеспечивающие, чтобы уровни воды в верхнем бьефе находились всегда между отметками минимального и максимального подпора.

Результаты расчетов показаны в прилагаемой таблице, в которой

даны следующие входные - выходные переменные:

- QUL - известный прогнозированный гидрограф на входе в водохранилище
- Z - прогнозированное значение отметки уровня воды в верхнем бьефе для текущего варианта
- QULSR - среднее значение входного расхода в интервал времени
- QIZ - прогнозированное значение выходного гидрографа
- ZPRE - прогнозированное значение отметки уровня воды в верхнем бьефе для предыдущего варианта

Результаты расчетов выходного гидрографа для различных вариантов управления показаны на рис. I и 2.

Как показано, выбирая различные варианты работы, применением настоящей модели, возможно получить различные формы выходного гидрографа для одного и того же входного гидрографа.

Таким образом, настоящую модель можно эффективно использовать в качестве составляющей управленческой модели для случая каскада водохранилищ, т.е. на сложных речных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prohaska, S., Simonovic, S., Development of the river Sava basin simulation model. Vode Vojvodine, Novi sad, 1985.
2. Group of authors, Simulation model of the Sava river - the first and the second phase. Documentation of the Jaroslav Cerni Institute, Belgrade 1985.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ВЫХОДНОГО ГИДРОГРАФА

HE BAJINA BASIA

=====

OPTION : SPILLWAY + 1 OUTLET (+TURBINES) :(1, 202)

I	I	I	I	QIN	I	7	I	QIN_MD	I	V/DT+0001/21	I	QOUT	I	Z_BEF	I			
1	1	0	255.00	250.00	0.00	1756.46	87.00	250.00	1	1	0	255.00	250.00	0.00	1756.46	87.00	250.00	1
2	6	266.25	250.93	260.65	1950.09	88.95	250.93	1	2	6	266.25	250.93	260.65	1950.09	88.95	250.93	1	
3	12	277.50	251.91	271.98	2113.01	91.01	251.91	1	3	12	277.50	251.91	271.98	2113.01	91.01	251.91	1	
4	18	288.75	252.94	283.15	2305.12	93.17	252.94	1	4	18	288.75	252.94	283.15	2305.12	93.17	252.94	1	
5	24	300.00	254.02	294.58	2506.33	95.44	254.02	1	5	24	300.00	254.02	294.58	2506.33	95.44	254.02	1	
6	30	312.50	255.15	306.25	2717.13	97.81	255.15	1	6	30	312.50	255.15	306.25	2717.13	97.81	255.15	1	
7	36	325.00	256.34	318.75	2938.07	100.31	256.34	1	7	36	325.00	256.34	318.75	2938.07	100.31	256.34	1	
8	42	337.50	257.58	331.25	3169.00	102.92	257.58	1	8	42	337.50	257.58	331.25	3169.00	102.92	257.58	1	
9	48	350.00	258.87	344.75	3409.84	105.63	258.87	1	9	48	350.00	258.87	344.75	3409.84	105.63	258.87	1	
10	54	352.50	260.12	351.25	3655.46	108.27	260.12	1	10	54	352.50	260.12	351.25	3655.46	108.27	260.12	1	
11	60	355.00	260.99	353.75	3900.94	110.23	260.99	1	11	60	355.00	260.99	353.75	3900.94	110.23	260.99	1	
12	66	357.50	261.86	356.25	4146.05	112.20	261.86	1	12	66	357.50	261.86	356.25	4146.05	112.20	261.86	1	
13	72	360.00	262.73	358.75	4393.50	114.16	262.73	1	13	72	360.00	262.73	358.75	4393.50	114.16	262.73	1	
14	78	352.50	263.58	356.25	4635.59	116.08	263.58	1	14	78	352.50	263.58	356.25	4635.59	116.08	263.58	1	
15	84	345.00	264.40	348.75	4882.76	117.93	264.40	1	15	84	345.00	264.40	348.75	4882.76	117.93	264.40	1	

OPTION : SPILLWAY + 1 OUTLET (+TURBINES) :(1, 302)

16	90	337.50	265.19	341.75	5091.58	119.72	265.19	1
17	96	330.00	265.94	343.75	5305.61	121.41	265.94	1
18	102	341.25	266.70	355.65	5519.63	123.13	266.70	1
19	108	352.50	267.15	366.84	5743.58	126.10	267.15	1
20	114	363.75	267.30	358.15	5785.60	126.20	267.30	1
21	120	375.00	267.49	350.58	5838.78	126.33	267.49	1

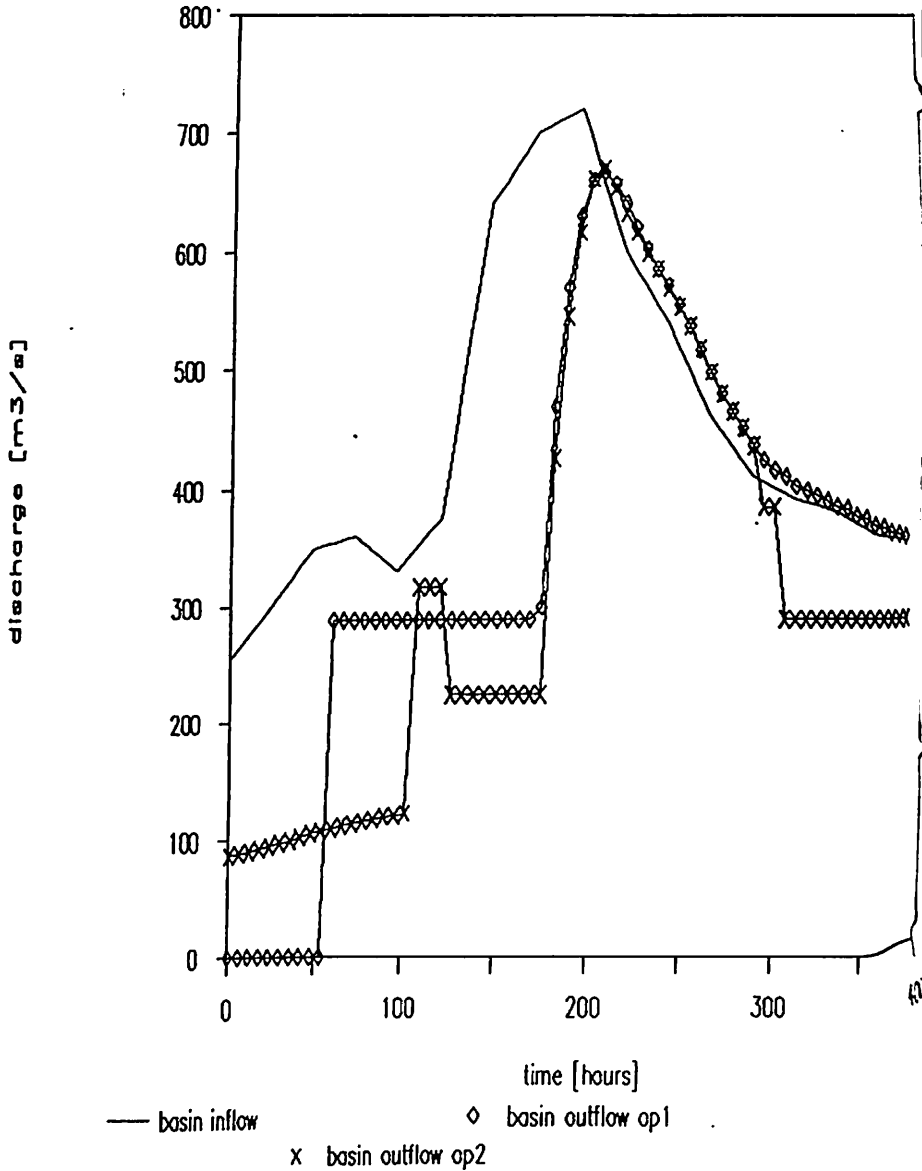
OPTION : SPILLWAY (+TURBINES) :(1, 352)

22	126	441.25	267.98	408.15	5930.58	124.00	267.98	1
23	132	507.50	268.86	474.54	6180.95	124.00	268.86	1
24	138	573.75	269.99	540.65	6407.58	124.00	269.98	1
25	144	640.00	270.86	610.84	6880.45	124.00	270.86	1
26	150	655.00	271.82	667.54	7303.95	124.00	271.82	1

Рис 1 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ДЕПХОВОГО ГИДРОГРАФА

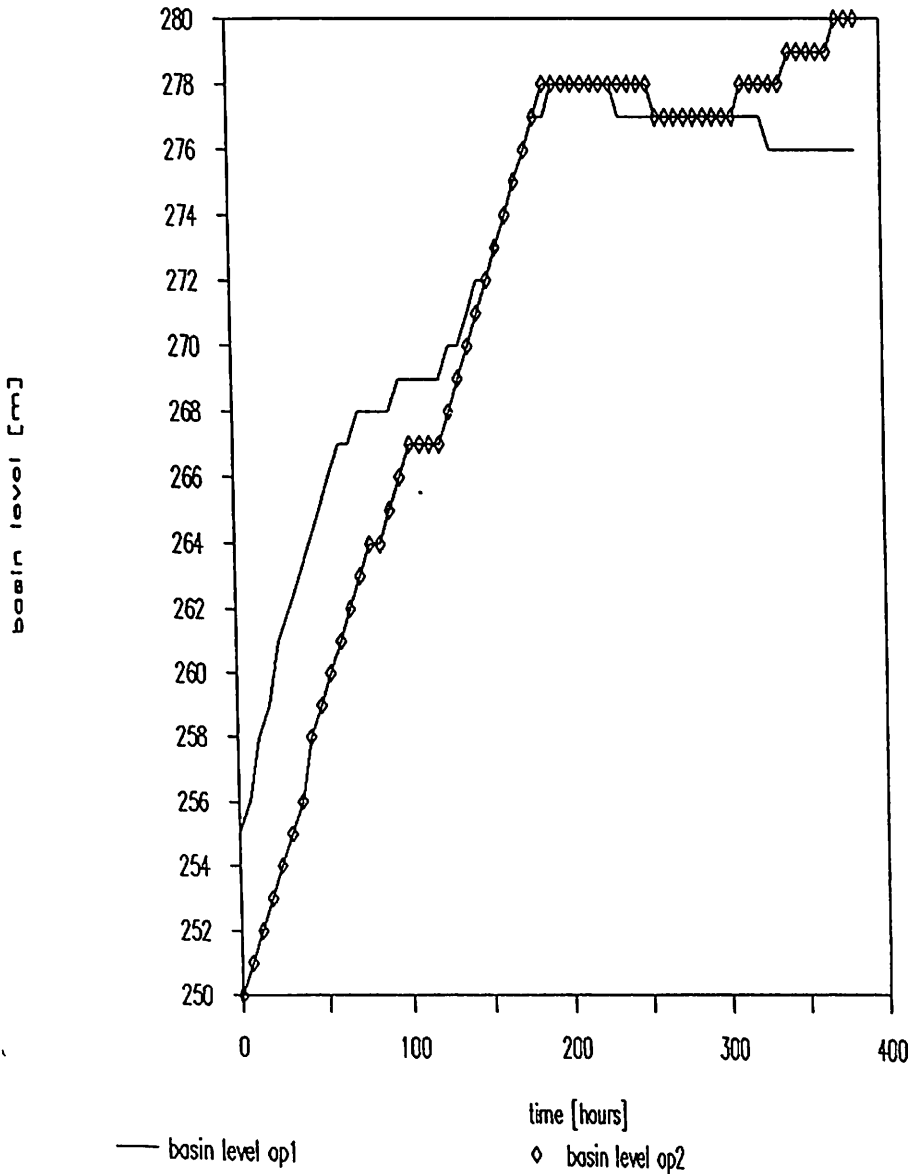
BAJINA BASTA BASIN

OPTIONS No1 AND No2



BAJINA BASTA BASIN

OPTIONS No1 AND No2



РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ РЕКИ ДУНАЙ У ГОРОДА РУСЕ

А. Димитров, Г. Здравкова

Институт Метеорологии и Гидрологии - БАН, София

The paper is devoted to the experience in long term prediction of the Danube low flow. The forecasting technique used is the physical-statistical method based on atmosphere activity, - river discharge relations. Analysis of the forecasting errors and of the factors influencing on their variability is performed. Finally a conclusion is made on the efficiency of the physical-statistical method as a forecasting tool.

Известно, что оправдываемость долгосрочных прогнозов осадков, заблаговременность на месяц и более, пока очень плохая. Имея в виду, что атмосферная активность является существенным фактором формирования режима стока, в качестве прогностического метода, можно использовать физико-статистический метод [1]. Он основан на эмпирически утвержденном предположении о существовании линейных связей между временной изменчивостью атмосферных полей в некоторых зонах Северного полушария, названных "районами максимальной информативности" (РМИ), и прогнозируемой величиной, с некоторым сдвигом во времени. Цель данной работы обобщить накопленный опыт оперативного применения этого метода и этого определить эффективные способы его применения в целях повышения оправдываемости прогнозов. Основные вопросы которые надо решать это: нахождение оптимального расположения РМИ, соответствующие атмосферные поля, совокупность оптимальных предсказателей и прогностических уравнений в условиях оперативного получения данных и достаточно хорошая оправдываемость прогнозов.

Физико-статистический метод предусматривает в качестве первого шага нахождение оптимального местоположения РМИ. С этой целью [2] вычисляются парные коэффициенты корреляции предиктанта (месячные минимальные уровни) и средномесечные величинами соответствующего атмосферного поля, со сдвигом во времени, в узлах регулярной сетки Северного полушария. Изготавливаются карты изокоррелят, которые являются основой поиска зон повышенной линейной связи между атмосферными полями и предиктантами. Каждой прогнозируемой величине соответствует ряд изокоррелянтных карт по разным атмосферным полям и разным сдвигам во времени. При анализе

выделяются только те узлы регулярной сетки, в которых вычисленные коэффициенты корреляции, при доверительной вероятности 0,90, являются значимыми. Следующим шагом сжатия информации является разложение атмосферного поля РМИ в ряд главных компонентов - естественные ортогональные функции ЕОФ. Обычно, чтобы дисперсия разложения превышала уровень 95% дисперсии исходного поля, достаточно ограничиться 6-8 членами. Поэтому, во всех случаях дальше принято, в множестве возможных предикторов включать первые 10 коэффициентов разложения по ЕОФ в РМИ. Множество возможных

Таблица 1. Прогностические уравнения и результаты.

Объект прог- ноза	Абс. ошиб- ка	S/ σ		P(F)	Чис- ло пер.	Предиктор 1	Предиктор 2	Предиктор 3
		зави- симая	не- зав.			перем. p(t)	перем. p(t)	перем. p(t)
X ₈₁	523 [m ³]	0.59	0.68	.0001	2	P ^A ₅ 50-65 20-70 .001	Sep. .004	
XI ₈₁	1520	0.46	0.64	.0	3	A ^A ₈ 40-50 250-340 .0	P ^A ₁₀ 40-55 10-30 .0	Sep. .11
XII ₈₁	1270	0.38	0.44	.0	2	A ^A ₁₁ 25-45 30-60 .0	Nov. .0	
X ₈₂	-201	0.53	0.67	.0001	3	A ^A ₈ 25-50 180-210 .0	P ^A ₄ 20-40 60-120 .015	Sep. .02
XI ₈₂	-377	0.58	0.71	.0007	3	P ^A ₁₀ 50-65 40-90 .0	P ³ ₁₀ 50-65 40-90 .013	P ⁶ ₁₀ 50-65 40-90 .02
XII ₈₂	1100	0.50	0.56	.0	2	P ^A ₁₀ 35-50 110-130 .0	Nov. .0	
X ₈₃	214	0.57	0.75	.0	3	A ^A ₈ 25-50 180-210 .01	A ^A ₈ 50-65 20-70 .05	Sep. .013
XI ₈₃	411	0.63	0.71	.0	1	P ^A ₁₀ 50-65 40-90 .0		
XII ₈₃	-619	0.45	0.58	.0	3	P ^A ₁₀ 30-55 350-30 .0	Sep. .08	Nov. .0
X ₈₄	226	0.58	0.74	.0	3	A ^A ₆ 30-45 90-130 .02	A ^A ₉ 35-55 0-30 .003	Sep. .07
XI ₈₄	259	0.43	0.55	.0	3	A ^S ₁₀ 40-60 350-20 .0	P ^A ₁₀ 45-65 40-90 .0	Oct. .008
XII ₈₄	-311	0.47	0.58	.0	3	A ^A ₁₀ 35-60 350-20 .07	Sep. .016	Nov. .006

предикторов дополняется также данными о предшествующей водности [3] представляющими собой месячные минимальные уровни в рассматриваемом створе, предшествующие периоду предиктанта со сдвигом не менее одного месяца. Таким образом, каждому предиктанту сопоставляется множество возможных предсказателей. Число РМИ по каждому

предиктанту составляет обычно 2 - 3, а возможные предсказатели 30-40. В качестве эффективного метода при просеивании предсказателей использован "Leaps and bounds" [4] метод регрессионного анализа. Дополнительно создана возможность выпуска проверочных независимых прогнозов по методу скольжения и вычисления дисперсионного соотношения оценки точности прогнозов S/σ (здесь S и σ - эмпирические оценки среднеквадратичных отклонений ошибок и предиктанта).

В целях выполнения поставленной задачи проводились расчеты по выпуску прогнозов минимальных уровней Дуная у г. Русе с октября по декабрь. Подвергались анализу результаты прогнозирования с 1981 по 1984гг. Для нахождения самых эффективных подходов применению физико-статистического анализа, с точки зрения оправдываемости независимых прогнозов, проводились целенаправленные эксперименты в следующих направлениях: влияние выбора районов максимальной информативности на точность прогнозов, уточнение критериев выбора предикторов, возможность использования разного типа статистических оценок в качестве характеристики оправдываемости прогнозов и т. д. Имея в виду сказанного выше, для каждого предиктанта были построены несколько прогностических уравнений, имея в виду разные возможные подходы решения задачи. После анализа этих наборов прогностических уравнений и соответствующие им результаты, были сделаны определенные выводы. Подобран более или менее однозначный подход. Результаты показаны на таблице 1, коментар которых сделаем ниже. В первом столбце показан объект прогноза (например если это является X_{101} , то ряд предиктанта состоит из месячных минимальных расходов ноября с 1960 по 1980гг.). Дальше указаны абсолютная ошибка (m^3), дисперсионное соотношение S/σ на зависимом и независимом рядах (полученное методом скольжения), а также критерий Фишера значимости регрессионных уравнений. Видно, что хвостовая вероятность всегда меньше критического уровня - 0.05. Можно считать, что эта оценка не является показательной в нашем случае. Имея в виду, что абсолютная ошибка является основным показателем точности прогноза, обобщение которой показано в таблице 2, не всегда соотношение S/σ является показательной характеристикой прогностической связи. Пример этого прогноз декабря 1981г. Надо сказать, что все варианты прогнозирования уровней ноября и декабря 1981г. дают сходные плохие результаты. В других столбцах показаны предикторы являющиеся результатом оптимального перебора и соответствующим

хвостовые вероятности критерия Стюдента определяющие значимость каждого регрессионного параметра. Надо сказать, что во всех случаях когда эта вероятность выше критического уровня, оправдываемость прогнозов ухудшается. По отношению РМИ надо сказать, что преимущественно участвуют район Атлантики и район Сибири. РМИ для разных атмосферных полей, но из одного и того же месяца и размещенные на одной и той же территории нужно избегать из за наличия корреляционных связей.

Таблица 2. Оценки независимых прогнозов.

Характеристика	Ошибки прогноза месяца		
	X	XI	XII
Средняя вел.	190	385	360
Медиана	220	335	394
Среднеквадр. откл.	297	669	963
Стандартная ошибка	148	334	481
S/σ	.47	.42	.64
Минимум	-201	-377	-619
Максимум	523	1250	1270
Аплитуда ошибок	724	1627	1889

В качестве примера на рисунках 1 и 2 показан ход зарегистрированных минимальных расходов, а также зависимый моделированный ряд и независимый моделированный ряд, полученные методом скольжения. Выбраны случаи когда абс.

ошибка большая, а дисперсионное соотношение небольшое (рис. 1) и случай, когда абс. ошибка небольшая, а дисперсионное соотношение является относительно высоким (рис. 2.) Анализ рисунков показывает, что S/σ является разным, прежде всего за счет плохого прогноза 1978г. Попытки выяснить причины этого явления не увенчались успехом, прежде всего из-за отсутствия полной информации о состоянии водосбора р. Дунай и режим эксплуатации гидротехнических сооружений.

В виде того, что S/σ (табл. 2) имеет самое большое значение для декабря, были сделаны попытки объяснить это явление с привлечением данных о ледовых явлениях. Оценивалось приблизительно число дней со льдом в среднем и нижнем участке Дуная. Корреляционная матрица ледовитостью и ошибки моделированных рядов показана на таблице 3. Видно, что нельзя объяснить ход ошибок за счет ледовых явлений. Однако в этой таблице виден другой интересный результат. Корреляция ошибок для отдельных годов является довольно большой. Это говорит о том, что существует определенная причина формирующая подобный ход ошибок. Наличие сходных предикторов в прогностических связей частично объясняет это.

В заключении надо сказать, что изложенные результаты и анализы, говорят в пользу применимости метода для оперативного прогнозирования минимальных расходов р. Дунай. Однако существует ряд вопросов на которых однозначно авторы не смогут ответить. Следующие исследования по применению этого метода и по анализе ошибок прогнозов, надо искать в основном в выяснении влияния гидротехнических сооружений на режим минимального стока.

Таблица 3. Корреляционная матрица.

	Лед*	XII ^{**} ₆₀₋₈₀	XII ₆₁₋₈₁	XII ₆₂₋₈₂	XII ₆₃₋₈₃
Лед P _{tail}	1.00 0.00	-0.22 0.34	-0.29 0.20	-0.10 0.67	-0.16 0.48
XII ₆₀₋₈₀ P _{tail}	-0.22 0.34	1.00 0.00	0.36 0.12	0.41 0.09	0.90 0.00
XII ₆₁₋₈₁ P _{tail}	-0.29 0.20	0.36 0.12	1.00 0.00	0.62 0.00	0.31 0.19
XII ₆₂₋₈₂ P _{tail}	-0.10 0.67	0.41 0.09	0.62 0.00	1.00 0.00	0.48 0.03
XII ₆₃₋₈₃ P _{tail}	-0.16 0.48	0.90 0.00	0.31 0.19	0.48 0.03	1.00 0.00

* Приблизительная осредненная оценка число дней со льдом в среднем и нижнем участке Дуная.

** Ошибки прогноза на зависимом ряду (XII прогноза декабря с 1960 по 1980 гг.) — ошибки

P_{tail} Хвостовая вероятность теста значимости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Димитров Д. (1987) Прогнозирование месячных минимальных уровней реки Дунай на болгарском участке. Проблемы на метеорологията и хидрологията, Издательство на БАН, кн. 1, София.
2. Димитров Д. (1986) Долгосрочное прогнозирование месячных минимальных уровней Дуная на болгарском побережии. Сборник докладов, XIII конф. придунайских стран по гидр. прогнозам, Бельград.
3. Змиева Е., В. Климова (1977) Минимальные уровни воды р Дуная в осенний период и возможности их прогноза. Сборник докладов, IX конф. придунайских стран по гидр. прогнозам, Будапеш.
4. Furnival G. M., and Wilson Jr., R. W., Regressions leaps and bounds, Technometrics, 16(4) 1974, 499-511.
5. Гидрологический ежегодник реки Дунай. (1960-85) Комисия придунайских стран, Будапеш.

(X 1000)

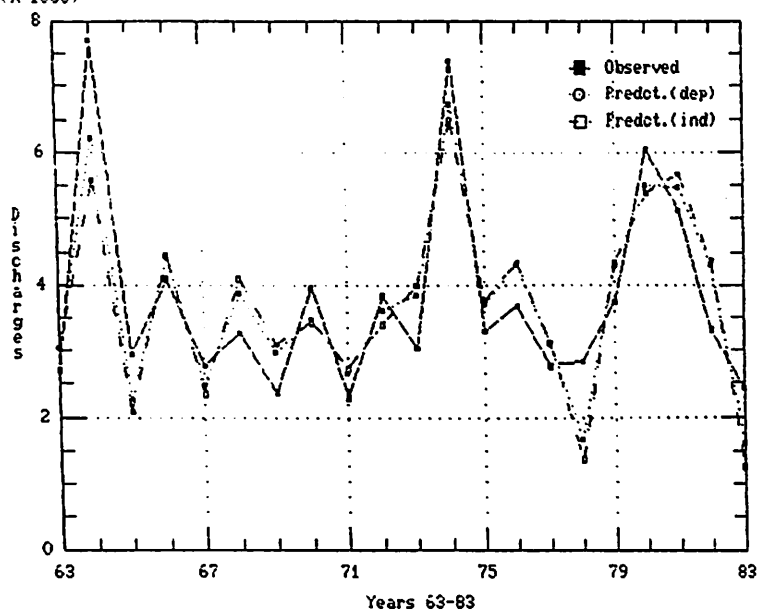


Рисунок 1

(X 1000)

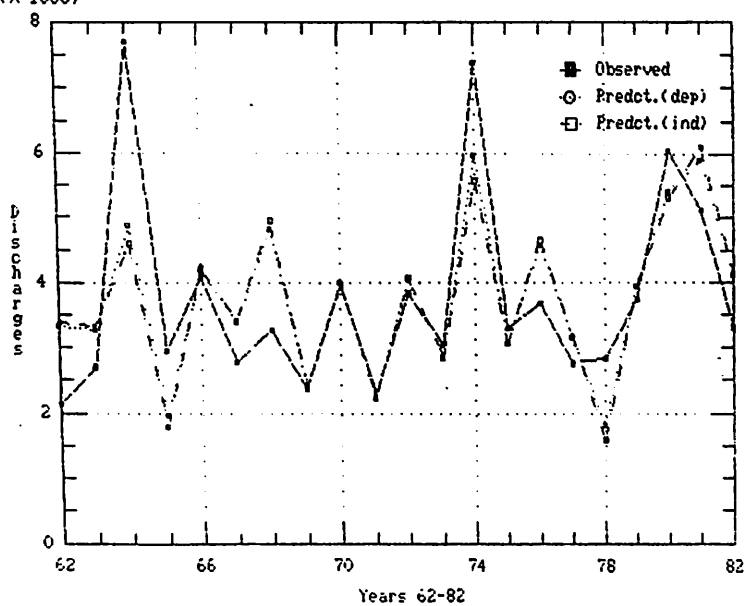


Рисунок 2

Langzeitsimulation der anthropogenen Erwärmung großer Flüsse

Dr.-Ing. Werner Esser
Landesanstalt für Umweltschutz, Griesbachstr. 3, 7500 Karlsruhe 21
Bundesrepublik Deutschland

Die Aufteilung der Wärmekapazität zwischen den Anrainern grenzüberschreitender Flüsse und die Begrenzung der anthropogenen Erwärmung erfordern zusätzlich zu Messungen des Abflusses, der Wassertemperatur und meteorologischer Parameter auch Berechnungen mit mathematischen Modellen, da die anthropogene Erwärmung selbst nicht meßbar ist. Durch ein Betriebsreglement für Kühltürme kann die Kühlkapazität so begrenzt werden, daß einerseits der Fluß thermisch nicht überlastet wird und andererseits jedem Wärmeeinleiter ein angemessener Anteil der Wärmekapazität zur Verfügung steht.

Die physikalischen Grundlagen von Modellrechnungen zum Wärmehaushalt, die notwendige Datengrundlage und die Möglichkeiten, die Modellrechnungen bieten, werden aufgezeigt.

Am Beispiel von Rhein und Neckar wird die Sensitivität eines mathematischen Modells, das nach der sogenannten Simulationsmethode arbeitet, auf ungenaue Eingabedaten untersucht und das Vorgehen bei der Modellkalibrierung erläutert.

Long-term simulation of the anthropogenic warming of large rivers

In addition to measurements of run-offs, water temperature and meteorological parameters, calculations employing mathematical models are also necessary in order to apportion the heat capacity among the countries bordering international rivers and to establish the limits of anthropogenic warming, as anthropogenic warming itself is not measurable. By means of a set of operating regulations for cooling towers, the cooling capacity can be limited in such a manner that on the one hand the river is not subjected to excessive thermal strain while, on the other hand, an appropriate portion of the heat capacity is available to each introducer of heat.

The physical bases of model calculations on thermal resources management are presented, together with the necessary data basis and the possibilities offered by the model calculations.

Taking the Rhine and the Neckar as examples, the sensitivity of a mathematical model, which operates according to the so-called simulation method, is examined for inaccurate input data and the procedure involved in calibrating the model is explained.

Langzeitsimulation der anthropogenen Erwärmung großer Flüsse

Dr.-Ing. Werner Esser

Landesanstalt für Umweltschutz, Griesbachstr. 3, 7500 Karlsruhe 21
Bundesrepublik Deutschland

1. Einführung

Aus Gründen der Gewässergrüte wird an vielen Flüssen der Erwärmung enge Grenzen gesetzt und zur Einhaltung dieser Grenzen Auflagen wasserrechtlich verankert, die - meist in Abhängigkeit von Abfluß, Temperatur und/oder Sauerstoffgehalt - den Bau und Betrieb von Rückkühlmöglichkeiten oder Betriebseinschränkungen zur Folge hatten und haben.

Die Aufteilung der Wärmekapazität zwischen den Anrainern grenzüberschreitender Flüsse und die Begrenzung der anthropogenen Erwärmung erfordern zusätzlich zu Messungen des Abflusses, der Wassertemperatur und meteorologischer Parameter auch Berechnungen mit mathematischen Modellen, da die anthropogene Erwärmung selbst nicht meßbar ist. Durch ein Betriebsreglement für Kühltürme kann die Kühlkapazität so begrenzt werden, daß einerseits der Fluß thermisch nicht überlastet wird und andererseits jedem Wärmeeinleiter ein angemessener Anteil der Wärmekapazität zur Verfügung steht.

Um eine Grenzwertdiskussion zu versachlichen, wurden Langzeitsimulationen der Wassertemperatur mit dem Ziel durchgeführt, den Wärmehaushalt besser interpretieren zu können und damit Angaben machen zu können über

- die Genauigkeit von Modellrechnungen [4],
- die Sensitivität der hydrologischen, meteorologischen und anthropogenen Einflußfaktoren,
- die Häufigkeitsverteilung der absoluten Wassertemperatur bzw. der anthropogen bedingten Aufwärmspanne an ausgewählten Kontrollstellen [5],
- die Auswirkungen von Grenzwertfestlegungen an einer Kontrollstelle auf Grenzwertfestlegungen an anderen Kontrollstellen [7] und
- den Vorschlag eines allgemeinen Betriebsreglements für Kühltürme.

Weiterhin wurden Erfahrungen mit verschiedenen Modellen, ihrer Eichfähigkeit und der Vergleichbarkeit der Ergebnisse gemacht.

2. Grundlagen für die Berechnung des Wärmehaushaltes

2.1 Physikalische Grundlagen

Die Berechnung des Wärmehaushaltes eines Fließgewässers geht davon aus, daß der Energieaustausch überwiegend an der freien Oberfläche des Wassers mit der Atmosphäre stattfindet (Abb. 1). Nach allgemeiner Übereinkunft beruhen die Berechnungen auf der Simulation dieser Wärmeaustauschvorgänge, wobei folgende Wärmeströme hieran beteiligt sind:

- ϕ_{stb} Energiestromdichte bedingt durch Strahlung (W/m^2)
- RS Energiestromdichte aus gesamt einfallender Strahlung (W/m^2)
 - RA Energiestromdichte aus langwelliger atmosphärischer Strahlung (Gegenstrahlung) (W/m^2)
 - RE Energiestromdichte bedingt durch Ausstrahlung der Wasseroberfläche (W/m^2)

- $\dot{\phi}_v$ Energiestromdichte bedingt durch Verdunstung (W/m^2)
 $\dot{\phi}_L$ Energiestromdichte bedingt durch Konvektion (W/m^2)
 $\dot{\phi}_p$ Energiestromdichte bedingt durch Zufuhr von Fremdwärme (W/m^2)

Weitere denkbare Komponenten der Wärmebilanz, wie

- der Wärmeübergang vom und zum Gewässerbett,
- die mech. Arbeit z.B. durch Schiffsmotoren,
- verteilte Zu- und Abflüsse, z.B. durch Niederschläge,
- chem. Reaktionen und biol. Abbauprozesse, sowie
- die innere Reibung

werden als klein gegenüber den übrigen Komponenten angesehen und daher meist vernachlässigt. Pauschal wird ihr Einfluß bei einer Kalibrierung berücksichtigt. Bedeutsame Wärmeströme aus dem oder in das Grundwasser sind gegebenenfalls in die Bilanz einzubeziehen, in der Regel jedoch sehr schwer zu quantifizieren. Sie zeigen sich meist durch Unterschiede zwischen Meß- und Rechenergebnissen und gehen daher in eine Kalibrierung ein.

Bezieht man die Energiestromdichten auf die Oberfläche, so ergibt sich die Energiebilanz zu:

$$S \cdot (\dot{\phi}_{stb} - \dot{\phi}_v - \dot{\phi}_L + \dot{\phi}_p) \cdot dt = \rho \cdot c \cdot V \cdot dT \quad (1)$$

mit $\dot{\phi}_{stb} = RS + RA - RE$

worin ρ die Dichte des Wassers, c seine spezifische Wärme, S die Oberfläche und V das Volumen des betrachteten Wasserkörpers, t die Zeit und T die Wassertemperatur bedeuten.

Diese Differentialgleichung ist nicht linear, da die einzelnen Komponenten ihrerseits nicht-lineare Funktionen von der Fließzeit t und damit vom Ort x und von der Wassertemperatur T sind.

Bei Einführung der mittleren Wassertiefe h als Quotient des Volumens des betrachteten Wasserkörpers V und seiner Oberfläche S ergibt sich die Wärmehaushaltsgleichung in folgender Form:

$$v \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} + \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{\rho \cdot c \cdot h} \cdot (\dot{\phi}_{stb} - \dot{\phi}_v - \dot{\phi}_L + \dot{\phi}_p) \quad (2)$$

Sie beschreibt die Temperaturveränderung bei Verfolgung eines sich mit der Fließgeschwindigkeit v bewegendes Wasserkörpers.

2.2 Einzelkomponenten des Wärmehaushalts

Die Einzelkomponenten der Wärmebilanz wurden z.B. in der LAWA-Studie "Grundlage für die Beurteilung der Wärmebelastung von Gewässern, 3. Auflage 1990" [1, 2, 3, 6] detailliert beschrieben.

Die Einzelkomponenten und die zu ihrer Berechnung notwendigen Meßwerte gehen aus Tab. 1 hervor.

2.3 Mathematische Modelle des Wärmehaushaltes

Wegen der Nichtlinearität ist eine Lösung der Wärmehaushaltsgleichung (2) nicht geschlossen, sondern nur durch Linearisierung (Exponentialverfahren) oder durch Iteration (Simulationsverfahren) möglich. Die Genauigkeit der Lösung hängt damit von der Art der Linearisierung oder dem Iterationsverfahren ab, wobei größere Genauigkeiten durch höheren Aufwand erzielbar sind.

Beim Simulationsverfahren werden die einzelnen Komponenten des Wärmehaushaltes mit historischen oder aktuellen Eingabegrößen für den Abfluß, die Wärmeeinleitung und die meteorologischen Parameter Sonnenstrahlung, Bewölkungsgrad, Lufttemperatur trocken, Taupunkt, Luftdruck und Windgeschwindigkeit berechnet und zu Gleichung (2) aufsummiert. Man erhält damit direkt die in dem Zeitschritt erfolgte Änderung der Temperatur $\Delta T/\Delta t$. Durch Addition zur Starttemperatur bzw. der jeweils letzten errechneten Temperatur eines Abschnittsendes erhält man die absolute Wassertemperatur. Diese wird wiederum zur erneuten (korrigierten) Berechnung der entsprechenden Komponenten verwendet. Die Iteration wird bis zum Erreichen der gewünschten Genauigkeit wiederholt.

Beim Exponentialverfahren wird durch Reihenentwicklung und Integration der Wärmehaushaltsgleichung (2) die Wassertemperatur T in Abhängigkeit von der Zeit als Exponentialfunktion dargestellt

$$T(t) = (T_0 - T_g) \cdot \exp(A \cdot t / (\rho \cdot c \cdot h)) + T_g \quad (3)$$

mit

$$\begin{aligned} A &= \text{Austauschkoeffizient} \\ T_0 &= \text{Starttemperatur bzw. Anfangstemperatur im Berechnungsabschnitt} \\ T_g &= \text{Gleichgewichtstemperatur.} \end{aligned}$$

Dabei wird zur Berechnung der Wassertemperatur T die Gleichgewichtstemperatur T_g und der Austauschkoeffizient A benötigt.

Definiert man die Aufwärmspanne ΔT als Temperaturdifferenz zur Gleichgewichtstemperatur, so kann Gleichung (3) geschrieben werden:

$$\Delta T = (T - T_g) = \Delta T_0 \cdot \exp(A \cdot t / (\rho \cdot c \cdot h)) \quad (4)$$

Mit Gleichung (4) lassen sich die Aufwärmspannen nach Fließzeit t aus einer Anfangsaufwärmspanne berechnen. Setzt man voraus, daß sich T_g nicht stark von der natürlichen Temperatur T_n unterscheidet, ergibt sich als Temperaturdifferenz ΔT gerade die Aufwärmung durch anthropogenen Wärmeeintrag.

2.4 Sensitivitätsuntersuchungen und Modellkalibrierung am Beispiel des Neckars

Die "Richtigkeit" eines Modells hängt naturgemäß von der richtigen Wahl der Modellbausteine, der gewählten Modellparameter und der "Richtigkeit" der Eingabedaten ab. Eine aus naturwissenschaftlicher Sicht unzutreffende Wahl eines Modellbausteins, z.B. der Abkühlfunktion, kann durch die (zufällige) Wahl der Kalibrierfaktoren in einem bestimmten Gültigkeitsbereich kompensiert werden. Die Auswirkung einzelner Bausteine, Faktoren und Eingabedaten auf das Ergebnis läßt sich untersuchen und als Schwankungsband darstellen.

Dabei ist weniger wichtig wie genau die Eingabedaten gemessen wurden, als wie zutreffend diese Daten für die Berechnung des jeweiligen. Abschnittes sind.

Eine Kalibrierung erfolgt durch den wiederholten Vergleich der Ergebnisse von Modellrechnungen mit gemessenen Wassertemperaturen bei Variation der freien Kalibrierfaktoren.

Bei der Kalibrierung der lokalen Faktoren müssen die spezifischen Eigenheiten der örtlichen Messungen (gewässernah - gewässerfern, Meßgenauigkeiten, Einschränkungen der Gültigkeitsbereiche des Modells, usw.) berücksichtigt werden. Für jeden Flußabschnitt ergeben sich aus dieser Kalibrierung lokal-spezifische Faktoren.

Bei der eigentlichen Kalibrierung, der Änderung der globalen Faktoren, können die langweilige atmosphärische Strahlung und die Verdunstung bzw. die Konvektion, die die Windfunktion enthalten, variiert werden, d.h. die Kalibrierung erfolgt zweidimensional.

Zur Kalibrierung der beiden Beiwerte sind entweder die Abweichungen der Modellergebnisse von gemessenen Werten an mehreren Stationen oder die Abweichungsflächen (Isoplethen der Abweichungen) zu minimieren (Abb. 2).

3. Langzeitsimulation am Beispiel des Rheins

3.1 Datengrundlage

Das Simulationsmodell wurde mit folgenden Randbedingungen zur Langzeitsimulation verwendet:

- der Rhein zwischen Aare-Mündung und der holländischen Grenze wurde in 22 Abschnitte eingeteilt, zuzüglich drei Abschnitte für die großen Nebenflüsse Neckar, Main und Mosel,
- der mittlere tägliche Abfluß wurde abschnittsweise aus den Pegelaufzeichnungen der Wasser- und Schifffahrtsdirektionen übernommen,
- die Flußcharakteristik (mittlere Fließgeschwindigkeit, mittlere Wassertiefe) wurde abschnittsweise als Funktion des Abflusses angenommen,
- als Starttemperatur an der Aaremündung wurden die gemessenen Wassertemperaturen der Meßstelle Waldshut-Schmittenau verwendet, für den unbelasteten natürlichen Zustand nach Abzug der thermischen Fracht des Kernkraftwerks Beznau,
- die Temperatur der Nebenflüsse wurde als lokale natürliche Temperatur (im Gleichgewicht stehend mit der Meteorologie bei jeweiligem Abfluß und angenommener Wassertiefe von 4 m) angenommen und gegebenenfalls um den Einfluß der thermischen Belastung erhöht. Diese wurde konstant angenommen und pauschal geschätzt.
- die meteorologische Situation wurde durch dreistündige synoptische Daten der Stationen des französischen und deutschen Wetterdienstes längs des Rheins beschrieben,
- die in die Berechnungen eingegangene Wärmeeinleitungen der Kraftwerke und der Industrie wurden zusammengefaßt und konstant am betroffenen Abschnittsanfang berücksichtigt (= Einleiterinventar).

Die gewählte Abschnittseinteilung, die Zuordnung der Abflußmeßstellen, der Temperaturmeßstellen, der meteorologischen Stationen, der Gewässercharakteristik und der Einleitungen ist aus Abb. 3 ersichtlich.

Das Simulationsmodell in der vorliegenden Fassung berücksichtigt den Einfluß des Grundwassers insoweit, als der in einigen Abschnitten auftretende Abflußzuwachs mit der Temperatur des Grundwassers, die als identisch mit der Temperatur des unbelasteten Falles angenommen wurde, angerechnet wird. Die Erwärmung durch die Turbulenz des Wassers, der Wärmeeintrag aus der Schifffahrt, Energieumwandlungsvorgänge in Laufwasser-Kraftwerken und Abwasserreinigungsanlagen sowie der Energieumsatz aus chemisch-physikalischen und biologischen Prozessen im Wasser wurden nicht als einzelne Wärmeströme berücksichtigt.

Mangels gemessener Globalstrahlungswerte wurden diese mit einem Modell nach der Methode Klein, berechnet.

Um ein Gefühl für die Auswirkung von "trockenen" oder "nassen" bzw. von "kalten" oder "warmen Jahren" erkennen zu können, mußte einer statistischen Auswertung die Simulation eines langen Zeitraumes zugrundegelegt werden. Aufgrund der Datenlage wurde die Periode der Jahre 1960 bis 1980, also 21 Jahre im 3-Stunden-Takt, ausgewählt.

3.2 Modellablaufsteuerung

Die Organisation und die sich daraus ableitenden Zugriffspfade der Ein- und Ausgabedaten als Schnittstelle zu den mathematischen Modellen sind in Abb. 4 und 5 dargestellt.

Ein Eingabetableau (Abb. 6) ordnet den jeweiligen Abschnitten die flußcharakteristischen Daten, die meteorologischen Stationen, Pegelmeßstellen und Temperaturmeßstellen sowie den eingeleiteten Wärmestrom zu. Durch dieses Tableau können auch für jedes Abschnittsende tabellarische oder graphische Ausgaben angefordert werden.

3.3 Diskussion der Ergebnisse

Für jedes der 21 Jahre wurde für 5 internationale Kontrollstellen, für die drei Fälle Ganglinien und Dauerlinien der absoluten Temperatur und für die zwei Fälle mit thermischer Belastung Ganglinien und Dauerlinien der Aufwärmspannen, berechnet. Insgesamt ergaben sich aus den Modellrechnungen 378 Ganglinien und 378 Dauerlinien ($378 = 21 \text{ Jahre} \cdot 18 \text{ Linien}$) (Tab. 2, 3, 4, 5). Dabei wurden die drei nachstehenden Fälle studiert:

1. die natürliche Situation ohne Wärmeeinleitungen,
2. die Situation bei maximaler Wärmebelastung
3. die Situation bei maximaler Wärmebelastung und Kühlturbetrieb

3.3.1 Überschreitungshäufigkeiten vorgegebener Aufwärmspannen

Die Verwendung eines konstanten Einleiterinventares führt dazu, daß die anthropogene Erwärmung ausschließlich von Abflußschwankungen und vom Wechsel der meteorologischen Verhältnisse abhängig ist. Die Dauerlinien der errech-

neten natürlichen Temperatur (Abb. 7) und die der anthropogenen Erwärmung (ohne (Abb. 8) und mit (Abb. 9) Betrieb des Kühlturms des Fernkraftwerks Philippsburg) dürfen demnach nicht addiert werden; eine Gleichzeitigkeit ist nicht gegeben.

3.3.2 Interdependenzen von Grenzwerten an mehreren Kontrollstellen

Jedes Szenario von Grenzwerten an den Kontrollstellen bedeutet im Grunde eine Aufteilung der Wärmekapazität zwischen den Anliegern. Ein allgemein akzeptiertes Maß dazu – weder rein ökologisch, noch rein ökonomisch nach den verschiedensten Maßstäben: Abfluß, Aufwärmspanne, Uferlänge, Größe des Einzugsgebietes, Einwohner im Einzugsgebiet oder Bruttosozialprodukt der Einwohner im Einzugsgebiet o.ä. – existiert nicht.

Die Ergebnisse der Langzeitsimulation wurden daher dahingehend ausgewertet, festzustellen, an wieviel Tagen an einer Kontrollstelle eine gewisse Aufwärmspanne überschritten wurde. Dies geschah nach zwei Gesichtspunkten:

Fall a) Vorgabe von Aufwärmspannen ΔT [in °K] und Bestimmung der sich dann ergebenden Zahl der Überschreitungstage t [in d]

Fall b) Vorgabe der Überschreitungshäufigkeit t [in d] und Bestimmung der sich ergebenden Aufwärmspannen ΔT [in °K]

Im Fall a) (Vorgaben von Aufwärmspannen) wurden dazu sieben Szenarien mit Aufwärmspannen an den Kontrollstellen untersucht.

Kontrollstelle:	Szenario						
	1	2	3	4	5	6	7
Village Neuf	1,0	1,5	1,5	1,5	3,0	2,5	5,0 °K
Seltz	1,5	2,5	2,5	2,0	4,0	3,5	4,0 °K
Lobith	2,5	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5	5,0 °K

Zu beachten ist bei der Interpretation dieser Auswertung, daß die Aufwärmspannen unabhängig voneinander festgesetzt wurden, d.h. eine Überschreitung bei einer oberhalb liegenden Kontrollstelle engt den Unterlieger ein, ein nicht Ausnutzen des Grenzwertes läßt ihm einen größeren Spielraum.

Bei der Annahme dieser Szenarien wurde (teilweise) berücksichtigt, daß sich auch die physikalischen und damit ökologischen und biologischen Qualitätsunterschiede zwischen Oberlauf und Unterlauf des Rheins ändern, die auch ohne anthropogene Beeinflussung vorhanden wären. So nimmt z.B. die natürliche Temperatur des Rheins von Oberstrom nach Unterstrom auch ohne künstliche Wärmeeinleitungen bereits zu. Grenzwerte sollten daher mit der Fließzeit größer werdend angenommen werden.

3.3.3 Betriebsreglement für den Einsatz von Kühltürmen

Grundlage für ein allgemeines Betriebsreglement bildet das ungünstigste Jahr der Jahresreihe 1960–1980 (Abb. 10). Durch Vergabe einer bestimmten Aufwärmspanne (z.B. 3K) läßt sich der Einschaltzeitpunkt für Kühltürme bei sinkendem Abfluß festlegen; gleichartig kann der Abfluß ermittelt werden, ab dem die Kühltürme im Kreislaufbetrieb zu betreiben sind.

Literaturverzeichnis

- 1a LWA: Grundlagen für die Beurteilung der Wärmebelastung von Gewässern. Zweite verbesserte Auflage 1977, Verlag Dr. Hans Koch,
- 1b Entwurf zur dritten Auflage, Stand September 1989.
- 2 Esser, Werner: Analyse der Wärmebilanz eines Fließgewässers, Schriftenreihe des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt Nr. 25, 1986.
- 3 LfU, IWA: Wärmehaushalt Neckar - Messungen und Berechnungen: Schriftenreihe des Instituts für Wasser- und Abfallwirtschaft der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oktober 1989.
- 4 IKSR, AGr T: Simulationsverfahren zur Berechnung des thermischen Verhaltens des Rheins, geprüft am Beispiel des Jahres 1970, Bericht der Untergruppe "Kühlwasser", März 1973; unveröffentlicht.
- 5 IKSR-AGr T: Simulation der Überschreitungshäufigkeiten in Fessenheim, Philippsburg und Biblis mit hydrologischen und meteorologischen Daten der Jahre 1958 bis 1970, Bericht der Untergruppe "Kühlwasser", August 1974; unveröffentlicht.
- 6 IKSR-AGr T: Ausarbeitung von Methoden zur Berechnung der Erwärmung des Rheins an den Kontrollpunkten Seltz und Lobith, Bericht der Untergruppe Kühlwasser, Februar 1981; unveröffentlicht.
- 7 IKSR-UGr Tm: Wärmebelastung des Rheins - Resultate der Berechnungen der absoluten Temperatur und der Erwärmung aufgrund der hydrologischen und meteorologischen Verhältnisse der Jahre 1960 bis 1980 unter Annahme des heutigen Wärmeinventars, Bericht der Untergruppe Tm "Mathematisches Modell", Oktober 1986; unveröffentlicht.

Tabellenverzeichnis

- 1 Gleichungssystem des verwendeten Simulationsmodells
- 2 Häufigkeit der Aufwärmspanne des Rheins bei Mannheim ohne Betrieb der Kühltürme
- 3 Summenhäufigkeit der Aufwärmspanne des Rheins bei Mannheim ohne Betrieb der Kühltürme
- 4 Dauer der anthropogenen Erwärmung des Rheins bei Mannheim ohne Betrieb der Kühltürme
- 5 Monatsweise kummulierte anthropogene Erwärmung des Rheins bei Mannheim ohne Betrieb der Kühltürme

Abbildungsverzeichnis

- 1 Einzelkomponenten der Wärmebilanz
- 2 Isoplethen der Abweichungsflächen Messung/Rechnung
- 3 Abschnittseinteilung mit den hydrologischen und meteorologischen Stationen sowie den Einleitern
- 4 Ablaufschema der Langzeitsimulation
- 5 Organisationsform und Zugriffspfade der Ein- und Ausgabedaten
- 6 Eingabetableau
- 7 Dauerlinie der errechneten natürlichen Temperatur
- 8 Dauerlinie der anthropogenen Erwärmung ohne Betrieb der Kühltürme
- 9 Dauerlinie der anthropogenen Erwärmung mit Betrieb der Kühltürme
- 10 Abhängigkeit der anthropogenen Erwärmung des Rheins bei Lobith mit und ohne Betrieb der Kühltürme vom jeweiligen Abfluß und daraus abgeleitete Konsequenzen für den Betrieb der Kühltürme

Gleichungssystem	$\frac{\Delta T_w}{\Delta t} = \frac{1}{c \cdot \rho \cdot h} \cdot (\dot{\phi}_{III} + \dot{\phi}_v + \dot{\phi}_L)$	K/3h
Strahlungsbilanz	$\dot{\phi}_{III} = (RS + RA) - RE$	W/m ²
therm. Glob. str.	$RS = III + RA \cdot (1 + 0.2 \cdot BEW^2)$	W/m ²
Abstrahlung	$RE = c \cdot \sigma \cdot (T_w + 273)^4$	W/m ²
Abstr. Strahlung	$RA = \sigma \cdot (T_L + 273)^4 \cdot fakt_1$	W/m ²
Verdunstung	$\dot{\phi}_v = XL \cdot f(v) \cdot (Q - Q_L)$	W/m ²
Korrektion	$\dot{\phi}_L = fakt_2 \cdot f(v) \cdot (T_L - T_w)$	W/m ²
Feuchtigkeitsgehalt	$Q = \frac{RG}{RD} \cdot \frac{PSVO}{PATH-PSVO}; Q_L = \frac{RG}{RD} \cdot \frac{PVP}{PATH-PVP}$	kg/kg
Sättigungsdampfdruck	$PSVO = \text{Polynom}(T_w); PVS = \text{Polynom}(T_{s,0})$	mbar
Wasserdampfdruck dr.	$PVP = PVS - \frac{(PATH-PVS) \cdot (T_L - T_{s,0})}{1515 - 1.395 \cdot T_{s,0}}$	mbar
lat. Verd. Wärme	$XL = (2500. - 2.39 \cdot T_w) \cdot 10^3$	J/kg
Windfunktion	$f(v) = 0.00275 \cdot (1 + v)$	
konstanten		
Stephen-Boltzmann	$\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8}$	W/m ² /K ⁴
Diffusions-Koeff.	$c = 0.97$	./.
Wasskonstanten	$RG = 29.27 \text{ (Gas)}; RD = 47.1 \text{ (Dampf)}; RG/RD = 0.622$ $fakt_1$ $fakt_2$ aus der Kalibrierung	m ³ /kg/K
Meßwerte		
Sonnenstrahlung	III Jahresgang im 3-Stunden-Takt	W/m ²
Bewölkungsgrad	BEW Jahresgang im 3-Stunden-Takt	Achtel
Lufttemperatur tr.	T _L Jahresgang im 3-Stunden-Takt	°C
Lufttemperatur f.	T _{s,0} Jahresgang im 3-Stunden-Takt	°C
Luftdruck	PATH Jahresgang im 3-Stunden-Takt	mbar
Windgeschw.	v Jahresgang im 3-Stunden-Takt	m/s
Wassertemp.	T _w Jahresgang aus Tagesmittelwerten am Startpunkt	°C

Station: Segment 8: Mannheim

6308

Parameter: err. Temperaturerhoehung

K

4118

Zeitraum: von 1960 ab insgesamt 21 Jahre

K l a s s e	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	Summe
0.00 - 0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.10 - 0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.20 - 0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30 - 0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.40 - 0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50 - 0.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.60 - 0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.70 - 0.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.80 - 0.90	1	0	1	0	0	10	2	0	4	1	31	0	3	2	1	6	0	7	5	8	13	128
0.90 - 1.00	6	0	1	0	0	36	4	3	4	5	25	0	3	3	3	15	0	9	22	15	18	395
1.00 - 1.10	8	0	1	0	2	36	21	3	12	5	45	1	2	15	7	23	1	12	39	21	18	395
1.10 - 1.20	3	8	7	5	1	41	43	21	25	18	29	0	2	15	16	15	1	26	39	13	16	454
1.20 - 1.30	11	11	12	16	2	27	61	30	22	29	19	4	1	12	24	23	2	33	8	24	11	524
1.30 - 1.40	20	19	17	15	3	24	35	25	34	22	16	12	2	12	24	33	6	36	4	22	19	473
1.40 - 1.50	45	35	23	29	8	19	26	16	57	17	25	6	6	13	6	36	4	46	23	19	25	413
1.50 - 1.60	60	29	34	32	16	13	23	41	42	20	11	7	14	27	16	21	2	46	10	26	37	358
1.60 - 1.70	45	22	22	41	6	11	31	38	27	18	11	2	22	21	40	25	4	12	20	26	37	352
1.70 - 1.80	21	23	24	33	8	16	24	37	17	20	20	2	12	17	26	31	8	16	17	17	16	332
1.80 - 1.90	8	10	23	16	17	12	9	22	18	14	17	9	16	12	32	17	12	17	17	16	13	279
1.90 - 2.00	9	11	27	22	18	4	9	25	23	15	13	19	18	10	25	18	12	17	17	16	13	279
2.00 - 2.10	6	20	10	22	12	6	6	12	21	14	15	16	31	21	24	10	15	11	18	27	16	333
2.10 - 2.20	5	9	11	7	11	6	5	16	10	6	18	17	18	13	23	12	15	14	17	23	23	288
2.20 - 2.30	5	11	12	6	14	4	11	9	7	8	8	25	13	27	26	11	19	12	15	20	20	259
2.30 - 2.40	11	24	8	6	24	5	8	9	7	8	8	19	6	10	21	9	26	5	15	18	22	267
2.40 - 2.50	18	20	13	6	17	8	6	8	8	11	5	19	6	7	20	10	35	10	7	14	18	285
2.50 - 2.60	16	13	9	6	24	8	6	10	8	18	6	21	11	11	16	10	29	6	8	6	5	206
2.60 - 2.70	22	12	7	5	24	19	13	11	2	18	6	20	11	13	16	10	37	9	6	2	2	183
2.70 - 2.80	27	5	4	6	14	15	6	8	3	13	3	8	6	13	16	13	25	12	9	11	3	141
2.80 - 2.90	10	7	8	2	20	8	2	3	6	12	4	5	5	8	7	15	37	9	11	3	0	115
2.90 - 3.00	3	13	2	2	20	4	0	4	3	11	2	9	6	1	9	28	11	9	3	0	0	95
3.00 - 3.10	5	10	1	6	23	3	0	4	3	9	2	15	7	12	2	3	23	8	4	2	0	97
3.10 - 3.20	1	8	4	6	9	6	0	5	1	8	3	16	4	7	2	2	18	8	4	0	0	58
3.20 - 3.30	0	9	5	4	6	2	0	1	8	3	16	4	7	0	4	9	1	6	0	0	0	72
3.30 - 3.40	0	13	3	6	3	4	0	0	1	11	26	4	7	0	2	6	0	3	0	0	0	60
3.40 - 3.50	0	4	4	2	1	5	0	1	0	14	5	18	7	0	2	4	0	3	0	0	0	49
3.50 - 3.60	0	8	3	3	3	5	0	0	0	7	3	17	7	10	0	0	0	3	0	0	0	39
3.60 - 3.70	0	4	5	0	7	1	0	0	0	0	0	14	15	11	0	0	0	0	0	0	0	43
3.70 - 3.80	0	3	4	5	7	0	0	0	0	0	0	10	9	7	0	0	0	0	0	0	0	37
3.80 - 3.90	0	3	2	5	9	0	0	0	0	0	0	9	9	2	0	0	0	0	0	0	0	32
3.90 - 4.00	0	1	5	4	11	0	0	0	0	0	0	5	11	7	4	0	0	0	0	0	0	25
4.00 - 4.10	0	0	4	1	9	0	0	0	0	0	0	3	9	4	0	0	0	0	0	0	0	12
4.10 - 4.20	0	0	1	5	7	0	0	0	0	0	0	3	19	2	0	0	0	0	0	0	0	12
4.20 - 4.30	0	0	7	4	3	0	0	0	0	0	0	3	12	1	0	0	0	0	0	0	0	14
4.30 - 4.40	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0	5	12	0	0	0	0	0	0	0	0	8
4.40 - 4.50	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0	2	15	0	0	0	0	0	0	0	0	5
4.50 - 4.60	0	0	2	4	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9
4.60 - 4.70	0	0	5	4	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
4.70 - 4.80	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
4.80 - 4.90	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4.90 - 5.00	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
5.00 - 5.10	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
5.10 - 5.20	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.20 - 5.30	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.30 - 5.40	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.40 - 5.50	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
5.50 - 5.60	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.60 - 5.70	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2 Häufigkeit der Aufwärmspanne des Rheins bei Mannheim ohne Betrieb der Kühltürme

Anstalt fuer Umweltschutz Baden-Wuerttemberg

Stelle: Segant 0: Mannheim

6308

Ziel: err. Temperaturerhoehung

K

4118

Zeitraum: von 1960 ab insgesamt 21 Jahre

Jahr	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	Summe
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	7	0	2	0	0	49	6	3	10	6	71	0	10	4	1	7	0	11	14	13	29	243
1.10	15	0	3	0	2	85	27	6	22	11	116	1	12	7	4	22	0	20	36	21	42	452
1.20	18	8	10	5	3	126	70	27	47	29	145	5	15	34	27	60	1	58	101	57	75	1162
1.30	22	19	22	21	5	153	131	57	69	58	164	17	17	46	51	83	4	91	109	70	91	1537
1.40	49	38	39	36	8	177	166	82	103	80	180	23	23	59	57	119	8	133	129	94	102	2005
1.50	94	73	62	65	16	196	192	98	160	97	216	30	37	86	73	140	10	179	152	122	121	2529
1.60	154	102	96	97	32	209	215	139	202	117	216	32	59	107	113	165	14	204	170	141	146	3002
1.70	199	124	110	138	38	220	246	177	229	135	227	34	71	124	139	196	19	216	190	167	179	3429
1.80	220	147	142	171	46	236	270	214	246	155	247	43	87	136	171	213	27	232	207	204	217	3797
1.90	228	157	165	187	63	248	279	236	264	169	264	62	105	146	196	231	39	245	224	230	231	4149
2.00	237	168	192	209	81	252	280	261	207	184	277	70	136	167	220	241	54	260	242	257	247	4482
2.10	243	188	202	231	93	258	294	273	308	190	292	95	154	188	243	253	69	274	259	280	262	4761
2.20	248	197	213	238	104	264	299	289	318	204	310	120	167	215	269	264	88	286	274	302	285	5049
2.30	253	208	225	244	118	268	310	298	325	212	318	139	173	225	290	273	114	291	289	312	305	5308
2.40	264	232	233	250	142	273	318	306	333	223	323	160	180	245	310	283	149	301	296	330	327	5608
2.50	282	252	246	256	159	281	324	316	341	241	329	180	191	256	326	293	178	307	302	344	341	5875
2.60	298	265	255	262	183	293	337	327	343	259	335	186	197	269	342	313	215	316	310	349	359	6160
2.70	320	277	262	267	207	312	357	339	344	277	342	186	194	204	278	353	326	240	328	316	355	6366
2.80	347	282	266	273	221	327	363	347	347	290	345	194	209	286	360	341	277	337	327	357	366	6549
2.90	357	289	274	275	241	335	365	350	353	302	349	199	208	215	287	361	350	305	340	336	360	6690
3.00	360	302	276	277	261	339	365	354	356	313	351	208	222	229	363	353	328	336	339	360	366	6829
3.10	365	312	277	283	284	342	365	358	359	322	353	223	222	229	363	353	328	336	339	360	366	6829
3.20	366	320	281	289	293	348	365	363	360	330	356	239	230	309	365	359	355	365	347	365	366	7039
3.30	366	329	286	293	299	350	365	364	363	341	357	265	237	316	365	361	361	365	331	365	366	7136
3.40	366	342	289	299	302	354	365	364	366	355	362	283	251	321	365	363	365	365	366	366	366	7194
3.50	366	342	289	299	302	354	365	364	366	357	362	294	258	331	365	365	366	365	362	365	366	7326
3.60	366	346	293	301	303	359	365	365	366	364	365	311	273	342	365	365	366	365	365	365	366	7375
3.70	366	354	296	304	306	364	365	365	366	364	365	325	282	349	365	365	366	365	365	365	366	7414
3.80	366	358	301	304	313	365	365	365	366	365	365	335	291	351	365	365	366	365	365	365	366	7459
3.90	366	361	305	309	320	365	365	365	366	365	365	344	302	358	365	365	366	365	365	365	366	7489
4.00	366	364	307	314	329	365	365	365	366	365	365	352	311	362	365	365	366	365	365	365	366	7526
4.10	366	365	313	319	340	365	365	365	366	365	365	352	330	364	365	365	366	365	365	365	366	7558
4.20	366	365	317	319	349	365	365	365	366	365	365	355	330	364	365	365	366	365	365	365	366	7583
4.30	366	365	318	324	356	365	365	365	366	365	365	360	342	365	365	365	366	365	365	365	366	7595
4.40	366	365	325	328	359	365	365	365	366	365	365	362	357	365	365	365	366	365	365	365	366	7606
4.50	366	365	327	331	362	365	365	365	366	365	365	364	362	365	365	365	366	365	365	365	366	7620
4.60	366	365	329	335	364	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7628
4.70	366	365	331	339	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7633
4.80	366	365	336	343	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7641
4.90	366	365	344	343	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7650
5.00	366	365	348	344	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7657
5.10	366	365	351	349	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7660
5.20	366	365	357	352	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7665
5.30	366	365	359	357	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7666
5.40	366	365	360	359	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7667
5.50	366	365	361	363	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7671
5.60	366	365	361	363	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7671
5.70	366	365	361	363	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	7671

3
Summenhäufigkeit der Aufwärmspanne des Rheins bei Mannheim ohne Betrieb der Kühltürme

[illegible]

Landesanstalt fuer Umweltschutz Baden-Wuerttemberg

Karlsruhe, den 10-OCT-89

Messstelle: Segment 0: Mannheim

6308

Parameter: err. Temperaturerhoehung

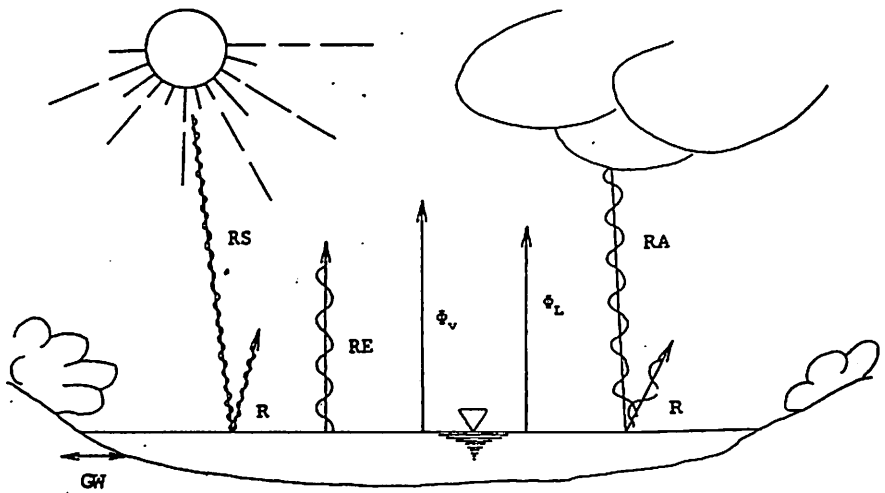
K

4118

Zeitraum: von 1960 ab insgesamt 21 Jahre

%	MIN	49.3	24.7	16.4	8.2	4.1	2.2	1.1	0.5	0.3	MAX
JAN	0.90	2.60	3.20	3.80	4.10	4.20	4.40	4.50	4.60	4.60	4.60
FEB	0.60	2.10	3.00	3.30	4.00	4.50	5.00	5.20	5.40	5.40	5.40
MAR	0.80	2.30	2.90	3.30	3.60	4.20	4.40	4.90	5.40	5.60	5.60
APR	0.80	1.90	2.30	2.50	2.80	2.90	3.00	3.20	3.50	3.50	3.50
MAI	0.70	1.60	1.90	2.30	2.50	2.60	2.70	2.90	2.90	2.90	2.90
JUN	0.70	1.50	1.70	1.80	2.00	2.10	2.40	2.40	2.60	2.70	2.70
JUL	0.80	1.50	1.80	1.90	2.20	2.70	2.80	2.80	2.90	2.90	2.90
AUG	0.70	1.70	2.00	2.10	2.40	2.80	2.90	3.00	3.10	3.20	3.20
SEP	0.70	2.10	2.50	2.70	2.90	3.10	3.30	3.40	3.50	3.60	3.60
OKT	1.00	2.50	3.00	3.40	3.70	4.00	4.30	4.30	4.40	4.40	4.40
NOV	0.70	2.60	3.00	3.30	3.80	4.60	4.80	5.00	5.10	5.20	5.20
DEZ	0.90	2.50	3.00	3.20	3.50	3.80	4.30	5.20	5.70	5.70	5.70
TOT	0.60	2.00	2.60	2.90	3.40	3.80	4.20	4.50	4.90	5.20	5.70
Tage	MIN	180	90	60	30	15	8	4	2	1	MAX

5 Monatsweise kummulierte anthropogene Erwärmung des Rheins bei Mannheim
ohne Betrieb der Kühltürme

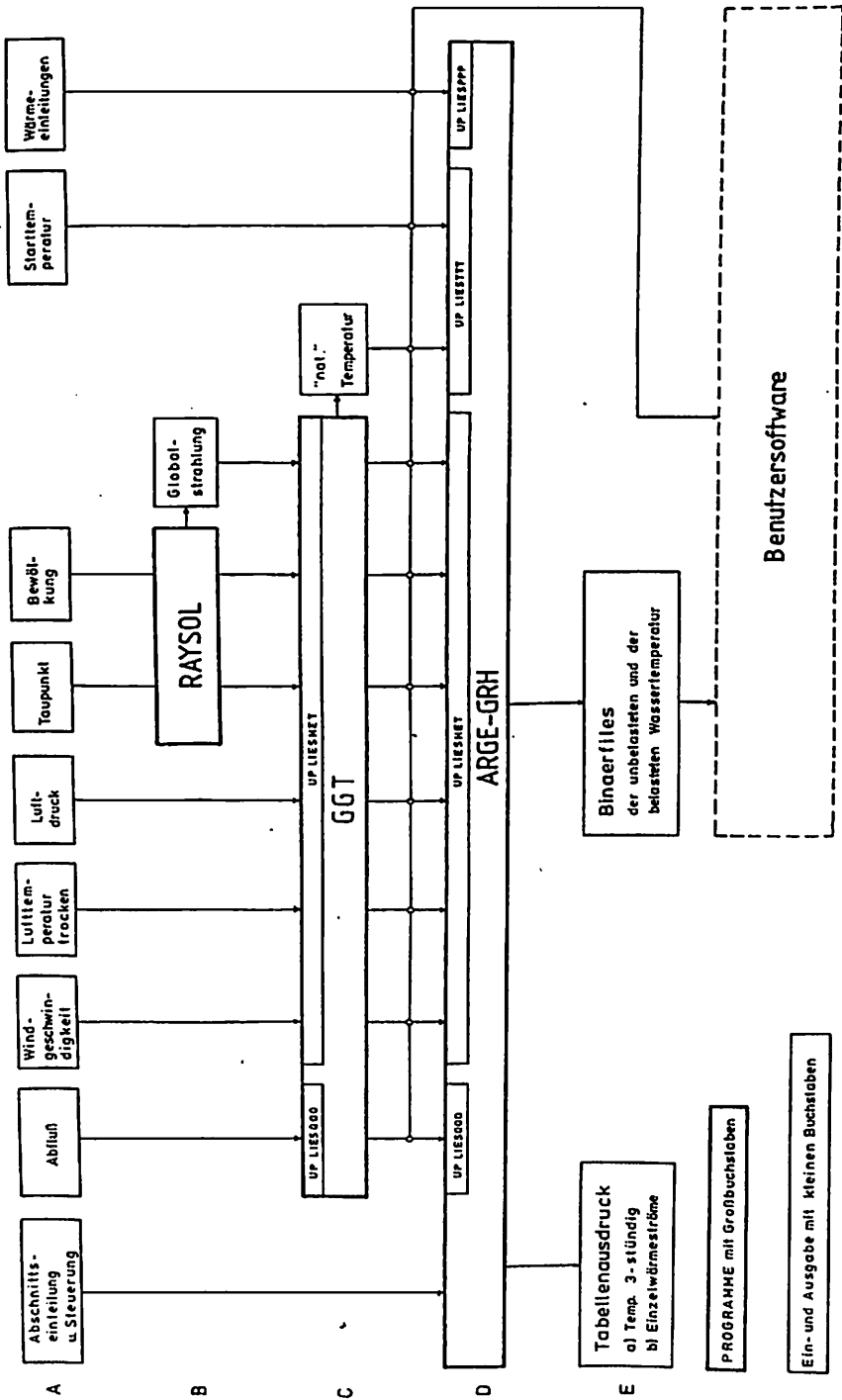


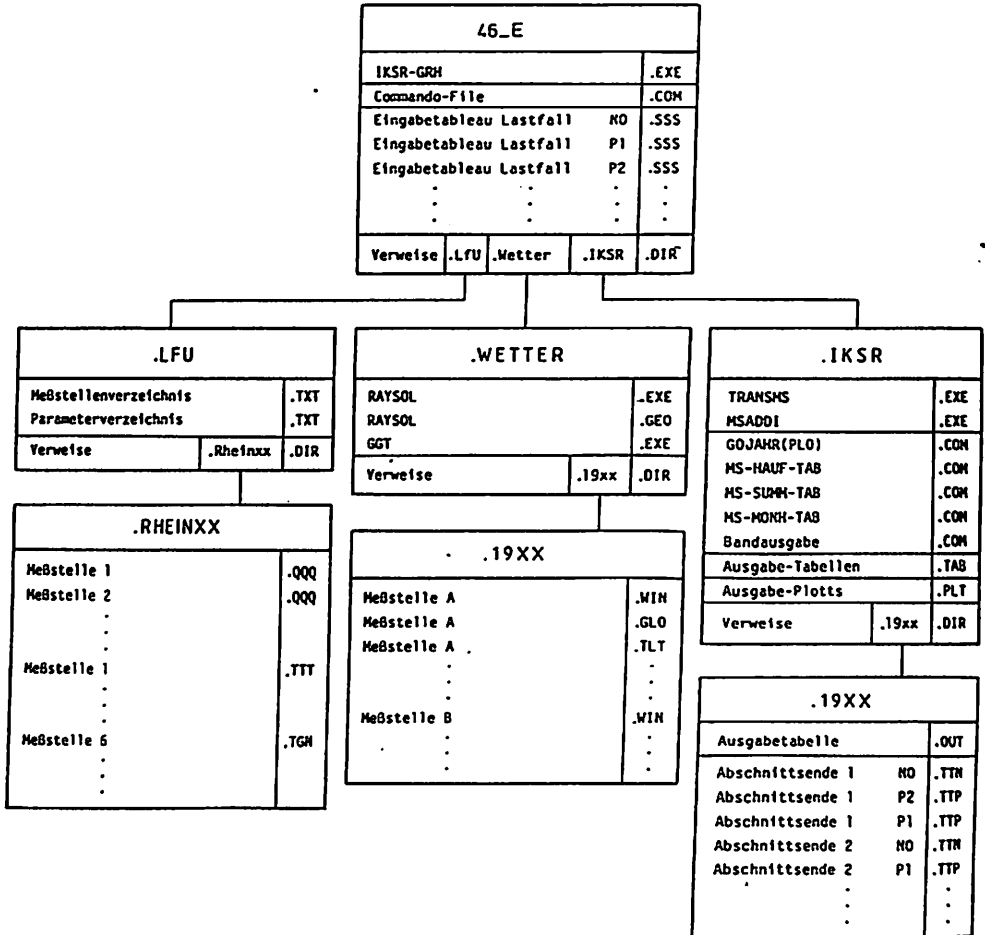
R = Reflexionsanteil

1 Einzelkomponenten der Wärmebilanz

Seqm. Nr.	untere Grenze	Länge km	Abschnitt von-bis obere Begrenzung untere Begrenzung	Einleiter in Abschnitt	Abfluss aus Bezugspegel	Wetter- stationen	Wasser- Station
1		72	Aare-Mündung Village-Neuf	Nebenfluß Aare Lonza-Werke, Waldshut Dynamit Nobel, Rheinfelden Hofmann-La Roche, Grenzach Ciba Geigy, Grenzach	Rheinfelden	Basel	
	175						
2	(227)	53	Alt-Rhein	-	Regelung	Colmar	
3	212	38	Village-Neuf Fessenheim (Kanal)	-	Regelung	Colmar	
4	227	14	Fessenheim Breisach (Kanal)	IKW Fessenheim	Regelung	Colmar	
5	296	69	Breisach Straßburg	-	Rheinfelden	Colmar	
6	341	45	Straßburg Seltz	-	1/3 Rheinfelden + 2/3 Maxau	Straßburg	
7	390	41	Seltz Philppsburg	ROK, Karlsruhe Holtzmann, Karlsruhe OMW, Karlsruhe	Maxau	Mannheim	
8	416	35	Philppsburg Mannheim	IKW Philppsburg I	Maxau	Mannheim	
9	428	12	Mannheim Neckar-Mündung	GKM, Mannheim PWA, Mannheim	Maxau	Mannheim	
10	-	0	Nebenfluß Neckar	Nebenfluß Neckar	Differenz von Worms-Maxau	Mannheim	
11	443	15	Neckar-Mündung Worms	BASF, Ludwigshafen	Worms	Mannheim	
12	457	14	Worms Biblis	-	Worms	Frankfurt	
13	497	40	Biblis Main-Mündung	IKW Biblis	Worms	Frankfurt	
14	-	0	Nebenfluß Main	Nebenfluß Main	Differenz von Kaub-Worms	Frankfurt	
15	546	49	Main-Mündung Kaub	KW Mainz/Wiesbaden	Kaub	Frankfurt	
16	592	46	Kaub Mosel-Mündung	-	Kaub	Koblenz	
17	-	0	Nebenfluß Mosel	Nebenfluß Mosel	Differenz von Andernach-Kaub	Koblenz/ (Trier)	
18	688	96	Mosel-Mündung Köln	Dynamit Nobel, Lüssdorf Union Kraftstoff, Wesseling Chem. Fa. Kalk, Köln	Andernach	Köln-Bonn	
19	740	52	Köln Düsseldorf	IKW Niel, Köln SKA Stammheim, Köln Bayer, Leverkusen Nebenfluss Erft Bayer, Dormagen	1/2 Andernach + 1/2 Düsseldorf	Köln-Bonn	
20	780	40	Düsseldorf Thyssen	KW Lauward, Düsseldorf Bayer, Krefeld Krupp-Stahl, Rheinhausen KW Duisburg III KW Duisburg I u. II	Düsseldorf	Düsseldorf	
21	806	26	Thyssen Walsum 2	Erdöl, Duisburg KW Thyssen, Ruhrort KW STEAG, Walsum Nebenfluß Emscher KW STEAG, Voerde	1/2 Düsseldorf + 1/2 Rees	Düsseldorf	
22	865	59	Walsum 2 Lobith	Solvay, Rheinberg Nebenfluß Lippe	Rees	Düsseldorf	

3 Abschnittseinteilung mit den hydrologischen und meteorologischen Stationen sowie den Einleitern



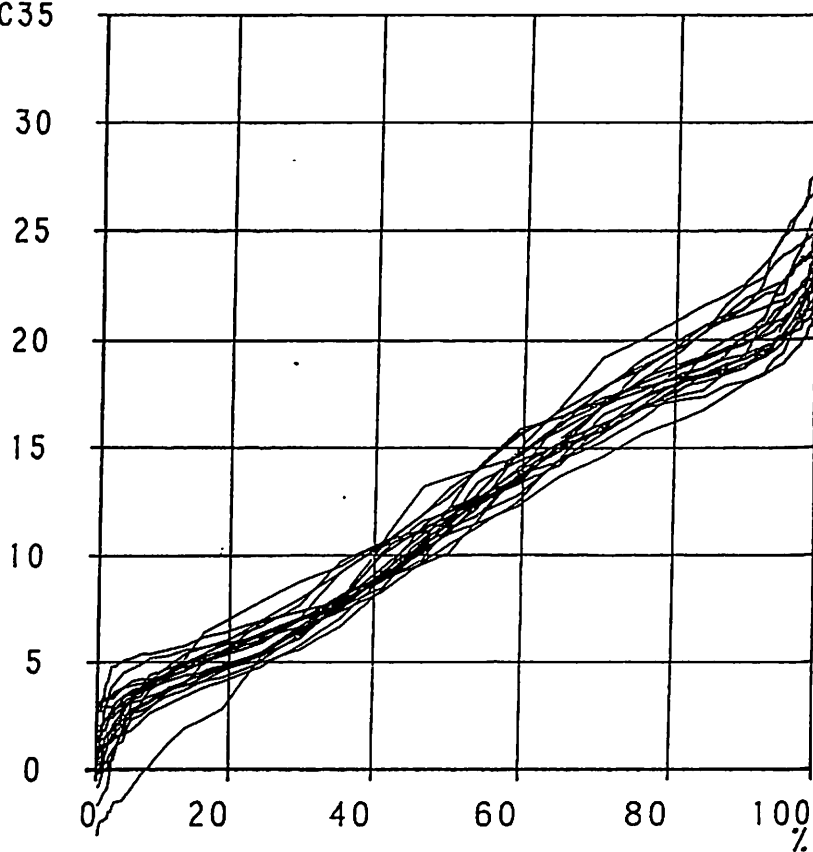


M	Abschnittsname	X km	XLAE m	PS MW	IR	IT	IM	IP	IV	NQ	QL m3/s	TL	NT	IA	1	2	3
Nr.																	
1	Aare - Village Neuf	71.	179.	2118.	1	1	1	0	1	-1	0.	0.	5	-5	F	T	T
2	Vieux Rhin	53.	181.	0.	2	0	2	0	0	0	0.	0.	0	-4	F	F	T
3	Village Neuf - Fessenheim	38.	164.	0.	3	0	0	0	2	0	0.	0.	5	0	F	F	T
4	Fessenheim - Breisach	14.	153.	3622.	3	0	0	0	2	0	0.	0.	0	0	F	F	T
5	Breisach - Strassburg	69.	275.	0.	1	0	0	0	0	0	0.	0.	0	0	F	F	T
6	Strassburg - Seltz	45.	149.	0.	4	0	3	0	3	1	0.	0.	0	0	F	T	T
7	Seltz - Philippsburg	41.	237.	1170.	5	0	4	0	4	0	0.	0.	0	0	F	F	T
8	Philippsburg - Mannheim	35.	237.	4190.	5	0	0	0	4	0	0.	0.	0	0	F	F	T
9	Mannheim - Neckar	12.	225.	0.	5	0	0	0	5	0	0.	0.	0	-5	F	F	T
10	Neckar Nebenfluss	0.	0.	0.	6	2	0	0	0	0	0.	0.	5	5	F	F	T
11	Neckar - Worms	15.	225.	1777.	7	0	0	0	6	0	0.	0.	0	0	F	F	T
12	Worms - Biblis	14.	289.	0.	7	0	5	0	7	0	0.	0.	0	0	F	F	T
13	Biblis - Main	40.	289.	4950.	7	0	0	0	7	0	0.	0.	0	-5	F	F	T
14	Main Nebenfluss	0.	0.	0.	8	3	0	0	0	0	0.	0.	5	5	F	F	T
15	Main - Kaub	49.	479.	1299.	9	0	0	0	8	0	0.	0.	0	0	F	F	T
16	Kaub - Koblenz	46.	225.	0.	9	0	6	0	9	0	0.	0.	0	-5	F	F	T
17	Mosel Nebenfluss	0.	0.	0.	10	4	0	0	0	0	0.	0.	5	5	F	F	T
18	Koblenz - Koeln	96.	254.	80.	11	0	7	0	10	-1	0.	0.	0	0	F	F	T
19	Koeln - Duesseldorf	52.	280.	1661.	12	0	0	0	11	2	0.	0.	0	0	F	F	T
20	Duesseldorf - Thyssen	40.	291.	3165.	13	0	8	0	12	3	0.	0.	0	0	F	F	T
21	Thyssen - Walsum 2	26.	291.	2680.	14	0	0	0	13	4	0.	0.	0	0	F	F	T
22	Walsum 2 - Lobith	59.	324.	0.	15	0	0	0	14	5	0.	0.	0	0	F	T	T

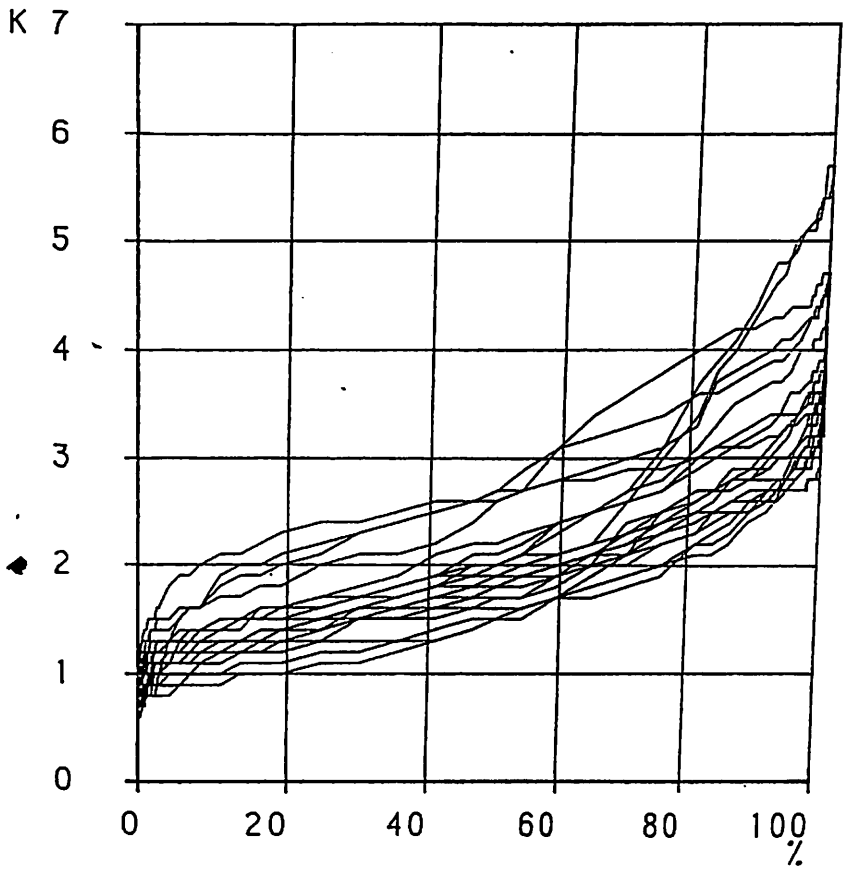
Nr. der zugeordneten Gewässercharakteristik
 Steuergrosse Temperatur Abflusszuwachs
 konst. Abfluss kleiner Nebenflüsse
 konst. Temperatur kleiner Nebenflüsse
 Steuergrosse grosser Nebenflüsse
 Steuergrosse grosser Nebenflüsse
 Steuergrosse Lastfall
 Steuergrosse Ausgabe - Statistischer Teil
 Steuergrosse Ausgabe - Tabellenteil

M Nummer des Abschnitts IV
 SENAM Name des Abschnitts NQ
 X Laenge des Abschnitts QL
 XLAE Breite des Abschnitts TL
 PS konst. Abwaerme eines Einleiters NT
 IR Nr. des zugeh. Abflusspegels IA
 IT Nr. der zugeh. Temperaturmesstelle LOG1
 IM Nr. der zugeh. meteorologischen Station LOG2
 IP Nr. des zugeh. Einleiters LOG3

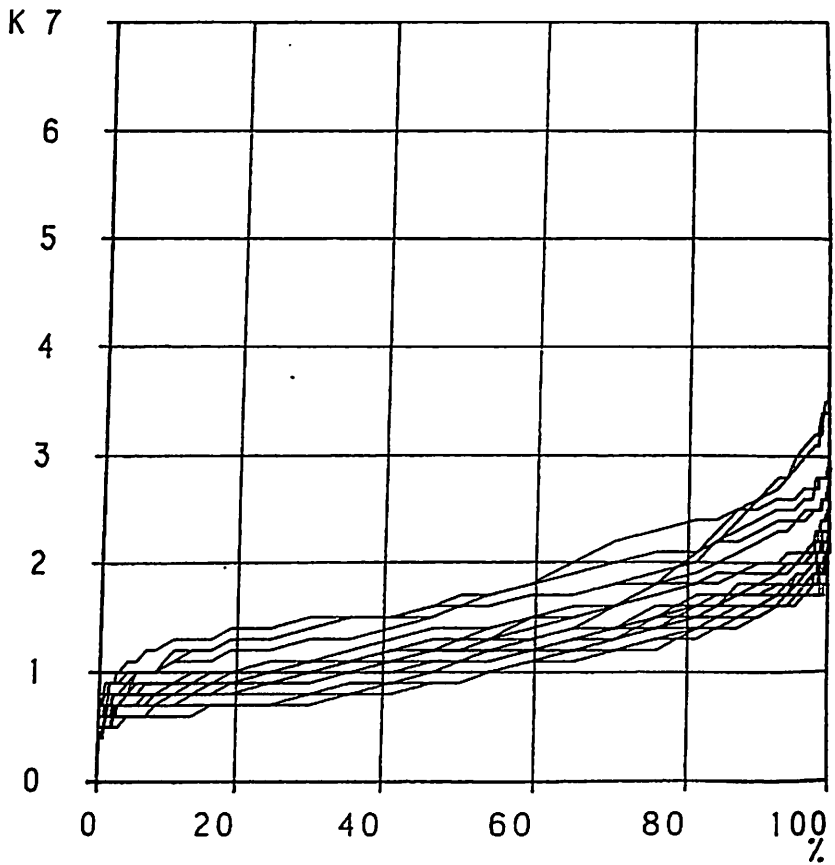
Grd C35



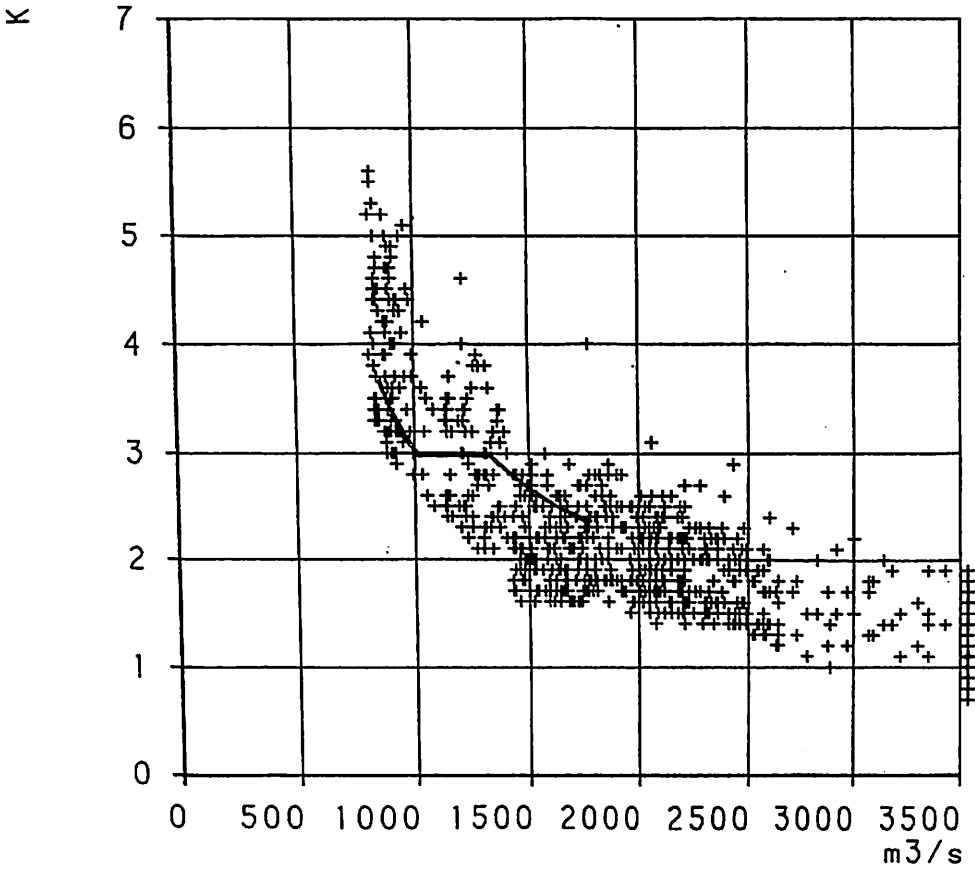
7 Dauerlinie der errechneten natürlichen Temperatur



8 Dauerlinie der anthropogenen Erwärmung ohne Betrieb der Kühltürme



9 Dauerlinie der anthropogenen Erwärmung mit Betrieb der Kühltürme



- 10 Abhängigkeit der anthropogenen Erwärmung des Rheins bei Lobith mit und ohne Betrieb der Kühltürme vom jeweiligen Abfluß und daraus abgeleitete Konsequenzen für den Betrieb der Kühltürme

XV конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ВОД И ПРОГНОЗ МЕЖЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕКИ ДРАВЫ

Огнен Боначчи

Факультет строительных наук, Сплит, Югославия

Душан Тринич

Республиканский гидрометеорологический институт
СР Хорватии, Загреб, Югославия

РЕЗЮМЕ

Вдоль по течению р.Дравы, а также на югославском, венгерском и австрийском участках ее бассейна за последние двадцать лет построены многочисленные водохозяйственные, гидроэнергетические и другие значительные объекты. Это оказывает существенное влияние на режим вод реки Дравы, особенно в период межени. В статье подробно анализируются изменения режима вод в период межени на участке р.Дравы от в.п. Ботово /км. 226,85/ до в.п. Белице /км. 53,80/. Определены значения изменений, время их появления, тенденции изменения и причины их возникновения. В конце даются прогностические выражения для прогнозирования расходов воды в период межени для продолжительности меженного периода больше 70% года.

VERÄNDERUNG DES WASSERREGIMES UND DIE PROGNOSE DES NIEDRIGWASSERS DER DRAU

ZUSAMMENFASSUNG

Sowohl entlang des Draulaufes als auch im Flussgebiet der Drau in Jugoslawien, Ungarn und Österreich wurden etwa in den letzten zwanzig Jahren zahlreiche wasserwirtschaftliche, hydroenergetische und andere grosse Objekte gebaut. Durch ihren Bau hat man das Wasserregime der Drau wesentlich beeinflusst, vor allem ihr Niedrigwasserregime. In dieser Arbeit wurden die Veränderungen im Niedrigwasserregime im Abschnitt der Drau von Botovo bis Beliše umfassend untersucht. Es wurden die Ausmasse dieser Veränderungen, die Zeit ihres Auftretens, die Trends und die Gründe, die sie hervorgerufen haben, festgestellt. Abschliessend sind prognostische Ausdrücke für zwei Profile an der Drau für die Prognose von Durchflüssen im Zeitraum des Niedrigwassers, der länger als 70% des Jahres dauert.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство водохозяйственных, гидроэнергетических, сельскохозяйственных и других /нпр. городских и промышленных/ объектов в бассейнах рек за последние двадцать лет существенно изменяет условия формирования стока, а тем самым и его режим. По правилу, все перечисленные, как и многие другие виды человеческой деятельности, вызывающие перемены на водосборах, именуются антропогенными факторами. В настоящей статье анализируется влияние этих факторов на режим минимальных расходов и уровней р. Дравы на участке Терезино Поле-Осиек. Вдоль течения реки Дравы построено 19 ГЭС, а запроектировано еще 8. Хотя ГЭС представляют собой только один, а часто и самый значительный из антропогенных факторов, влияющих на изменение режима стока, и сам факт их строительства ясно свидетельствует о том, что режим вод изменен. Следовало бы ожидать, что некоторые изменения должны быть положительными, но очень часто и одновременно они будут иметь и много отрицательных последствий.

МИНИМАЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ УРОВНИ

Анализируя ряды минимальных годовых уровней, можно прийти к многочисленным выводам по отношению к местным и общим переменам в русле, а также и бассейне реки. Первым индикатором, а в тоже время и причиной явления тенденций в последовательностях минимальных годовых уровней, может послужить грубый анализ изменения формы поперечного сечения речного русла. На реке Драве наблюдаются интенсивные перемены на участке Ботово-Белице, длиной в 173 км. Следует подчеркнуть, что речь идет не о местных процессах, а, согласно располагаемым информациям, о процессе, захватившем весь рассматриваемый участок.

На рис. I представлен график тенденции последовательностей минимальных годовых уровней, в абсолютных отметках, для следующих в.п.: Ботово, Терезино Поле, Нижний Михоляц и Белице. Из рисунка

видно, что тенденции снижения уровня уменьшаются вниз по течению от 4,1 см/год у Ботова до 1,9 см/год у Белице. Статистические тесты показали статистическую значительность этих тенденций.

Причиной появления тенденций снижения уровней являются водохранилища ГЭС, построенных на верхних участках реки Дравы. Воздвижением плотин в водохранилищах задерживается большая часть преимущественно влекомых наносов, а также и взвешенных наносов. Поэтому, ниже плотин река не насыщена наносами и избытком энергии поднимает донные наносы собственного русла. Таким образом, дно реки углубляется на довольно длинных участках, что сопровождается снижением минимальных годовых уровней. Естественно, это не должно быть единственной причиной углубления дна реки. Существует и реальная возможность уменьшения минимальных годовых расходов воды из-за постоянно возрастающего потребления воды. Известно, что на рассматриваемом участке р. Дравы постоянно возрастает потребление подземных вод для водоснабжения и орошения. На отдельных участках это привело к невозвратному истощению подземных вод, так что местные снижения уровней достигают и 10м. Независимо от стойкости поставленных гипотез, нет никакого сомнения, что деятельность человека, которая часто полностью неконтролируема, привела к существенным и опасным нарушениям естественного режима вод р. Дравы на участке Ботово-Белице.

ИЗМЕНЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ В ПЕРИОД МЕЖЕНИ

Замечено, что кривые расходов р. Дравы на участке Ботово-Белице очень нестабильные, особенно в зоне минимальных расходов. Поэтому сделана попытка, применением дискриминационного анализа, определить время и причину появления отдельных подмножеств в измеренных минимальных расходах. На рис. 2 показаны все измерения расходов / Q / в профиле в.п. Нижний Михоляц, которые меньше $400 \text{ м}^3/\text{сек}$ за период 1961-1989гг. На графике эти измерения представлены так, что абсцисса представляет собой логарифмы расходов, а ордината - уровни в см. По точкам

измерений за отдельные годы построены прямые, параметры которых вычислены по теории наименьших квадратов. Ясно видно, что за период от 1977г. формируется одно подмножество из 32-х точек /А/, а для остальной части рассматриваемого периода - другое подмножество /В/ - из 29-и точек. Следует отметить, что речь идет о процессе постоянного снижения рассматриваемой части кривой расходов, что указывает на процесс эрозии русла, прекращение которого нельзя ожидать в скором будущем. Эти процессы являются очень продолжительными. В качестве параметров дискриминации можно было принять следующие величины: Н - уровень, Q - расход, $\bar{V}$ - средняя скорость и А - площадь поперечного сечения, вычисленная из выражения $A = Q/\bar{V}$. Самые значительные разделения подмножеств А и В дает следующая дискриминационная функция Z:

$$Z_I = 0.29 H + 3.2I + 10^6 Q - 0.58 \bar{V} - 7.66 * 10^4 A \quad /I/$$

Анализ окончательно подтвердил, что процесс эрозии дна русла является значительным в статистическом смысле в двух выбранных периодах и далее, что по параметрам Н и А - приблизительно одинаковой интенсивности. Этот статистический вывод физически можно истолковать так, что в профиле Терезино Поле параллельно текут процессы эрозии дна и общей эрозии русла р.Дравы в зоне рассматриваемого профиля. Эти процессы особенно усилены, начиная с 1978г., продолжают по сей день, даже с усилением интенсивности. Это и есть одна из основных причин все более выраженных затруднений, и даже невозможности определения постоянной и долговечной кривой расходов. Из этого факта вытекают и остальные проблемы, связанные с гидрологической обработкой данных и прогнозированием минимальных расходов уровней.

Подобный анализ данных измерений на в.п. Нижний Михоляц сделан на Драве в период 1970-1989гг. Гидрометрические измерения, которые здесь анализированы, относятся к уровням ниже $H = \pm 0$ см. Их в общей сложности было 44. Русловые процессы, а следовательно и выводы, очень схожие с предшествующим случаем, т.е., что дно

постоянно углубляется, начиная с 1971 г. и этот процесс продолжается по сей день. Интенсивность процессов в этом случае, в некоторой степени менее выражена, чем на верхнем профиле Терезино Поле, отдаленном от Нижнего Михольца на 76 км. Здесь также дискриминационный анализ проведен для периода 1970-1977 гг. и 1978-1989 гг. Таким способом сформированы подмножества А из 25 и В из 19 данных измерений. Ниже дается выражение функции Z, которая лучше остальных статистически разделяет два сформированные подмножества:

$$Z = -5.80 H - 0.06 Q + 37.1 \bar{V} + 0.065 A \quad /2/$$

Разделение статистически значительно, но несколько слабее, чем для профиля Терезино Поле. Для профиля Нижний Михоляц более существенным параметром разделения является площадь поперечного сечения, чем уровень, в отношении 6,2 : 1. Физически это объясняется тем, что в этом профиле процесс углубления дна русла протекает медленнее, чем процесс общей эрозии русла в зоне этого профиля.

МИНИМАЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ РАСХОДЫ

Анализом рядов минимальных годовых расходов получены неожиданные результаты. Основные статистические обработки в форме линейных тенденций в период 1951-1985 гг. дали следующие численные результаты. В профиле Ботово тенденция уменьшения расходов 2,8 м³/сек в год, в профиле Терезино Поле - 3,6 м³/сек в год, в профиле Нижний Михоляц - 1,4 м³/сек в год. Если рассматривать только последнюю декаду периода /1978-1987/ получается, что уменьшение минимальных годовых расходов усиливается в Ботово на 7,2 м³/сек в год, в Терезино Поле на 5,1 м³/сек в год и в профиле Нижний Михоляц на 5,0 м³/сек в год. Отрицательные и крайне опасные процессы продолжают и даже усиливаются со временем. Конечно, для большей достоверности сделанных выводов, необходимо учитывать

и тот факт, что гидрометрические измерения и определение кривой расходов содержат ошибки. Эти ошибки неизбежно влияют на сделанные выводы, но несмотря на это, приведенные изменения и тенденции нельзя объяснить только ошибками измерений и расчетов. Несомненно, что происходят процессы, которые уже не находятся под контролем и которые захватили все течение реки Дравы и, как таковые, могут иметь серьезные последствия.

ПРОГНОЗ МЕЖЕННОГО СТОКА

Вначале сделана попытка прогнозирования расхода меженного стока применением одной из численных моделей кривой спада. Но от применения этого метода пришлось отказаться, так как кривые спада стали очень непродолжительными из-за работы ГЭС в верхнем течении реки с одной, и влияния подпора Дуная, с другой стороны. Поэтому единственным приемлимым способом прогнозирования меженного стока оказался метод линейной регрессии. Прогностические зависимости определены только для профилей Терезино Поле и Н. Михоляц и то, для расходов, продолжительность которых больше 70% года, разделенных на пять классов.

Прогностические зависимости определены для заблаговременности в 1, 2, 3 и 4 суток. Для реки Дравы характерно то, что в настоящее время нет естественного режима течения из-за работы ГЭС. Идентификация параметров прогностических зависимостей производится по данным наблюдений после 1978 г. В таблице I даны численные значения параметров зависимостей, которые дают лучшие прогнозы. Здесь даны еще и коэффициенты сложной корреляции R , а также и стандартные ошибки прогнозов δ /м³/сек/ для профиля Терезино Поле.

ВЫВОДЫ

Проведенные анализы и обработки бесспорно показали существование изменений режима течения р. Дравы. Во первых, замечено зна-

чительное отложение наносов на правом берегу в профилях Белице и Нижний Михольц. Также отмечено существование статически значительных тенденций снижения минимальных годовых уровней, из чего можно заключить, что дно реки от профиля Ботово вниз по течению углубляется в среднем 2-4 см в год. Вероятно существует две причины этого явления. Первая - строительство каскада ГЭС в верхнем течении и вторая - очень вероятное уменьшение минимальных годовых расходов вдоль целого анализированного участка реки приблизительно на $3 \text{ м}^3/\text{сек}$ в год. Так как речь идет об очень сложных процессах, последствия которых трудно предусмотреть, необходимо очень тщательное изучение всего комплекса проблем, чтобы с уверенностью судить о настоящих причинах и последствиях намеченных феноменов. Рассматриваемые изменения режима вод р. Дравы и строительство ГЭС и других объектов в ее бассейне, в значительной степени затрудняют определение надежных прогностических моделей.

Таблица I

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ МЕЖЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ
РЕКИ ДРАВЫ У В.П. ТЕРЕЗИНО ПОЛЕ

	t + 1	t + 2	t + 3	t + 4
300-350	$TP_{t+1} = 0.13 TP_t + 0.22 TP_{t-1} + 0.28 B_t - 0.12 B_{t-1} - 0.15 B_{t-2} + 205.62$ R=0.642 s=11.48	$TP_{t+2} = 0.13 TP_t + 0.02 TP_{t-1} + 0.09 B_t - 0.12 B_{t-1} + 0.02 B_{t-2} + 280.24$ R=0.417 s=13.61	$TP_{t+3} = 0.04 TP_t + 0.03 TP_{t-1} + 0.02 B_t - 0.001 B_{t-1} - 0.02 B_{t-2} + 300.28$ R=0.270 s=14.44	$TP_{t+4} = 0.06 TP_t - 0.008 TP_{t-1} + 0.04 B_t - 0.06 B_{t-1} + 0.03 B_{t-2} + 303.82$ R=0.262 s=14.47
250-300	$TP_{t+1} = 0.22 TP_t + 0.8 TP_{t-1} + 0.24 B_t - 0.15 B_{t-1} - 0.11 B_{t-2} + 173.84$ R=0.677 s=10.48	$TP_{t+2} = 0.8 TP_t + 0.03 TP_{t-1} + 0.04 B_t - 0.08 B_{t-1} - 0.02 B_{t-2} + 232.14$ R=0.476 s=12.54	$TP_{t+3} = 0.10 TP_t + 0.06 TP_{t-1} + 0.07 B_t - 0.11 B_{t-1} - 0.02 B_{t-2} + 245.30$ R=0.389 s=13.14	$TP_{t+4} = 0.06 TP_t + 0.07 TP_{t-1} + 0.01 B_t - 0.07 B_{t-1} + 0.002 B_{t-2} + 252.54$ R=0.330 s=13.49
200-250	$TP_{t+1} = 0.20 TP_t + 0.22 TP_{t-1} + 0.31 B_t - 0.22 B_{t-1} - 0.03 B_{t-2} + 121.31$ R=0.659 s=11.38	$TP_{t+2} = 0.14 TP_t + 0.88 TP_{t-1} - 0.01 B_t + 0.02 B_{t-1} - 0.04 B_{t-2} + 182.76$ R=0.424 s=13.70	$TP_{t+3} = 0.10 TP_t + 0.11 TP_{t-1} + 0.12 B_t - 0.09 B_{t-1} - 0.06 B_{t-2} + 184.32$ R=0.417 s=13.75	$TP_{t+4} = 0.11 TP_t + 0.07 TP_{t-1} + 0.03 B_t - 0.07 B_{t-1} - 0.01 B_{t-2} + 195.74$ R=0.350 s=14.18
150-200	$TP_{t+1} = 0.24 TP_t + 0.09 TP_{t-1} + 0.15 B_t - 0.16 B_{t-1} + 0.03 B_{t-2} + 112.67$ R=0.600 s=10.02	$TP_{t+2} = -0.02 TP_t + 0.23 TP_{t-1} + 0.07 B_t + 0.07 B_{t-1} - 0.12 B_{t-2} + 136.92$ R=0.530 s=10.62	$TP_{t+3} = 0.08 TP_t + 0.08 TP_{t-1} + 0.05 B_t + 0.06 B_{t-1} + 0.06 B_{t-2} + 144.24$ R=0.547 s=10.48	$TP_{t+4} = 0.08 TP_t + 0.10 TP_{t-1} + 0.15 B_t - 0.13 B_{t-1} - 0.05 B_{t-2} + 151.67$ R=0.432 s=11.29
100-150	$TP_{t+1} = 0.08 TP_t - 0.04 TP_{t-1} + 0.15 B_t + 0.09 B_{t-1} + 115.09$ R=0.998 s=0.60	$TP_{t+2} = -0.42 TP_t + 0.06 B_t + 0.35 B_{t-1} - 0.04 B_{t-2} + 133.85$ R=0.981 s=1.86	$TP_{t+3} = -0.25 TP_t + 0.12 B_t + 0.25 B_{t-1} - 0.24 B_{t-2} + 155.60$ R=0.973 s=2.23	$TP_{t+4} = 0.11 TP_t - 0.23 TP_{t-1} + 0.05 B_t + 0.03 B_{t-1} - 0.05 B_{t-2} + 157.59$ R=1.0 s=0.0

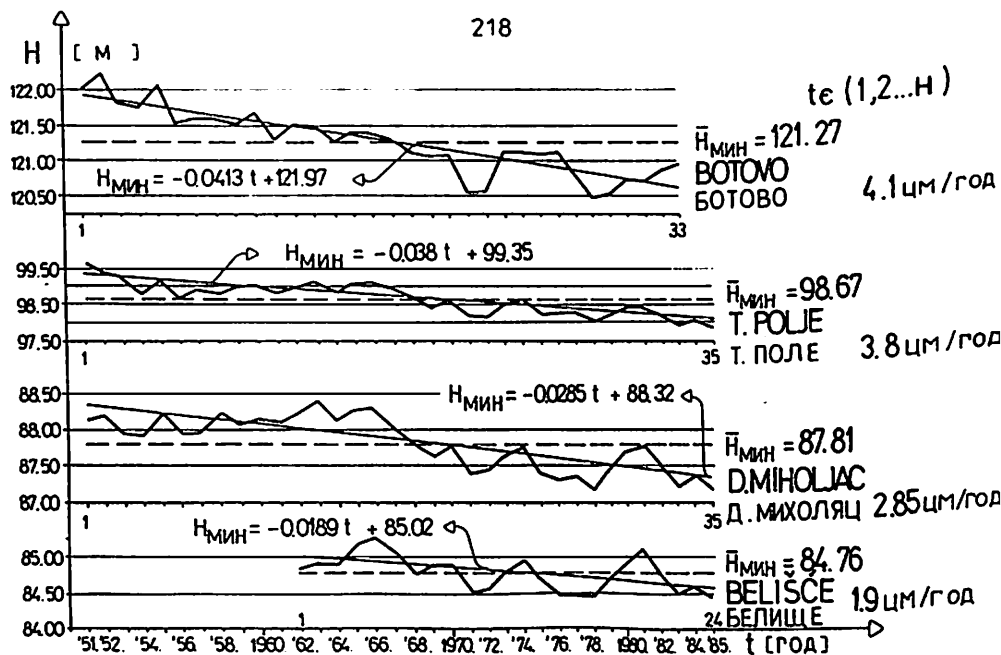


РИС. 1

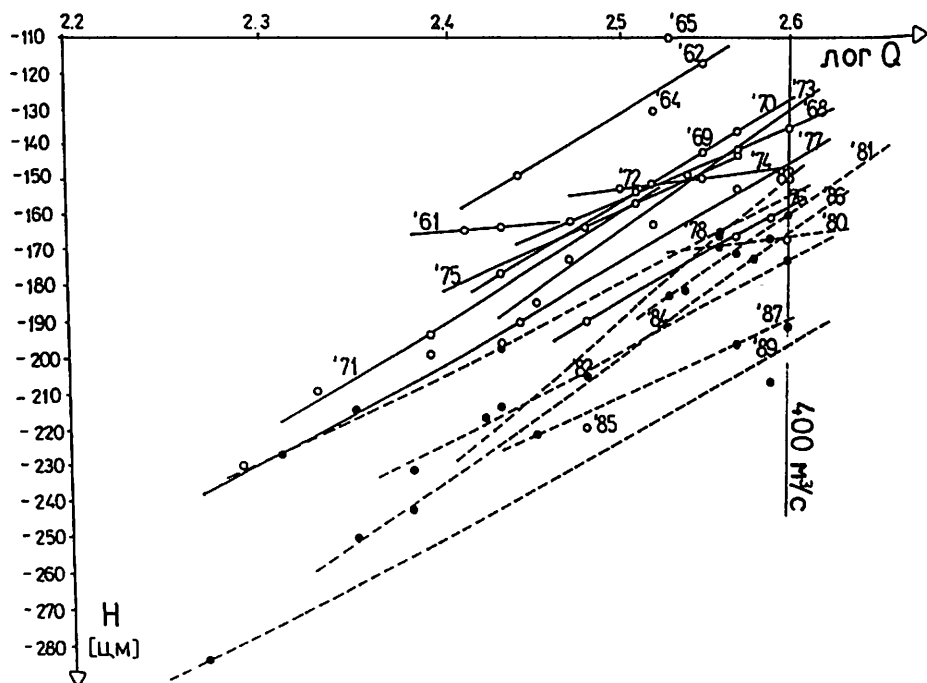


РИС. 2

ERMITTLUNG VON HOCHWASSERSCHADENSPOTENTIALEN - METHODIK UND ERFORDERLICHE DATENGRUNDLAGEN

Dr. Wolfgang Günther

Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München, Bundesrepublik Deutschland

Kurzfassung:

Schadenspotentiale sind wichtige Bewertungskriterien sowohl für die operative Steuerung von Hochwasserschutzmaßnahmen als auch für ihre langfristige Planung. Grundlagen zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen sind - neben den projekt- und gebietsspezifischen Informationen zu den hydraulisch-hydrologischen Verhältnissen und den gegenwärtigen bzw. zukünftigen Landnutzungen - Angaben über die mit den verschiedenen Landnutzungen jeweils verbundenen Schadenshöhen. Hierfür sollten standardisierte Schadensfunktionen verwendet werden, die jedoch in der Regel nicht generell verfügbar sind. Im nachfolgenden Beitrag werden Möglichkeiten zur Ableitung von nutzungsbezogenen Wasserstand-Schadens-Funktionen durch computergestützte Schadensanalysen bei abgelaufenen Hochwasserereignissen beschrieben.

Flood Damage Potentials Calculation - Methods and Required Data Basis

Summary:

Damage potentials are important economical evaluating criterions for actual control of flood protecting measures and their long-term planning. The flood damage potentials calculating basis - apart from project and region related data concerning hydraulic-hydrological conditions and actual respectively future land uses - are informations about different land use dependent damages. For solving these problems standardized uses-related damage functions should be applied, but usually such functions are not available. The following contribution describes possibilities for derivating uses-related depth-damage-functions by using computer aided damage analyses of flood events.

1. Bedeutung und Zielstellung

Hydrologische Prognosen über Hochwasserabflüsse sind von großer Bedeutung sowohl im aktuellen Hochwasserfall für Warndienste und zur Einleitung operativer Gegenmaßnahmen als auch für langfristige Planungen von Schutzmaßnahmen in hochwassergefährdeten Gebieten. Zur praktischen Durchführung solcher Maßnahmen sind solche Prognosen allein jedoch noch keine ausreichende Entscheidungsgrundlage. Erst die Zusammenführung hydrologischer Prognosedaten mit Informationen über vorhandene oder zukünftige Nutzungen in den hochwassergefährdeten Gebieten, d. h. die Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen, liefert Anhaltspunkte über die mit bestimmten Hochwasserereignissen verbundenen Risiken, Gefahren und Verlusten und damit Entscheidungshilfen für die Lösung daraus resultierender wasserwirtschaftlicher Problemstellungen.

Die Schadenspotentiale sind wichtige Kriterien beispielsweise im operativen Bereich für:

- die Steuerung von Hochwasserspeichern oder Rückhaltebecken und/oder die Flutung ansonsten anderweitig genutzter Retentionsräume zur Reduzierung von Abflussspitzen und -füllen (z. B. Schadensminimierung)
- die Steigerung der Effektivität des Hochwasserwarndienstes in den Gebieten, wo durch kurzfristige Maßnahmen die größten Schäden verhindert werden können

(z. B. Verlagerung von beweglichem Inventar, Konzentration zusätzlicher Sonderschutzmaßnahmen an Stellen der größten Gefährdungspotentiale)

oder bei langfristigen Planungen für:

- die Dimensionierung neuer (Minimierung des Restrisikos) bzw. Überprüfung bestehender Hochwasserschutzanlagen (Angemessenheit der Schutzwirkung im Lichte von Nutzungsintensivierungen auf geschützten Flächen)
- die Festlegung von Nutzungsbeschränkungen in hochwassergefährdeten Gebieten.

Ziel dieses Beitrages ist die Darstellung der methodischen Vorgehensweise zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen und der dafür erforderlichen Datenbasis mit Schwergewicht auf die Schadensdaten, deren Erfassung sowie computergestützte Abspeicherung und Verarbeitung.

2. Methodische Vorgehensweise und Datengrundlage

In der wasserwirtschaftlichen Planungspraxis einiger Länder werden Standardverfahren zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen angewendet /10/. Beispiele sind: Australien /2/, Canada /4/, England /9/ und die USA /12/. Derartige Bestrebungen gibt es auch in der Bundesrepublik Deutschland (/3/ und /11/).

Zwischen diesen Verfahren sind zwar methodische Unterschiede zu erkennen, als Berechnungsgrundlagen benötigen sie aber sämtlichst Informationen aus folgenden Datenbereichen:

- hydrologisch-hydraulische Daten über Hochwasserereignisse in den Überflutungsgefährdeten Gebieten, wie Abflüsse und Wasserstände mit ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten, Dauern und jahreszeitlichen Verteilungen sowie die Veränderung dieser Größen durch Hochwasserschutzmaßnahmen
- Daten über die Landnutzung im Untersuchungsgebiet, d. h. hochwassergefährdete Flächen und ihre Höhenlagen, unterteilt nach Nutzungen
- Hochwasserschadensdaten, d. h. Schadensangaben für jede Landnutzungsart in Abhängigkeit von unabhängigen Veränderlichen, wie Überflutungswasserstand oder -dauer, Jahres- oder Vorwarnzeit (Schadensfunktionen).

Einen schematischen Überblick über die angesprochenen Datenbereiche und deren Verknüpfung zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen gibt Abb. 1.

Die hydrologisch-hydraulischen Daten und die Landnutzungsdaten sind für das jeweilige Untersuchungsgebiet zu erheben (projektabhängige Eingabedaten). Die nutzungsbezogene Zuordnung der Landflächen basiert auf einem Flächennutzungskatalog, der für alle Nutzungsarten hierarchisch strukturierte vierstellige Schlüssel-Nummern enthält /8/. Aus der Kombination der Daten dieser beiden Bereiche wird - bezogen auf die untersuchten Zustände (Status-quo und Planungsvarianten für Schutzmaßnahmen) - eine Datei der Landnutzungen mit den ereignis- und maßnahmeabhängigen Überflutungshöhen und deren Wahrscheinlichkeiten abgeleitet.

Zur Berechnung von Hochwasserschadenspotentialen sind diese abgeleiteten Daten mit Schadensdaten zu verknüpfen, deren Verfügbarkeit im allgemeinen einen besonderen Engpaß darstellt. Für die Gewinnung dieser Daten bieten sich zwei Wege an:

- Daten aus gesonderten Schadenserhebungen im Untersuchungsgebiet (projektabhängige Schadensdaten) und/oder

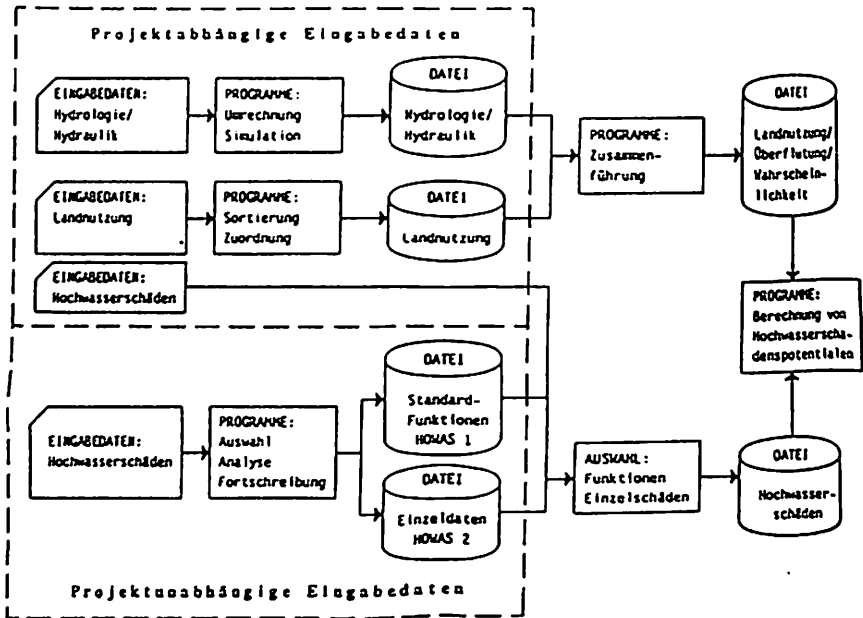


Abb. 1: Vorgehensweise zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen: erforderliche Daten und deren Verknüpfung (nach /5/)

- verallgemeinerungsfähige (standardisierte) Schadensdaten, die projektunabhängig als Funktionen (z. B. Wasserstand-Schadens-Funktionen) oder als Einzelschadensdaten in speziellen Dateien (z. B. HOWAS 1 oder HOWAS 2 in Abb. 1) bereitgehalten werden.

Eine für jeden Untersuchungsfall gesonderte Erhebung projektbezogener Schadensdaten (erster Weg) ist auf Dauer sehr aufwendig und sollte beschränkt bleiben auf Nutzungsarten, für die weder standardisierte Schadensfunktionen noch Einzelschadensdaten vorliegen oder wenn vorhandene Funktionen bzw. Einzelschadensdaten auf Grund besonderer Gegebenheiten im Projektgebiet nicht anwendbar sind. Bevor eine Datei Hochwasserschäden zusammengestellt wird ist deshalb abzufragen, ob für die jeweils betroffenen Nutzungsarten standardisierte Schadensfunktionen (erste Priorität) oder Einzelschadensdaten (zweite Priorität) in entsprechenden Dateien vorhanden sind (z. B. HOWAS 1 bzw. HOWAS 2), ehe projektspezifische Schadensdaten erhoben werden (vgl. Abb. 1).

Zum Aufbau der vorgenannten Schadensdateien HOWAS 1 und HOWAS 2 (zweiter Weg) bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Entwicklung von synthetischen Schadensfunktionen (Basis: Festlegung der bei den einzelnen Nutzungsarten möglichen Schädigungen und verallgemeinerte Abschätzung der jeweiligen wasserstandsabhängigen Schadensumfänge sowie der für Reparaturen bzw. Ersatz anfallenden Kosten; so ist beispielsweise die Vorge-

hensweise beim englischen Standardverfahren zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen, die sehr zeit- und arbeitsintensiv ist (/9/ und /10/))

- systematische Erfassung, Abspeicherung und Auswertung von Hochwasserschäden bei abgelaufenen Hochwasserereignissen.

Letzterer Weg wird zum Aufbau verallgemeinerungsfähiger Schadensdateien derzeit in der Bundesrepublik Deutschland beschritten. Über einige Details und Ergebnisse wird im nachfolgenden Pkt. 3. berichtet.

3. Ermittlung standardisierter Schadensdaten

Der Grundstock zum Aufbau von Dateien mit nutzungsbezogenen standardisierten Schadensdaten wird aus Schadensanalysen abgeleitet, die für Hochwasserereignisse mit größerem Schadensausmaß durchzuführen sind (z. B. /1/ und /5/). Bei diesen Hochwasserschadensanalysen werden zunächst von Sachverständigen unter Verwendung spezieller Formblätter vor Ort die Auswirkungen mengenmäßig erfaßt, d. h. für jedes vom Hochwasserereignis betroffene Objekt die beteiligten Nutzungsarten (vierstellige Schlüssel-Nummer, vgl. /8/), die jeweiligen Schadensarten und -umfänge (Schäden an Gebäuden bzw. Objekten, festem und beweglichem Inventar bzw. Außenanlagen) sowie die zugehörigen unabhängigen Veränderlichen (z. B. Überflutungswasserstand) und Bezugsgrößen (z. B. überflutete Flächen). In einem zweiten Arbeitsschritt werden diese verschiedenen Mengenwirkungen in monetär bewertete Schäden transformiert. Diese Einzelschäden einschließlich der dazugehörigen unabhängigen Variablen und Bezugsgrößen werden in Dateien übernommen.

Für eine computergestützte Abspeicherung, Fortschreibung und Korrektur der erfaßten und zukünftig zu erhebenden Schadensdaten sowie für deren statistische Auswertung existiert ein menuegesteuertes Programmsystem HOWAS (/6/ und /7/). Die Ablage und Strukturierung der Schadensdaten in den Dateien erfolgt nach verschiedenen Ordnungsmerkmalen:

- ereignisorientiert (Hochwasserereignis nach Vorfluter, Monat und Jahr)
- lageorientiert (betroffene Gemeinde mit zugehörigem Landkreis)
- nutzungsorientiert (Art der Nutzung der betroffenen Objekte, Schlüssel-Nummer)
- schadensartorientiert (Schäden an Gebäuden bzw. Objekten, Inventar, Außenanlagen).

Nach diesen Ordnungsmerkmalen können aus den Dateien Datenkollektive für statistische Auswertungen ausgewählt werden. Zur Ableitung nutzungsbezogener Schadensdaten (Funktionen) ist das nutzungsorientierte Ordnungsmerkmal von besonderem Interesse. Die hierfür gewählte Struktur basiert auf dem bereits erwähnten System vierstelliger Schlüssel-Nummern des Flächennutzungskatalogs /8/. Der hierarchische Aufbau dieses Systems von Sektoren (Hauptnutzungsarten, z. B. Sektor 1***: private Wohngebäude), über Untersektoren (Haustyp, z. B. 11**: Einzelhaus/Flachbau) und Kategorien (Bauart/Bauperiode, z. B. 116*: Massivbau nach 1964) zu Unterkategorien (Unterkellerung/Garage, z. B. 1168: vollunterkellert/ebenerdige Garage) ermöglicht eine Datenauswertung auf verschiedenen Ebenen; angefangen für sehr spezielle Nutzungsarten, d. h. bezogen auf Unterkategorien, bis zur Datenverdichtung für einen gesamten Sektor (bei der Auswahl 1*** werden alle in der Datei verfügbaren Schadensangaben des Sektors 1 zusammengefaßt ausgewertet).

Durch Ausgabe eines Inhaltsverzeichnis der Dateien kann, ereignis- und lageorientiert gegliedert, die Anzahl der für jede Schlüssel-Nummer in der Datei vorhandenen Schadensfälle festgestellt werden. Daraus ist ableitbar, für welche Nutzungsarten (Schlüssel-Nummern) Schadensdaten überhaupt vorliegen und ob auf Grund der Datenlage statistische Auswertungen - z. B. die Ableitung standardisierter Schadensfunktionen - sinnvoll sind oder ob im praktischen Planungsfall für bestimmte Nutzungsarten auf Einzelschadensdaten bzw. auf gesonderte Schadenshebungen im Untersuchungsgebiet zurückzugreifen ist.

Die statistische Auswertung einer nach den vier genannten Ordnungsmerkmalen ausgewählten Stichprobe besteht aus den beiden Teilen:

- Berechnung von statistischen Parametern und
- Ermittlung von Schadensfunktionen durch Regression.

wobei die Schäden (abhängige Variable) als absolute (Schäden in DM) und/oder als bezogene Größen (z. B. Schäden pro bebaute Fläche) ausgewertet werden können. Die berechneten statistischen Parameter sind: arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Varianz, Minimum, Maximum, Summe, Range und Schiefe. Daneben werden die Häufigkeiten - wahlweise als empirische Wahrscheinlichkeit oder als relative Klassenhäufigkeit - ermittelt. Bezogen auf eine unabhängige (verursachende) Variable (z. B. Wasserstand, Vorwarnzeit oder Dauer der Ausuferung) wird außerdem der empirische Korrelationskoeffizient bestimmt.

Für die Anpassung durch Regression und die Ableitung von nutzungsbezogenen Schadensfunktionen (z. B. Wasserstand-Schadens-Funktionen) stehen sieben verschiedene Funktionstypen zur Verfügung, für die neben den Funktionsparametern auch die Vertrauensbereiche und die Summe der Abweichungsquadrate berechnet werden. Die Ausgabe erfolgt graphisch und tabellarisch, wahlweise auf dem Bildschirm oder als Plot. In Abb. 2 ist als Beispiel ein Plot für die Funktionsanpassung einer zusammengefaßten Stichprobe der Schlüssel-Nummern 1248, 1249, 1268 und 1269 (Einzelhäuser/Stockwerksbau, Massivbau nach 1949, teil- oder vollunterkellert mit Garage) dargestellt. Unabhängige Variable ist der Überflutungswasserstand bezogen auf den Kellerboden, abhängige Variable die Schadenssumme aus Gebäude- und Inventarschäden (festes und bewegliches Inventar). Die Auswertung erfolgte getrennt für Keller und Erdgeschoß, wobei hier ab einem Wasserstand von 2,20 m die Überflutung im Erdgeschoß beginnt. Als Funktionstyp für die Anpassung wurde jeweils eine Wurzelfunktion gewählt.

Die Übergabe ausgewählter, durch Hochwasserschadensanalysen erfaßter Schadensdaten in andere Rechenprogramme (z. B. zur Ermittlung von Hochwasserschadenspotentialen wie in Abb. 1) erfolgt über zwei verschiedene Dateien:

- HOWAS 1 mit ausgewerteten Schadensdaten (statistische Parameter und standardisierte Schadensfunktionen mit den zugehörigen Funktionsparametern) für die Nutzungsarten (Schlüssel-Nummern), deren Datenkollektive für statistische Auswertungen ausreichend große Stichprobenumfänge aufweisen
- HOWAS 2 mit Einzelschadensdaten für die Nutzungsarten (Schlüssel-Nummern), deren Datenkollektive für statistische Auswertungen zu klein sind.

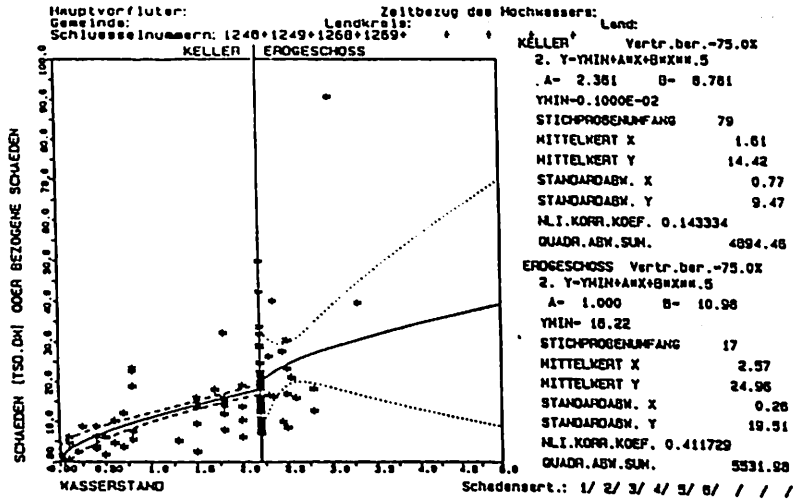


Abb. 2: Statistisch ermittelte Wasserstand-Schadens-Funktion (Typ: Wurzelfunktion) mit 75%-Vertrauensbereich für Einzelhäuser/Stockwerksbau, Massivbau nach 1949, teil- oder vollunterkellert mit Garage (Schlüssel-Nummern 1248, 1249, 1268 und 1269)

4. Schlußbemerkung

Die als Basis für den Aufbau von Schadensdateien dienenden Hochwasserschadensanalysen wurden in verschiedenen hochwassergefährdeten Gebieten der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt, im Donaugebiet u. a. am Inn (August-Hochwasser 1985) und an der Donau (März-Hochwasser 1988); weitere Analysen sind vorgesehen.

Aus den bisher abgeschlossenen Hochwasserschadensanalysen sind derzeit Daten von insgesamt 931 Schadensfällen abgespeichert. Sie ergeben für einzelne Sektoren u. a. folgende Stichprobenumfänge: Sektor 1 (Private Wohngebäude) 753, Sektor 2 (Öffentliche Infrastruktur) 64, Sektor 3 (Dienstleistungsbereich) 301, Sektor 4 (Bergbau und Baugewerbe) 44, Sektor 5 (Verarbeitendes Gewerbe) 125 und Sektor 6 (Wirtschaftsgebäude für Land- und Forstwirtschaft) 40, wobei zu beachten ist, daß bei einem Schadensfall meist mehrere Nutzungsarten (Schlüssel-Nummern) betroffen sind. Innerhalb dieser Sektoren sind einige Nutzungsarten der untersten Kategorie bereits heute mit verhältnismäßig großem Stichprobenumfang belegt, z. B. die Schlüssel-Nummer 1214 (Einzelhaus/Stockwerksbau, Massivbau vor 1924, teilunterkellert/ohne Garage) mit 113 Einzelereignissen. Für viele Schlüssel-Nummern sind die Datenkollektive noch sehr klein, teilweise fehlen Schadensangaben noch gänzlich. In diesen Fällen kann durch Verdichtung auf Schadensfunktionen der jeweils nächsthöheren Hierarchiestufe zurückgegriffen werden, derartige Verdichtungen verwischen jedoch in der Regel die die Schadenshöhe prägenden spezifischen Gegebenheiten der jeweiligen Nutzungsart.

Für die weitere Auffüllung der Schadensdateien und deren Fortschreibung, d. h. für die ständige Verbreiterung der Datenbasis zur Ableitung standardisierter

Schadensfunktionen, sind weiterhin Hochwasserschadensanalysen in der hier vorgestellten Form durchzuführen. Damit wird eine Datenbasis zur ökonomischen Bewertung und Beurteilung von operativen und langfristigen Hochwasserschutzmaßnahmen geschaffen.

5. Literatur

- /1/ BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: Schadensanalyse des Innhochwassers im August 1985 für den Bereich der Gemeinde Kraiburg; unveröffentlichter Bericht IV/4-4439.1-HSP/Kraiburg, München (1987)
- /2/ CENTRE FOR RESOURCE AND ENVIRONMENTAL STUDIES, AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY: ANUFLOOD - User's Manual; Canberra/Australia (1985)
- /3/ DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU: Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzwirkungen; Arbeitsmaterialien zum methodischen Vorgehen; DVWK-Mitteilungen, Heft 10/1985
- /4/ ENVIRONMENTAL CONSERVATION SERVICE; INLAND WATERS DIRECTORATE: Federal Guidelines for the National Flood Damage Reduction Program; Canada (1985)
- /5/ GÜNTHER, W.; SCHMIDTKE, R. F.: Hochwasserschadensanalysen - Pilotuntersuchung über das Inn-Hochwasser im August 1985; Wasserwirtschaft 78(1988) 2, S. 61-68
- /6/ GÜNTHER, W.; NIEKAMP, O.: HOWAS - Hochwasserschadensdaten, Datenverwaltung und Auswertung; Zweiter DVWK-Fortbildungslehrgang WASSERWIRTSCHAFT: EDV in der wasserwirtschaftlichen Planungs- und Verwaltungspraxis, 25. bis 29. September 1989 in Aachen
- /7/ INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WASSERWIRTSCHAFT PROF. DR.-ING. H.-B. KLEEBOG UND PARTNER: Benutzerhandbuch und Programmdokumentation zum Programmsystem HOWAS; unveröffentlichte Berichte, München (1989)
- /8/ LAWA-ARBEITSKREIS NUTZEN-KOSTEN-UNTERSUCHUNGEN IN DER WASSERWIRTSCHAFT: Flächennutzungskatalog; unveröffentlichte Arbeitsunterlagen (1986)
- /9/ PENNING-ROWSELL, E.C.; CHATTERTON, J.B.: The Benefits of Flood Alleviation, A Manual of Assessment Techniques; Saxon House, Farnborough (1977)
- /10/ PENNING-ROWSELL, E.C.; CHATTERTON, J.B.; DAY, H.J. u. a.: Comparative Aspects of Computerized Flood Plain Data Management; Journal of Water Resources Planning and Management, 113(1987)6, S. 725-744
- /11/ SCHMIDTKE, R.F.: Nutzenermittlung im Hochwasserschutz; Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich Nr. 18, Zürich (1975)
- /12/ U.S.ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER: Davis, California; u. a.:
 - Guidelines for Flood Insurance Studies (1970)
 - Expected Flood Damage Computation, Users Manual (1977)
 - Damage Reach Stage-Damage Calculation, Users Manual (1979)
 - HEC-1 Flood Hydrograph Package, Users Manual (1981)
 - Structure Inventory for Damage Analysis, Users Manual (1982)
 - Agricultural Flood Damage Analysis, Users Manual (1985)
 - Flood Damage Analysis Package, Description, User Guidance and Example, Training Document no. 21 (1986)
 - Interactive Paired-Function, Data Input Program for Flood Damage Data, Users Manual (1986)

ПРОГНОЗ ПАВОДОЧНЫХ ВОЛН НА НАСТОЛНОМ КАЛЬКУЛЯТОРЕ

Дьёрдь Буковски

Средне-Задунайское Управление Водного Хозяйства и
Охраны Окружающей Среды, Венгрия

Прогноз паводочных волн на настольном калькуляторе

В данной работе изложено такое решение системы дифференциальных уравнений неустановившегося, плавно изменяющегося движения, при помощи которого можно выпускать краткосрочные прогнозы паводочной волны. Задача может быть решена быстро и с удовлетворительной точностью на малых настольных калькуляторах.

Forecasting of Flood Waves by Means of Desk-top Calculators

A solution of the system of the differential equations of the unsteady gradually varying flow is given, that could be used for the short-term forecasting of the flood wave propagation. This task could be solved easily and with sufficient accuracy by means of desk-top calculators.

На конференциях придунайских стран по гидрологическим прогнозам выступил я первый раз в 1967 г. /2/. В дальнейшем выступал я со соавторами /3, 4/.

Если смотреть на этот ряд, то в них можно заметить не только процесс развития, но и изменение /рост/ технической готовности. Три десятилетия тому назад, когда приёмы, основанные на использовании вычислительной техники, были крайне редкими, широко использовались графоаналитические методы, как например /3/, которые в настоящее время представляют интерес только с дидактической точки зрения. Зато метод /4/, который представляет собой посредственный этап, используется и в наши дни. Метод характерных участков, как это изложено и в отечественной литературе /1/, подходит также для расчета кривой расхода на основании створа, находящегося близко к данному и имеющего устойчивую расходную зависимость. С другой стороны, как это уже доказано /5/, в случае моноклинных паводочных волн получается. Таким образом целесообразно выбрать самый доступный метод. Не стоит стрелять из пушек по воробьям.

На более длинном участке параметр в методе характерных участков

изменяется в зависимости от паводочной волны. Именно поэтому был разработан данный метод, на основе метода /2/, который можно решать и на широко распространенных настольных калькуляторах.

Основой метода послужило уравнение из работы /2/, в свою очередь заимствованное от Добера /6/ и имеющее на гидрологической практике вид:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (1)$$

Этот вид различается от Доберовского только тем, что параметр диффузии D у него называется параметром затухания и записывается через Γ .

Это последнее название можно считать более удачным, т.к. этот параметр характеризует распыливание /затухание/ волны.

В уравнении /1/ C — скорость передвижения волны, Q — расход, t — время и x — расстояние по длине реки.

Из литературы известны несколько решений уравнения /1/. Теоретически C и D являются непостоянными во время прохождения паводка.

Характерной чертой данного решения является то, что поскольку значения расхода должны быть подобраны аппроксимацией, величины C и D задаются в момент выпуска прогноза. А их изменение между этими сроками не учитывается.

Преимуществом этого подхода является то, что при решении уравнения /1/ для аппроксимированных приращений расхода действителен закон суперпозиции.

Аппроксимация для заданный промежуток времени выполняется единственным приращением, т.е.:

$$Q = 1(t - t_i) \Delta Q_i \quad (2)$$

где: t_i — выбранный промежуток времени
 ΔQ_i — приращение расхода.

Решение можно записать в следующем виде:

$$Q = Q_0 + 1(t - t_i) \cdot \frac{1}{2} \Delta Q_i \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x - Ct}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) + e^{\frac{Cx}{D}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x + Ct}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) \right] \quad (3)$$

где: Q_0 — исходный расход в нижнем участке.

По закону суперпозиции суммируются приращения расходов, вступающие на участок за промежуток времени:

$$Q_n = Q_0 + \sum_{i=1}^n 1(t-t_i) \cdot \frac{1}{2} \Delta Q_i \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ct}{2\sqrt{Dt}}\right) + e^{\frac{Cx}{D}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ct}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] \quad (4)$$

где: n — момент выпуска прогноза

Q_n — прогнозируемый расход.

В приложенной таблице приводится в качестве примера паводочная волна 1975-ого года р. Дунай /4/.

Как видно из таблицы, D можно подобрать постоянной для всего паводка. В случае C это выглядит иначе. C является функцией формы волны, кроме этого выражается в ней ошибка модели, неточности кривых расхода, а также изменения морфометрических характеристик русла.

Ошибка модели наибольшая в моменты времени, близкие к началу. Если прогноз должен выпускаться и в этот период, то начало необходимо передвинуть на более ранний срок. Неточности в кривых расхода можно уменьшить до минимума путём их тщательного анализа и сопоставления, соблюдая при этом их синхронность.

Зависимость между C и формой паводочной волны в настоящее время нам ещё неизвестно, но по анализу прошедших паводков можем иметь некоторые представления. К счастью, изменение параметра C по сравнению с параметром τ в методе характерных участков незначительно, значит его изменение может быть успешно предсказано. В конечном счёте не приводит к большой ошибке, если считать C постоянной.

Этот метод подходит для расчёта не только такого короткого, практически бесприточного речного участка, какой показан в таблице, но и для более длинного, приточного участка.

Некоторые практические приёмы к применению этого метода:

- отношение расстояния передвижения к скорости паводочной волны должно быть значительно меньше выбранного промежутка времени, т.е. $x/C \ll t_i$;
- значение $\operatorname{erfc} \approx$ при больших $\approx$ должно быть установлено асимптотической формулой;
- перед выпуском прогноза необходимо убедиться в синхронности кривых расхода;

- величина D может быть определена формулой следующего вида:

$$D = \frac{Q}{2JB} \quad (5)$$

где: J - уклон водной поверхности при расходе Q
 B - ширина потока, характерная для участка при расходе Q ;

- модель действителен для более длинного участка, если расход притоков значительно меньше расхода главного водотока.

Литература

1. Bartha, P.: Analógiás berendezések felhasználása az árvízi előrejelzésben. VITUKI beszámoló 1970, Budapest.
2. Bukovszky, Gy.: Vorhersagemethode auf Grund der Auflösung der Differentialgleichung der nicht permanenten allmählich veränderlichen Wasserbewegung durch Entwicklung in eine Fourier bzw. exponentielle Reihe. IV. Konferenz der Donauländer für Hydrologische Vorhersagen, Bratislava, 1967.
3. Bukovszky, Gy., Dely, G.: A Grapho-analytic Method for Flood Forecasting. VI. Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting, Kiev, 1971.
4. Буковски, Д., Антал, Г.: Оперативное прогнозирование паводков р. Дунай для участка Будапешт-Бая. XI. Конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Бухарест, 1982.
5. Bukovszky, Gy.: Összeüggések keresése az árhullámvizsgálati módszerek paramétereit között. Vízgazdálkodás a Közép-Dunántúlon, Székesfehérvár, 1974.
6. Daubert, A.: Quelques aspects de la propagation des crues. La Houille Blanche 3, Grenoble, 1964.

Трансформация паводочной волны июля 1975 г. р. Дунай
из ст. Будапешт в ст. Домбори

Параметр/сутки	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Расход, ст. Будапешт м ³ /сек	3800	3910	4290	4970	5660	6480	7190	7490	7490	7220	6780	6060
Расход ст. Домбори м ³ /сек	3860	3980	3960	4220	4680	5220	5740	6220	6560	6830	6880	6650
Параметр ζ в методе характерных участков l /сутки		0,7	1,2	1,6	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9	2,9
Скорость передвижения C , 10 ⁴ м/сутки		5	4,5	4	4	4	4	4	4	4,2	4,5	4,8

$x = 139800$ м;

$D = 4 \times 10^9$ м²/сутки;

$Q_0 = 3860$ м³/сек

**4. НАУЧНЫЕ И ОПЕРАТИВНЫЕ ОСНОВЫ
СОЗДАНИЯ СИСТЕМ СБОРА, ОБРАБОТКИ И
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ОРГАНИЗАЦИЯ
ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ**

**WISSENSCHAFTLICHE UND OPERATIO-
NELLE GRUNDLAGEN FÜR DEN AUFBAU
DER SYSTEME FÜR DATENERFASSUNG,
DATENVERARBEITUNG, DATENÜBER-
TRAGUNG UND ORGANIZATION DES
INFORMATIONSAUSTAUSCHES**

W. J. OPLANDS
DEPARTMENT II
OCTOBER 1941

W. J. OPLANDS
DEPARTMENT II
OCTOBER 1941
W. J. OPLANDS
DEPARTMENT II
OCTOBER 1941

NEUERE ENTWICKLUNGEN BEIM OPERATIONELLEN HOCHWASSERWARNDIENST FÜR DAS DEUTSCHE DONAUGEBIET

BD Jürgen Beckmann, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg und
Dipl.-Ing. Franz-Klemens Holle, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München

Kurzfassung:

Durch den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung und der Datenfernübertragung ist es heute in größeren Flußgebieten mit unterschiedlichen Zuständigkeiten möglich, die Organisation und die Durchführung des Hochwassernachrichtendienstes zu straffen und damit effizienter zu gestalten. Am Beispiel des Einzugsgebietes der oberen Donau (deutsches Donaugebiet) wird die Entwicklung des Hochwassernachrichtendienstes zu einem EDV-gestütztem Hochwasserinformations-, Warn- und Vorhersagesystem gezeigt.

New Developments of Operational Flood Control Service in the Catchment of the Danube in Germany

Summary:

The organisation and the execution of flood control service in big river catchments which are subjected to several administrative authorities is more strict and efficient by using electronic data processing and telemetric transmission of hydrological data. As an example the development of the flood control service into a computer aided information system for flood-warning and hydrological forecasting in the Danube-catchment of Germany is shown.

1 Zuständigkeiten und bisherige Durchführung des Hochwassernachrichtendienstes

Durch den föderalistischen Aufbau der Bundesrepublik Deutschland besteht eine geteilte Zuständigkeit an den Gewässern. An den Bundeswasserstraßen betreibt die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes das gewässerkundliche Meßnetz, an den übrigen Gewässern die Wasserwirtschaftsverwaltung des jeweiligen Bundeslandes.

Die Durchführung des überörtlichen Hochwassernachrichtendienstes im Einzugsgebiet der deutschen Donau obliegt:

- in Baden-Württemberg vornehmlich den Polizeidirektionen, die von den Pegelbeobachtern die Meldungen erhalten und diese an die Wasserwirtschaftsämter, Landratsämter etc. weitergeben
- im bayerischen Donauraum den Wasserwirtschaftsämtern (WWÄ) und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (BLfW) als Zentralstelle und
- für den Bereich der Bundeswasserstraße Donau von Kehlheim bis zur Staatsgrenze bei Jochenstein dem Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Regensburg.

Bis vor wenigen Jahren wurde der Hochwassernachrichtendienst (HND) mit erheblichem Personaleinsatz betrieben. Im Bereich des WSA haben Pegelbeobachter nach Überschreiten kritischer Wasserstände zu festgelegten Zeiten die Wasserstände an den Pegeln abgelesen und über Telefon an die Außenbezirke des WSA gemeldet. Diese übermittelten die gesammelten Daten fernmündlich an das WSA. Parallel dazu wurden von den Wasserwirtschaftsämtern die in ihren Zuständigkeitsbereichen erhobenen Wasserstände über Telex an das WSA gemeldet. Auf dem gleichen

Wege übermittelte der Deutsche Wetterdienst (DWD) die Niederschläge des Vortages an ausgewählten Meßstellen und ergänzend für weitere Meßstellen die Beobachter direkt über Telefon.

Die Daten wurden im WSA zusammengestellt und manuell fortlaufend grafisch aufgetragen. Durch ein empirisches Verfahren, bestehend aus einer laufzeitgerechten Abflußsummierung und dem Pegelbezugslinienverfahren wurden Vorhersagen für die nächsten 12 Stunden erstellt. Dabei wurde zusätzlich die voraussichtliche Wetterlage und Erfahrungen aus historischen Hochwasserereignissen berücksichtigt. Um 6.00, 12.00 und 18.00 Uhr wurden die Meldungen mit Angabe der Wasserstände und Vorhersagen per Telex und z.T. über Telefon an die zuständigen Stellen, die die Weiterverbreitung besorgten, verteilt.

Entsprechend erfolgte der Hochwassernachrichtendienst in der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung (HNDV, 1970; VBHNDV, 1970). Die Wasserwirtschaftsämter sammelten die in ihren Zuständigkeitsbereichen von Pegelbeobachtern übermittelten Wasserstände, werteten diese aus und erstellten für kritische Gebiete Scheitelvorhersagen nach empirischen Methoden. Die Weitergabe dieser Hochwassernachrichten durch die WWA erfolgte nach festgelegten Meldeplänen im örtlichen (lokalen) und überörtlichen HND durch Telex oder fernmündlich. Im örtlichen HND wurden Hochwassernachrichten an die Landratsämter durchgegeben, die die Nachrichten an betroffene Gemeinden und Unternehmen weitermeldeten. Im überörtlichen HND wurden die Hochwassernachrichten an die Staatsregierung, Bezirksregierungen, unterhalb gelegene Wasserwirtschaftsämter, das WSA und das BLfW durchgegeben. Das BLfW faßte diese Hochwassernachrichten unter Berücksichtigung meteorologischer Daten zu qualitativen Hochwassermeldungen zusammen, die über Telex an die Staatsregierung und die Medien (Rundfunk, Pressagenturen) weitergegeben wurden. Das WSA ist in den überörtlichen HND einbezogen. Der örtliche Hochwassernachrichtendienst im Bereich der WSA obliegt den WWA.

In einem ersten Rationalisierungsschritt wurden die maßgebenden Pegel mit Meßwertansageräten ausgestattet, so daß die Pegel durch das WSA und die WWA direkt telefonisch abgerufen werden können. Das BLfW hat 1988 als Übertragungsmedium im HND von Telex und Telefon einheitlich auf Telefax umgestellt, um die Hochwassernachrichten durch Formblätter weniger eingabeintensiv, transparenter und informativer und damit die Meldungen effektiver zu gestalten.

Seit etwa 5 Jahren wird der Einsatz der Datenfernübertragung im gewässerkundlichen Meßwesen und damit auch im HND betrieben. Die wichtigsten, für den HND maßgebenden Pegel werden mit Meßwerterfassungsgeräten ausgestattet. Diese rufen angeschlossene Meßwertgeber im Minutenintervall ab, mitteln die Geberdaten in vorgegebenen Zeitintervallen (im allgemeinen 15 Minutenintervalle) und speichern diese Werte kurzfristig. Die Umstellung der Pegel auf DFÜ-Stationen ist im Bereich des WSA weitgehend abgeschlossen, im Bereich des BLfW teilweise durchgeführt. Einen Überblick über den Ausbaugrad gibt folgende Tabelle.

	WSA	Bayern	außer-bayerisch	Summe
Pegel im örtlichen HND	-	177	24	201
Pegel im überörtlichen HND	11	110	8	129
Pegel mit Meßwertansage im u. HND	11	76	6	93
Pegel mit DFÜ im u. HND	11	32	-	43

Tab. 1: Im Hochwassernachrichtendienst der bayerischen Donau einbezogene Pegel

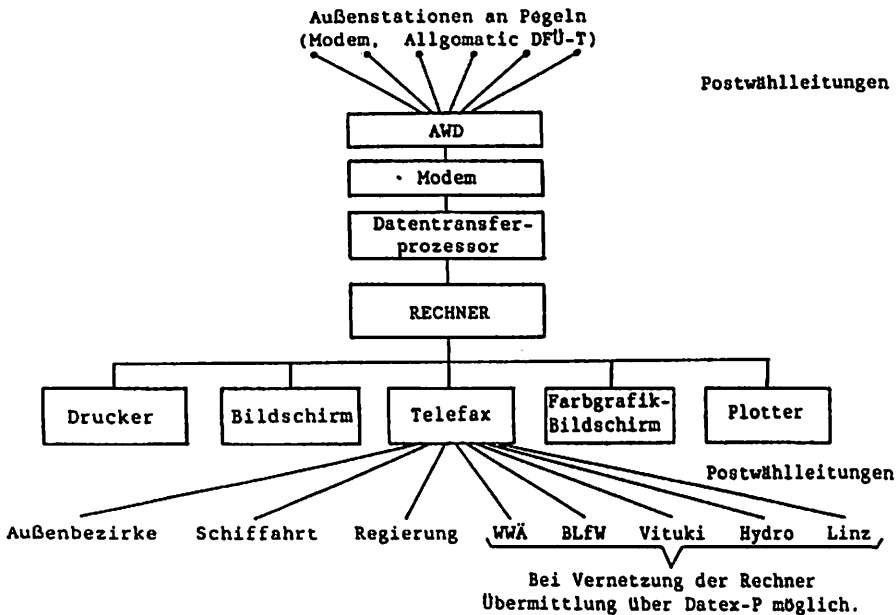
2 Nutzung der elektronischen Datenverarbeitung und des Rechnernetzes für den Hochwassernachrichtendienst

Parallel zum Ausbau der Datenfernübertragung wurde zunehmend die elektronische Datenverarbeitung als Hilfsmittel im Hochwassernachrichtendienst eingesetzt. Der Einsatz erfolgte parallel in der WSA und im BLFW und diente in erster Linie zum Abruf der DFÜ-Stationen, zur Speicherung der Daten auf Datenträgern und zur grafischen Darstellung der Daten.

2.1 Nutzung der elektronischen Datenverarbeitung im Bereich der WSA

Im WSA Regensburg steht die Regionalstation des Hochwassernachrichtendienstes für die Bundeswasserstraße Donau. Ein Rechner steuert einen Datentransferprozessor, der das Zentralmodem und die automatische Wähleinheit (AWD) bedient und über Postwählleitung die Daten von den DFÜ-Stationen zu vorgegebenen Zeiten abruft, speichert, über vorgegebene Wasserstands-Abfluß-Beziehungen in Abflüsse umrechnet und die Daten bei Bedarf auf Bildschirm, Drucker oder Plotter ausgibt (Bild 1). An dieses System angeschlossen sind bzw. werden 11 Pegel im Bereich des WSA und 28 Pegel im Oberlauf der Donau und an den Nebenflüssen. Von diesen Pegeln sind einzelne mit Ultraschallanlagen zur Abflußmessung ausgerüstet.

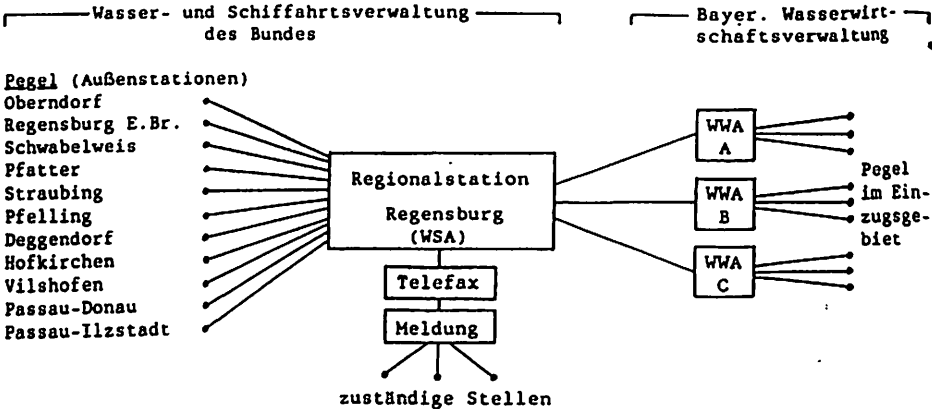
Bild 1: Datenfluß im Hochwassernachrichtendienst



Bei der Durchführung des HND ruft der Rechner stündlich die Wasserstände an den Donaupegeln unterhalb Kehlheim ab und übernimmt die Datensätze von den WWA und dem DWD (Bild 2). Um die Daten von den WWA und dem DWD direkt zu übernehmen, ist eine Vernetzung der Rechner z.B. über Datex-P erforderlich. Ein Abruf aller Meßstellen durch das WSA ist aus Zeitgründen nicht realisierbar.

Die Wasserstände und z.T. die Abflüsse sowie die Niederschläge werden in Listenform auf dem Drucker ausgegeben. Die Ganglinien der einzelnen Pegel werden untereinander auf einem Farbplotter jede Stunde nachgeführt. Eine farbliche Darstellung ist erforderlich, da auch unter Verwendung von Signaturen bei Überschneidungen nicht mehr als 6 Pegel gleichzeitig monochrom dargestellt werden können. Dies gilt auch für Bildschirmdarstellungen. Die Niederschlagsganglinien ausgewählter Stationen sollen als Balkendiagramme wiedergegeben werden.

Bild 2: Datenerfassung und -übermittlung im Hochwassernachrichtendienst



Die 12-stündige Wasserstandsvorhersage wird weiterhin nach oben genannten empirischen Verfahren erstellt. Der Einsatz eines komplexeren Vorhersagemodells, wie es z.B. am Rhein angewandt wird (Modell RHEINA, BfG, 1980) und für andere Bundeswasserstraßen geplant ist, ist derzeit für die Donau nicht vorgesehen.

Die Verteilung der Hochwassermeldungen einschließlich der Vorhersagen erfolgt über Telex und Telefax mit entsprechendem Personaleinsatz. Für den Telefaxeinsatz ist ein Anschluß an den Rechner vorgesehen, so daß nach Eingabe der Meldung einer Maske und Start der Übertragung der Rechner automatisch das Telefaxgerät steuert und die Verteilung der Meldung an die zuständigen Stellen durchführt.

2.2 Nutzung des Rechnerverbundes in der Bayerischen Wasserverschaffungsverwaltung

In der Bayerischen Wasserverschaffungsverwaltung wurde in den letzten Jahren ein Rechnerverbund mit einem Zentralrechner im BLfW und mit diesem verknüpften Lokalrechnern in den Wasserverschaffungsämtern aufgebaut. An dieses System sind auch die 17 für das Donaueinzugsgebiet zuständigen WWA angeschlossen. Der Rechnerverbund mit seiner angeschlossenen Rechnerkapazität soll in Zukunft verstärkt für den Hochwassernachrichtendienst herangezogen werden. Die Grundlagen dafür werden zur Zeit geschaffen. Schwerpunkte sind folgende Aktivitäten:

Organisation: Überführung der HND-Organisationsunterlagen in ein EDV-Informationssystem (örtliche und überörtliche Meldepläne, Meßstellenübersichten, allgemeine geographische, meßtechnische und hydrologische Pegeldata) zur Rationalisierung der Fortschreibung und der sofortigen Verfügbarkeit für alle Zugriffsberechtigten durch Nutzung der zentralen Datenbank im BLfW.

Kommunikation: Nutzung des Rechnerverbundes als Kommunikationsmittel im operationellen Hochwassernachrichtendienst zwischen den am HND beteiligten Dienststellen zur schnelleren Bereitstellung und Nutzung der Daten. Die Daten der DFÜ-Stationen werden von den WWÄ abgerufen, auf Plausibilität geprüft, bei Bedarf ergänzt und korrigiert und in die zentrale Datenbank übergeben, so daß sie damit allen Dienststellen verfügbar sind. Eine Verknüpfung mit dem Rechner im WSA Regensburg ist wegen der unterschiedlichen Betriebssysteme noch nicht erfolgt, ist aber erforderlich.

Da nicht alle Pegel kurzfristig mit DFÜ-Geräten ausgerüstet werden können, müssen die Daten der Anrufpegel und die von Pegelbeobachtern gemeldeten Daten in den WWÄ direkt in den Rechner eingegeben und in die Datenbank übergeben werden. Dadurch entstehen Zeitreihen mit unterschiedlichen Diskretisierungsintervallen, was bei der Entwicklung der Auswerteprogramme zu berücksichtigen ist.

Eine weitere Vereinfachung auf der Kommunikationsebene wird die Ansteuerung der Telefaxeinrichtungen durch den Rechner bringen, da diese Übertragungsform auch in Zukunft für die Verbreitung der Hochwassernachrichten genutzt werden muß.

Fachinformation: Entwicklung eines Informationssystems für die Durchführung des HND zur situationsgerechten Darstellung der meteorologischen und hydrologischen Hochwasserdaten in ihrem räumlichen und zeitlichen Zusammenhang. Dafür müssen die Darstellungsprogramme nicht nur in der Lage sein, den Bediensteten des HND einen schnellen Überblick über das Abflußgeschehen im Einzugsgebiet zu verschaffen, sondern auch die Möglichkeit bieten, notwendige Korrekturen an den Zeitreihen durch die zuständige Dienststelle vornehmen zu lassen und die fehlerhaften Zeitreihen in der Datenbank zu überschreiben. Diese Korrekturmöglichkeit ist besonders wichtig, da die Daten Grundlage für Vorhersageverfahren sind, die oft auf fehlerhafte Daten empfindlich reagieren (näheres zur Datenkontrolle siehe z.B. Ludwig, 1986).

Da dieses Informations- und Kommunikationssystem in der Wasserwirtschaftsverwaltung nicht von EDV-Spezialisten sondern von den Bediensteten des Hochwassernachrichtendienstes genutzt werden soll - diese sind in der Regel am besten in der Lage aufgrund der bereitgestellten Informationen die Hochwasserlage zu beurteilen und entsprechend zu reagieren - muß die Bedienung des Systems möglichst einfach und transparent gehalten werden. Um dies zu erreichen, wird das System menuegesteuert aufgebaut, d.h. der Nutzer kann über Auswahlkriterien, die in hierarchisch geordneten Masken angeboten werden, Berechnungsvorgänge initiieren oder in Änderungs- und Ausgabemasken verzweigen. In jeder Bearbeitungsstufe werden Hilfemenues angeboten, um auch mit dem System nicht vertraute Personen durch das Programm zu führen. Andererseits wird für eingearbeitetes Personal die Möglichkeit geschaffen, die hierarchische Ordnung der Menues zu verlassen und direkt zu den gewünschten Masken zu springen.

3 Weiterentwicklung der Hochwasservorhersagen

In der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung wurden bisher für kritische Gebiete manuell Hochwasservorhersagen (in der Regel Scheitelvorhersagen) erstellt. Eine Ausnahme davon ist das Lech-Wertach-Gebiet und das Isareinzugsgebiet oberhalb des Sylvensteinspeichers, für die vom BLFW bzw. vom WWA Weilheim vorerst zu Testzwecken das Flußgebietsmodell FGMOD (Lecher, Holle, 1983) zur Vorhersageerstellung genutzt wird. Die einfachen empirischen Verfahren werden demnächst EDV-mäßig aufbereitet und wie die Testmodelle in das Kommunikations- und Informationssystem eingebunden und damit Teil des Systems.

Der nächste Schritt ist die Durchführung einer Bedarfsanalyse, um festzulegen, in welchen (Teil-)Einzugsgebieten Hochwasservorhersagen benötigt werden, welche Genauigkeiten bezüglich des Vorhersagezeitraums und der Vorhersagegrößen erforderlich sind und welche Typen von Hochwasservorhersageverfahren sinnvollerweise unter Berücksichtigung der hydrologischen Bedingungen anzuwenden sind. Aufgrund der sich ergebenden Prioritäten werden Hochwasservorhersagemodelle an die Gebiete adaptiert und in das System eingebunden (näheres dazu siehe Holle (1989)).

In Teilgebieten, in denen Niederschlagsdaten mit in die Hochwasservorhersageverfahren einbezogen werden, ist auch die Nutzung der Wetterradarinformationen geplant. Auch zu diesem Zweck werden zur Zeit Programme getestet und weiterentwickelt, die die über Datex-P übermittelten Daten des Wetterradars München Riem auswerten und in Gebietsniederschläge umrechnen. Während der Einsatz der Hochwasservorhersageverfahren dezentral in den WWA erfolgen soll, ist die Ermittlung der Gebietsniederschläge unter Berücksichtigung der qualitativen Niederschlagsvorhersagen des DWD zentral durchzuführen und als Information bzw. Eingabegröße für die Hochwasservorhersageverfahren in das System einzubringen.

4 Schlußbemerkung

Durch den Einsatz der Informationstechnik im Hochwassernachrichtendienst wird bei der Aktualisierung und Verwaltung der Organisationsgrundlagen sowie der Datenerfassung, und -Übermittlung der Personaleinsatz erheblich reduziert, die Datenbereitstellung beschleunigt, die Aufbereitung der Daten zweckmäßiger gestaltet und die Möglichkeit geschaffen, die Hochwasserinformationen auf einer breiteren Grundlage öfter zu aktualisieren und darauf basierend Hochwasservorhersagen zu erstellen. Für die Gewährleistung der Datenerfassung und der Übertragung muß jedoch bei Ausfall der Geräte Fachpersonal jederzeit für den operativen Betrieb bereitstehen und ein unabhängiges zweites Übertragungssystem (z.B. Telex) zur Verfügung stehen. Voraussetzung für das Zusammenwirken verschiedener Stellen in diesem System ist, daß ein einheitliches Datentelegramm verwendet wird und die Rechner miteinander verknüpft sind.

Literatur

- BfG (1981). Das deterministische Modell RHEINA der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Eigenverlag, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- HNDV (1970). Landesverordnung über den Hochwassernachrichtendienst (HNDV) vom 16.4.1970. Bayerisches Gesetz- und Verordnungsblatt, Nr.9, München, 15.5.1970
- Holle, F.-K. (1989). Hochwasser-Vorhersage-Modelle und deren Anforderungen an Datenbanksysteme. 2. Fortbildungslehrgang Wasserwirtschaft des DVWK "EDV in der Wasserwirtschaftlichen Planungs- und Verwaltungspraxis", Aachen.
- Lecher, K., Holle, F.-K. (1983). Hochwasservorhersage in Flußgebieten mit Regelungssystemen. Endbericht zum gleichnamigen VW-Forschungsvorhaben, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und land. Wasserbau, Hannover, unveröffentl.
- Ludwig, K. (1986). Datenkontrollen bei der Anwendung deterministischer hydrologischer Modelle zur Abflußvorhersage. Proc. der XIII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Belgrad.
- VBHNDV (1970). Vollzug der Landesverordnung über den Hochwassernachrichtendienst (VBHNDV). Bekanntmachung des Bayer. Staatsministeriums des Inneren vom 27.10.1970 Nr. IV E 5-9620 h 548. Ministerialblatt der bayerischen inneren Verwaltung, Ausgabe A, Nr. 38, 89. Jahrgang, München 19.11.1970

ОПЕРАТИВНАЯ ПРОЦЕДУРА DANUBIUS AMONTE ДЛЯ ПРОГНОЗА РАСХОДОВ ДУНАЯ ПРИ ВХОДЕ В ОЗЕРО ЖЕЛЕЗНЫЕ ВОРОТА I

Др. инж. Виорел Ал. Стэнеску, Валентина Унгуряну,
инж. Чиприян Корбуш

Институт Метеорологии и Гидрологии

Бухарест, Румыния

Оперативная процедура DANUBIUS AMONTE для прогноза
расходов Дуная при входе в озеро Железные Ворота I

РЕЗЮМЕ .

Оперативная процедура предлагаемого прогноза DANUBIUS AMONTE позволяет ежедневное вырабатывание, на 1 - 7 дней вперёд, прогноза расходов Дуная при входе в озеро Железные Ворота I. Эта процедура состоит из модели добегания в виде линейной функции перехода метода возобновления добеганных расходов и ряд оперативных методов прогноза для определения векторов прогнозируемых расходов на 7 дней в створах, что представляет входы в модель прохода.

Проведенные опыты показали что предлагаемая процедура даёт хорошие результаты в её использование в реальное время, особенно для первых 5 дней прогноза.

THE OPERATIONAL PROCEDURE - DANUBIUS AMONTE - FOR THE
DAILY FORECASTING OF INPUT DISCHARGES OF THE DANUBE
IN THE PORTILE DE FIER I RESERVOIR

Abstract

The proposed operational forecasting procedure - DANUBIUS AMONTE - allows daily forecasting, with 1 - 7 days anticipation, of the input discharges of the Danube in the Portile de Fier I reservoir.

This procedure includes a transfer liniar function routing model, an updating method for the computed discharges and some of forecasting operational methods for the determination of the forecasted discharge vectors over 7 days in the prediction sections which are routing model inputs.

The experiments achieved showed that the proposed procedure when applied in real time, leads so good results, especially for the first 5 forecasting.

Оперативная процедура DANUBIUS-AMONTE для прогноза расходов Дуная при входе в озеро Железные Ворота I

Вступление

Ввиду оптимального использования Гидроэнергетических систем и судоходства на Железных Воротах I и II, как и для ежедневного выработки, на 1 - 7 дней вперёд, прогноза уровней и расходов Дуная на румынской стороне вниз по течению, необходимо ежедневное познание и вперёд, расходов Дуная при входе в озеро Железные Ворота I.

Этим определяется сначала прогнозируемые расходы для того же интервала времени на некоторых створах что представляет вход в модель прохода, находящийся на Дунае и на своих притоках. В продолжении, эти векторы прогнозируемых расходов постепенно распространяются по участкам русла Дуная и притоков Драва, Тисса, Сава, Тимис, Морава и Нера при помощи математической модели в виде линейной функции в виде перевода, получая в конце вектор прогнозируемых расходов на 7 дней при входе в озеро Железные Ворота I в схематичном узле Панчево. Эта гипотеза схематизации основывается на том что входящие расходы в озеро Железные Ворота I представляют условно сумму входных расходов в конце озера вверх по течению, а также по своему контуру.

1. Современная информационная система собирания сведений передачи и скопления гидрометеорологических данных

Наблюдение за метеорологической и гидрологической эволюцией и выработка гидрологического прогноза делается на основе данных от:

- 79 метеостанций с верхнего и среднего бассейна Дуная;
- 56 гидрометрических станций на Дунае и на его главных притоках с верхнего и среднего бассейна;
- станций с румынской гидрометеорологической сети с бассейнов притоков реки Тисса и из гидрографического пространства Баната.

2. Модель расчёта распространения расходов по Дунаю

2. 1. Алгоритмы модели

Для распространения расходов на характеристических участках реки используется линейная модель, полученная путём применения теории систем к изучению процесса распространения [1] .

2. 2. Калибровка модели распространения

Имея в виду построение гидрографической сети Дуная и её главных притоков был составлен план паводков - топологическое моделирование - по которой распространение гидрографа расходов делается постепенно с одного места в другое так на Дунае как и на его притоках. Участки разделены точками где либо находятся гидрометрические станции, либо слияния с Дунаем или с своими главными притоками. Для каждого участка (рис. 1), отмечается расстояние L (км), а перед каждым важным узлом отмечена площадь приёмного подлежащего бассейна F (км²).

В виде репрезентативного периода использованного для калибровки был выбран интервал ежедневных расходов между 1980 - 1987 годами, а также 1970, 1972 и 1975, когда были также зарегистрированы значительные паводки на Дунае и / или на главных притоках Дуная.

Для определения оптимальных параметров x и k модели распространения была использована программа IBM PROPAG, которая обращается к картотеке куда были вложены годовые гидрографы (ежегодные расходы) на период калибровки на 16 гидрометрических станциях с которыми считаются, а именно: Будапешт, Мохач, Бездан, Богожево и Панчево на Дунае, Донжи Михолак на реке Драва, Сзегед и Сента на реке Тисса, Брод и Митровица на реке Сава, Добож на реке Босня, Саг на реке Тимиш, Зворник на реке Дрина, Любичевски Мост на реке Велика Морава, Нейдаш на реке Нера.

3. Метод реактуализации прошедших расходов

Для использования в реальном времени модели прохода, нужна выработка метода реактуализации, которая основанна на ошибках между симмулирован ми и зарегистрированными расходами раньше момента определения прогноза на гидрометрической станции вниз по течению, чтобы позволила исправление симмулированных расходов на целый интервал прогноза.

Данный метод реактуализации применяется по разному для возрастающей и уменьшающейся степени симмулированного гидрографа на гидрометрической станции вниз по течению [1].

4. Определение векторов прогнозируемых расходов на 7 дней на створах что представляет входы в модель прохода

Расчёты прогноза делаются считаясь с следующими створами что представляет входы в модель прохода: Будапешт на Дунае, Донжи Ми-

холак на реке Драва, Сзегед на реке Тисса, Брод на реке Сава, Добош на реке Босна, Зворник на реке Дрина, Саг на реке Тимис, Любичевски Мост на реке Велика Морава и Нйдаш на реке Нера (рис.1).

На створах что представляет входы в модель прохода в вышеуказанных станциях, прогноз вперёд на 7 дней, вырабатывается на основе следующих методов:

4. 1. Метод спадающего градиента (метод тенденции)

Расходы в интервале прогноза получаются отнимая ежедневно из зарегистрированного расхода в день выработки прогноза величину градиента спадения ΔQ данного общей зависимостью:

$$\Delta Q = \frac{Q^A}{B} + C \quad (1)$$

В таблице 1 даны размеры параметров A , B и C определённые на основе составленных соотношений на всех створах что представляют входы в модель прохода станций.

4. 2. Метод линейного многомерного упадка

Общее соотношение прогноза расхода $Q^{(A)}$ в разрезе A с опережением Δt следующее:

$$Q_{t+\Delta t}^{(A)} = K_A \cdot Q_t^{(A)} + \sum_{i=1}^m k_i \cdot Q_t^{(i)} + C \quad (2)$$

в котором: m – общее количество створов расположенных на главной реке и на её притоках; $Q^{(i)}$ – расходы в створах; K_A и k_i – коэффициенты упадка; C – свободное число; t – момент выработки про-

4. 3. Метод переносного соотношения

Этот метод используется для прогноза расходов створа, то что представляет входы в модель прохода на гидрометрической станции Будапешт – $Q^{(БУД)}$ – используя данные от гидрометрической станции Братислава – $Q^{(БРТ)}$ – и так:

$$Q_{t+\Delta t}^{(БУД)} = \sum_{z=1}^n Q_{t+\Delta t-z}^{(БРТ)} \cdot r(z) \quad (3)$$

в котором: Δt – среднее время распространения расходов между Братиславой и Будапештом; t – момент выработки прогноза; n – общее число заказных в течении одного дня и переносного отношения Пуассон – $r(z)$ – данное соотношением [2]:

$$r(z) = \frac{z^{n-1}}{(n-1)!} e^{-z} \quad (4)$$

Считая только расходы $Q_t^{(БРТ)}$, $Q_{t-1}^{(БРТ)}$, $Q_{t-2}^{(БРТ)}$ и $Q_{t-3}^{(БРТ)}$ применяется следующее упрощенное соотношение прогноза:

$$Q_{t,2}^{(БУД)} = 1.36 \sum_{z=0}^5 Q_{t,2-z}^{(БРТ)} \cdot r(z) \quad (5)$$

4. 4. Метод объёма

В случае створов на меньших притоках и именно: Добож на реке Босна, Зворник на реке Дрина, Саг на реке Тимис, Любичевски Мост на реке Велика Морава и Нейдаш на реке Нера можно прогнозировать паводки на основе количеств зарегистрированных и/или прогнозированных осадков.

Расчётный алгоритм следующий:

— Определяется среднее количество осадков на бассейн ($\bar{h}$) на основе pluviометрических сведений и/или прогнозируемых осадков и избирается коэффициент стока (α).

— Определяется максимальный расход используя отношение объёма:

$$Q_{\max} = \frac{\bar{h} \cdot \alpha \cdot F}{T_T \cdot \psi} \quad (6)$$

в котором F — площадь принимающего бассейна; T_T — целый средний промежуток гидрографа; ψ — коэффициент паводка который избирается между 0,28 — 0,33, меньшие размеры соответствуя более сильным дождям;

— Определяется ежедневный стекающий расход умножая максимальный расход с процентом соответствующему данному дню (таблица 3) и собирая основной расход существующий в момент происхождения роста.

*

* *

Процедура прогноза DANUBIUS AMONTE была просимулирована для 23 марта — 1 июля 1987 года и 23 марта — 1 мая 1988 года так как эти периоды считались представительными, так как существуют значительные паводки (до 12.400 м³/сек. в Панчево) в произхождении которых содействовал весь гидрографический бассейн или одна его часть. Полученные результаты довольно хорошие так как ошибки не превышали $\pm 5\%$ для прогноза на 11н на 2 дня или $\pm 10\%$ для прогноза на 3 — 5 дней в более чем 20% из случаев. Для прогноза на 6 — 7 дней ошибки намного больше, когда происходят значительные повышения на реках Сава и Морава. На рис. 2 например, представлены зарегистрированные гидрографы и прогнозируемые гидрографы при входе в озеро Железные Ворота I для прогноза на 3 и 5 дней, для интервала 23.03. — 01.07.1987 года.

Таблица 3. Ежедневные ординаты паводка, соотношения к максимальному расходу этого

Река	день станции	1.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bosna	Doboj	0	0,30	1,00	0,57	0,30	0,18	0,10	0,05	0,02	—	—	—	—
Drina	Zvornik	0	0,12	0,41	1,00	0,65	0,44	0,25	0,12	0,06	0,02	—	—	—
Timiș	Sag	0	0,28	1,00	0,53	0,25	0,13	0,07	0,02	—	—	—	—	—
Marava	L. Most	0	0,13	0,35	0,66	0,89	1,00	0,93	0,79	0,63	0,46	0,29	0,15	0,05
Neta	Naiđas	0	1,00	0,58	0,30	0,15	0,07	0,02	—	—	—	—	—	—

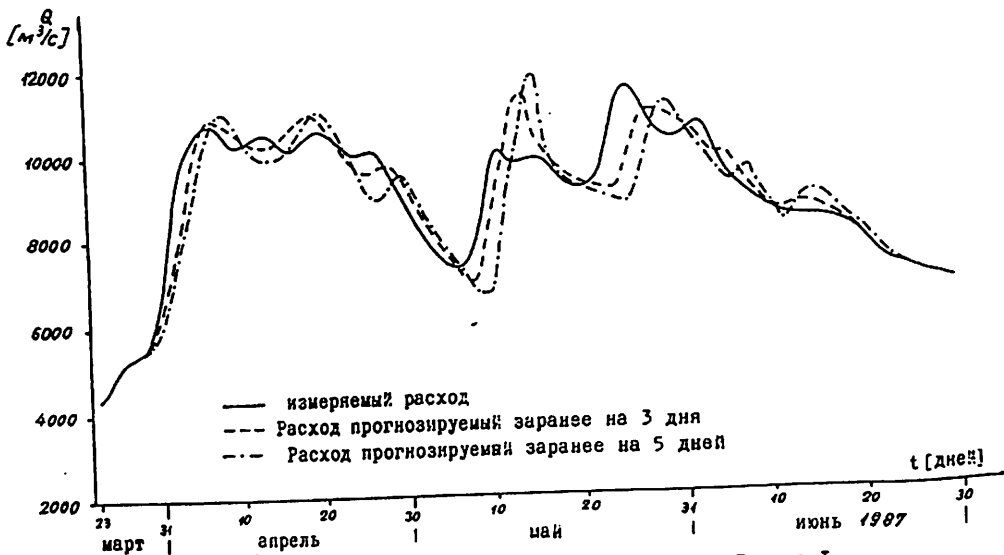


Рис. 2. Приточные гидрографы в озеро Железные Ворота I

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ШЕРБАН П., КОРБУШ Ч.

Оперативная процедура для гидрологического прогноза на румынском участке Дуная.

X Конференция гидрологических прогнозов придунайских стран, Варна, 1990 г.

2. БЕФАНИ Н. Ф., КАЛИНИН Г. П.

Упражнения и методологические исследования гидрологических прогнозов

Гидрометеониздат, Ленинград, 1983 г.

ОПЕРАТИВНАЯ ПРОЦЕДУРА DANUBIUS AVAL ДЛЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА НА РУМЫНСКОМ УЧАСТКЕ ДУНАЯ

Др. инж. Петру Шербан, инж. Чиприян Корбуш

Институт Метеорологии и Гидрологии

Бухарест, Румыния

Оперативная процедура DANUBIUS AVAL для гидрологического
прогноза на румынском участке Дуная

РЕЗЮМЕ

Оперативная процедура предлагаемого прогноза - DANUBIUS AVAL - позволяет оперативное ежедневное вырабатывание, на 1 - 7 дней вперед, прогноза уровней и расходов на румынском участке Дуная. Эта процедура состоит из модели добегания, метода реактуализации добеганных расходов и ряд оперативных методов прогноза для определения векторов прогнозируемых расходов на 7 дней на створах, то что представляет входы в модель добегания.

Проведенные опыты показали что предлагаемая процедура даёт хорошие результаты в её использование в реальное время, особенно для первых 5 дней прогноза.

THE OPERATIONAL PROCEDURE - DANUBIUS AVAL - FOR THE HYDRO- LOGICAL FORECASTING ON THE ROMANIAN PART OF THE DANUBE

Abstract

The proposed operational forecasting procedure - DANUBIUS AVAL - allows daily forecasting, with 1-7 days anticipation, for the levels and the discharges on the Romanian part of the Danube.

This procedure includes a routing model, an updating method for the routing discharges and some of forecasting operational methods for the determination of the forecasted discharge vectors over 7 days in the prediction sections which are routing model inputs.

The experiments achieved showed that the proposed procedure when applied in real time, leads so good results, especially for the first 5 forecasting days.

Оперативная процедура DANUBIUS AVAL для гидрологического прогноза на румынском участке Дуная

Вступление

Рост потребностей для всё более разнообразных гидрологических прогнозов благодаря построению экономико-социальных объективов чья деятельность связана с режимом вод Дуная, наряду с традиционными требованиями судоходства и деятельности защиты против наводнения и льдов, заставила создать оперативную процедуру, которая чтобы позволила ежедневную выработку, на 1 - 7 дней вперёд, прогноза уровней и расходов на румынском участке Дуная.

Для этого определяется в первую очередь, для того же интервала времени, прогнозируемые расходы из Гидроэнергетической и судоходной системы Железные Ворота, а также при помощи оперативных методов прогноза, прогнозируемые расходы в некоторых створах, то что представляет входы в модель добегания расположенные на румынских притоках Дуная.

Дальше, эти векторы прогнозируемых расходов распространяются постепенно по участкам русла Дуная и притоков Яну, Олт, Арджеш, Я-ломица, Сирет, Бузеу и Прут получа в конце концов прогнозируемые уровни и расходы на румынском участке Дуная.

1. Модель расчёта распространения расходов

1. 1. Алгоритм модели

Какой-нибудь участок реки можно считать линейной системой, в которой выход дан сдержанным уравнением

$$Q_d(m) = \Delta t \sum_{i=p}^m Q_a(i) u ; (m-i+1), m = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

$$p = \begin{cases} 1 & \text{если } m \leq n \\ m-n+1 & \text{если } m > n \end{cases}$$

в котором $Q_d(m)$ заказная в время $m \Delta t$ отливного гидрографа из участка реки; $Q_a(i)$ средний приливной расход в промежутке $[i-1)\Delta t, i\Delta t]$; $u(m-i+1)$ - заказная в время $(m-i+1)\Delta t$ функции ядра системы при $Q_a(i)$ единном импульсе равномерно распространённому по интервалу $[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$; n - число считанных заказных функции ядра.

Заказные функции ядра $u(j)$, $j = 1, 2, \dots$, тогда когда промежуток входного импульса в систему, представлены [1]:

$$u(j) = \begin{cases} 1 - \frac{k}{\Delta t} \left[1 - e^{-\frac{\Delta t}{k(1-x)}} \right], & \text{для } j = 1 \\ \frac{k}{\Delta t} \left[1 - e^{-\frac{\Delta t}{k(1-x)}} \right]^2 e^{-\frac{j\Delta t}{k(1-x)}}, & \text{для } j = 2, 3, \dots \end{cases} \quad (2)$$

1. 2. Калибровка модели добегания

Ввиду калибровки модели добегания была сделана в первую очередь топологическая моделировка румынского участка Дуная (рис. 1). При топологическом моделировании придерживались гидравлических и геометрических характеристик русла Дуная, створами прогноза где существуют гидрометрические станции: Груя, Четате, Калафат, Бистрец, Бекет, Корабиа, Турну Мэгуреле, Зимница, Джурджу, Олтеница, Кэлэраш, Фетешть, Чернаводе, Хыршова, Брэила, Галац, Исакча и Тулча, а также местами слияния с Дунаем главных 6 румынских притоков: Хиу, Олт, Арджеш, Яломица, Сирет и Прут.

Для каждого участка (рис. 1), отмечается расстояние L (км), а перед каждым главным пунктом упоминается площадь примыкающего собирающего бассейна F (км²).

Из анализа поперечных створов построенных между 1982 - 1987 годами, выходит что русло Дуная было весьма устойчивым, то что позволило отметить на основе измерений многолетних кривых расходов.

Степень расходов воды по рукавам Дуная определяются при помощи коэффициентов распределения, которые представляют соотношение между расходом воды на том рукаве и расход воды единого Дуная.

Используя расходы из характерных 1965, 1970, 1975 и 1980-1986 годами, были определены нужные параметры x и k модели добегания при помощи модели.

2. Метод реактуализации добегающих расходов

Метод реактуализации применяется разнообразно для ветвей роста и уменьшения добегающего гидрографа на гидрометрической станции вниз по течению.

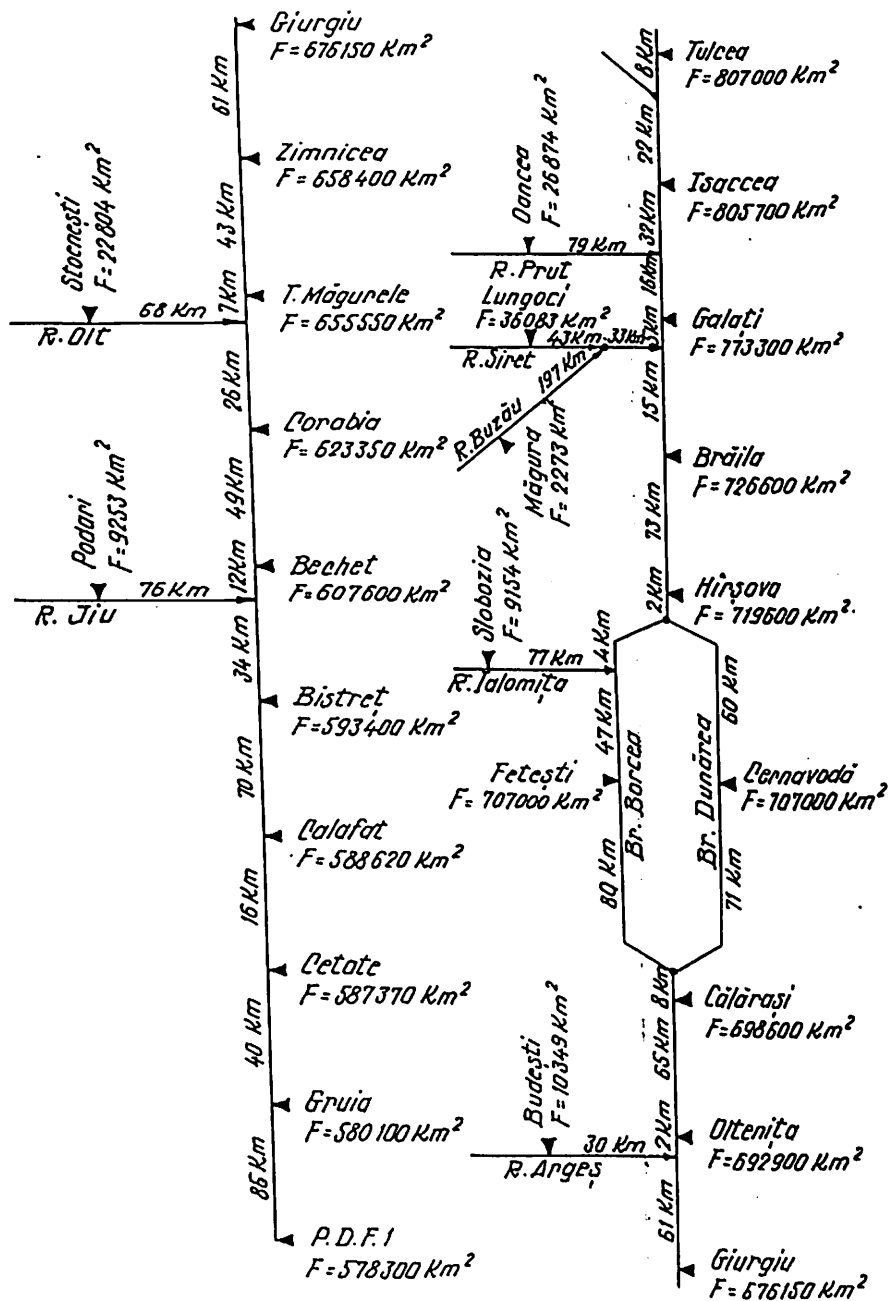


Рис. 1. Топологическое представление румынского участка Дуная

Отношения реактуализации следующие [2]:

$$Q_p(t+1) = Q_M(t) + [Q_s(t+1) - Q_s(t)] CP(t) \quad (3)$$

$$Q_p(t+n) = Q_p(t+n-1) + [Q_s(t+n) - Q_s(t+n-1)] CP(t+n-1), \quad n = \overline{2,7}$$

Факторы корректировки CP измеряются следующим путём:

- для фазы роста гидрографа:

$$CP(t) = \left[\frac{Q_M(t) - Q_M(t-2)}{Q_s(t) - Q_s(t-2)} \right]^{0.7} \quad (4)$$

$$CP(t+n) = [CP(t+n-1)]^{0.7}, \quad n = \overline{1,6}$$

- для фазы уменьшения гидрографа:

$$CP(t) = \frac{Q_M(t)}{Q_s(t)} \quad (5)$$

$$CP(t+n) = \frac{Q_p(t+n)}{Q_s(t+n)}, \quad n = \overline{1,6}$$

в которых Q_M , Q_s и Q_p - измеренные, симулированные и наконец прогнозируемые расходы; t - момент выработки прогноза.

3. Определение векторов прогнозируемых расходов на 7 дней что представляет входы в модель прохода

Расчёты прогнозов производятся считая следующие створы, что представляет входы в модель прохода на главных румынских притоках Дуная: Подарь на реке Хиу, Стоенешть на реке Олт, Будешть на реке Арджеш, Слобозна на реке Яломица, Лунгочь на реке Сирет, Мэгура на реке Бузэу и Оанця на реке Прут (рис. 1).

На вышеуказанных створах что представляет входы в модель прохода, прогноз вперёд на 7 дней вырабатывается на основе метода тенденции и метода объёма [3].

4. Определение ошибок прогноза

Для определения ошибок прогноза используются кроме графических критериев и несколько численных критериев, а именно:

а) Средняя квадратная ошибка $RMSE$, между измеренным и прогнозированным гидрографом на $n = \overline{1,7}$ дней вперёд:

$$RMSE_n = \sqrt{\frac{F}{N}} \quad (6)$$

$$F = \sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2 \quad (7)$$

где: Q_i - измеренный расход; $\hat{Q}_i$ - прогнозируемый расход; F - осадочная вариация; N - число размеров расхода.

б) Критерий NTD

Ввиду выработки всеобщего критерия, который чтобы не зависел от величин расходов и длины ряда величин, Наш и Сутклифф сравнили осадочную вариацию F с первичной вариацией F_o :

$$F_o = \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \quad (8)$$

где $\bar{Q}$ - средняя измеряемых расходов.

Наш и Сутклифф выразили это сравнение следующим образом:

$$NTD_n = 1 - \frac{F}{F_o} \quad (9)$$

в) Коэффициент самокорреляции

Для выявления степени корреляции ошибок прогноза и выявления заключений о возможностях усовершенствования модели, употребляется коэффициент самокорреляции первой степени.

$$r_{1n} = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (x_i - \bar{x})(x_{i+1} - \bar{x})}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

где

$$x_i = Q_i - \hat{Q}_i$$

г) Кривая частот ошибок

Очень часто в практике интересует отклонение ΔN_n из измеряемых уровней N_i и прогнозируемых уровней N_i с $n = 1, 7$ дней вперед.

Эти численные критерии могут быть представлены в виде таблиц или графически. Например представляется на таблице 1 для гидроме-

Таблица 1. Размеры критериев оценки ошибок прогнозов на гидрометрической станции Казарамь на 1989 год

Ожидаемые ошибки между $Q_{ом}$ и	Критерий	Предположение (дней)						
		1	2	3	4	5	6	7
$Q_{ос}$	RMSE (m^3/sec)	333	348	391	465	572	678	748
	НТД	0,942	0,937	0,920	0,885	0,829	0,768	0,707
	r_1	0,531	0,483	0,406	0,319	0,296	0,302	0,360
	RMSE (m^3/sec)	279	297	346	421	523	621	693
$Q_{оф}$	НТД	0,967	0,964	0,945	0,918	0,860	0,799	0,743
	r_1	0,509	0,429	0,342	0,255	0,225	0,229	0,295
Ожидаемые ошибки между $Q_{ом}$ и	Классы уровней (см)	Предположение (дней)						
		1	2	3	4	5	6	7
$Q_{ос}$	0 - 10	72,68	61,62	48,56	39,52	28,01	22,53	20,62
	10 - 20	24,93	27,95	30,68	23,84	23,56	19,72	17,81
	20 - 30	2,19	7,42	11,06	19,45	17,81	19,18	13,42
	30 - 50	0	3,01	6,58	11,78	16,63	19,73	23,29
	> 50	0	0	3,12	5,41	13,99	18,84	24,86
$Q_{оф}$	0 - 10	94,07	85,64	67,64	47,92	35,79	28,19	25,73
	10 - 20	4,29	9,34	18,73	27,12	21,64	22,19	22,82
	20 - 30	1,64	3,01	5,75	12,60	16,16	15,62	14,05
	30 - 50	0	2,01	5,46	8,22	14,25	16,90	19,36
	> 50	0	0	2,40	4,14	12,16	15,10	16,04

 $Q_{ом}$ - измеряемый расход $Q_{оф}$ - прогнозируемый расход $Q_{ос}$ - симулируемый уровень $Q_{ос}$ - симулируемый расход $Q_{ом}$ - измеряемый уровень $Q_{оф}$ - прогнозируемый уровень

трической станции Кэлэрашь, численные критерии представленные ранее, использованные для 1989 года.

*
* * *

После применения процедуры DANUBIUS AMONTE в прогнозе расходов и уровней на румынском участке Дуная можно подчеркнуть следующие выводы:

- предложенная процедура даёт хорошие результаты при её употреблении в реальном времени, особенно в первые 5 дней прогноза;
- ошибки которые появляются при гидрологическом прогнозе на румынском участке Дуная из-за непознания вперёд стекающих расходов из Гидроэнергетической системы Железные Ворота I. Эти ошибки больше для станций вниз по течению расположенные сразу за ГЭС Железные Ворота, они спадают для станций расположенных дальше вниз по течению где влияние ГЭС спадает;
- нужна очень хорошая гидрометрическая деятельность путём измерения расходов для фаз гидрологического режима, ввиду познания любых кривых расходов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ШЕРБАН, П., КОРЬУШ, Ч.

Внос по численному моделированию добегания паводков по руслу рек.
Гидротехника № 4, Бухарест, 1987.

2. FERRAL, L.R.

Real-time adjustment of hydrological forecasts using river stage data. Conference on Mitigation of Natural Hazards, Sacramento, 1983

3. СТЭНЕСКУ, В. АЛ., УНІУРЯНУ, В., КОРЬУШ, Ч.

Оперативная процедура DANUBIUS AMONTE для прогноза расходов Дуная при входе в озеро Железные Ворота I

Конференция гидрологических прогнозов придунайских стран, Варна, 1990 год.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЛИЯНИЯ ГИДРОУЗЛА "ЖЕЛЕЗНЫЕ ВОРОТА" НА РЕЖИМ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ РЕКИ ДУНАЙ НА БОЛГАРСКОМ УЧАСТКЕ

Добри Димитров

Институт Метеорологии и Гидрологии - БАН, 1184 София

The paper deals with the Danube river water level variations caused by the hydrotechnical complex "Iron gates". The analysis of the variations is based on hourly data for the first bulgarian gaging station at Novo Selo. The periodogram of the time series is calculated for different seasons. The conclusion is made that the time periods of the most frequent variations are about an hour, a day and a week. Special attention is paid for the natural flood regime modification. Using the flood in 1988 as an example the conclusion is made that significant changes of the peak discharge are caused by the "Iron gate".

Настоящая работа ставит перед собой цель представить результаты анализа колебаний уровней воды реки Дунай на болгарском побережье и анализа представительности оперативных наблюдений за уровнями. В статье сделана попытка также выяснить влияния гидроузла "Железные ворота" во время ее эксплуатации, а также во время экстремальных ситуаций при прохождении паводочных волн. В этой цели выполнена обработка данных уровней и расходов пункта Ново Село, который находится в непосредственной близости второго водохранилища гидроузла "Железные ворота". При анализе колебаний уровней использованы часовые данные 1988 и 1977 годы. Первый период выбран поскольку в это время находились в эксплуатации обе гидроэлектростанции - "Железные ворота 1 и 2", а также поскольку в этот год произошло значительное изменение гидрографа паводочной волны в следствии работы гидроузла "Железные ворота". Второй период выбран поскольку в это время работала только первая гидроэлектростанция гидроузла.

Для анализа режима колебаний использованы периоды длиной 50 дней которые охватывают низкие, средние и высокие уровни для каждого из выбранных двух лет. Используя ежечасных наблюдений за уровнями вычислены трехчасовые средние, которые дальше обрабатывались с помощью спектрального анализа (1). Вычислены (2) периодограммы трехчасовых средних уровней пункта Ново Село для периодов представленных в таблице 1. Периодограммы сглажены при помощи скользящего среднего и показаны на рисунках 1 и 2.

Таблица 1.

Характеристика гидрографа	1977 год		1988 год	
	с	по	с	по
Высокие уровни	18.02	08.04	20.03	08.05
Средние уровни	21.05	09.07	01.01	19.02
Ниские уровни	01.10	19.11	20.10	08.12

Видно, что периодограммы сходные, что говорит о незначительном влиянии второй гидроэлектростанции на режим колебаний. Самый большой максимум соответствует трехчасового периода осреднения. Этот максимум хорошо выражен во время высоких, средних и низких уровней. Второй максимум соответствует периода 1 - 2 дней, а третий - периода одной недели. Все это говорит о том, что гидроузел имеет хорошо выраженную способность недельного регулирования. Эти характерные особенности режима колебаний несмотря на небольшие различия хорошо наблюдаются независимо от того высокие, средние или низкие уровни наблюдаются.

Проведен анализ представительности оперативной информации об уровнях на основе часовых данных 1988 года. Для каждой декады вычислялись средние и отклонения величины наблюдения пункта Ново Село в 8 часов утра восточно европейское время и среднесуточной величины. Эти отклонения тоже осреднялись. На рисунке 3 показан ход десятидневных средних по уровням и отклонениям в течении всего 1988 года. Видно, что отклонения являются довольно большие и в некоторых случаях средняя десятидневная разница оперативной информации от среднесуточной величиной является больше 15 сантиметров, что соответствует приблизительно 400 м³. Самые большие разницы наблюдаются во время спада, когда происходит процес аккумуляции воды. Минимум разниц наблюдается во время пиков паводочных волн.

Проведен также опыт выяснения особенностей паводочного гидрографа 1988 года. Для этой цели калибрована прогностическая модель динамической регрессии пакета программ для анализа и прогнозирования временных рядов [3]. Выбран такой подход, из за отсутствия информации о попусков воды гидроузла "Железные ворота". Модель динамической регрессии использует хорошие возможности использования независимых величин в качестве предикторов, а также улучшает прогноз за счет авторегрессии

предиктанта. Предикторы являются расходы воды Дуная пункта Богоево (Boe_Du), расходы реки Сава пункта Сремска Митровица (SrM_Sa), реки Тиса - Сегед (Seg_Ti) и реки Велика Морава пункта Любичевски мост (Lum_Mo). Означения в скобках соответствуют означениям в таблице 1 где указаны все параметры использованных данных. Модель калибрована с использованием паводков 1967, 1970 и 1975 гг. или с использованием всех паводков. На таблице 2 показаны основные параметры калиброванной модели. Основные результаты показаны на рисунке 4. Видно, что пик прогнозируемого паводка ниже наблюдаемого и во времени сдвинут на несколько дней. Это соответствует очень хорошо нашим представлениям о том, что до прохождения пика паводка происходило экстренное понижение уровня водохранилища. Этот процес подтверждается ходом уровней пункта Оршова.

В заключении надо сказать, что колебания уровней на болгарском участке Дуная являются весьма динамичными во все сезоны года. Несмотря на то, что водохранилище "Железные ворота 1" считается водохранилище суточного регулирования, здесь можно сделать вывод о значительных его возможностях недельного регулирования. Кроме того напрашивается вывод о том, что без наличия данных о пущках первого водохранилища оперативное прогнозирование на болгарском участке Дуная является невозможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казакевич Д. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии. Гидрометеоиздат, Л., 1971.
2. Statistical Graphics System, Statgraphics. STSC Inc., Toronto, 1985.
3. Въндев Д., Дамянов Г., Димитров Д. и др. TSTAT - 16
Руководство потребителя ППС, София, 1989.

Smoother periodogram (P) of Danube water
levels at station Novo Selo - 1977

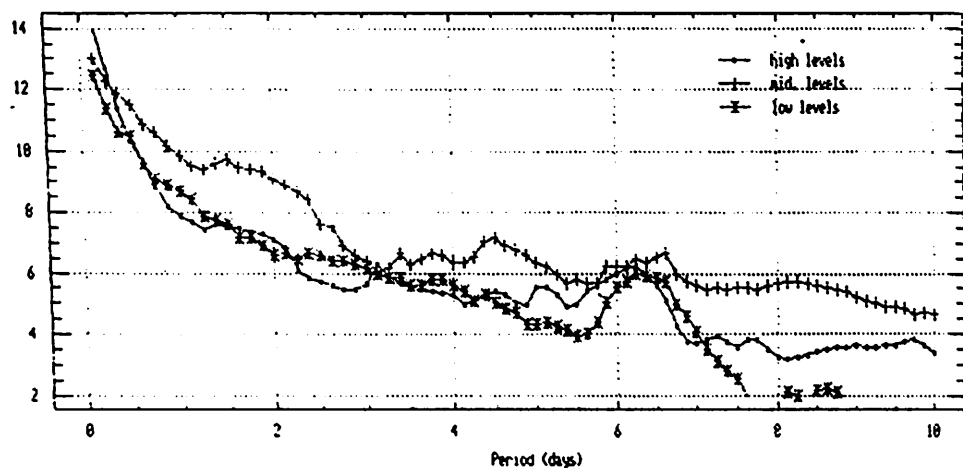


Рисунок 1

Smoother periodogram (P) of Danube water
levels at station Novo Selo - 1988

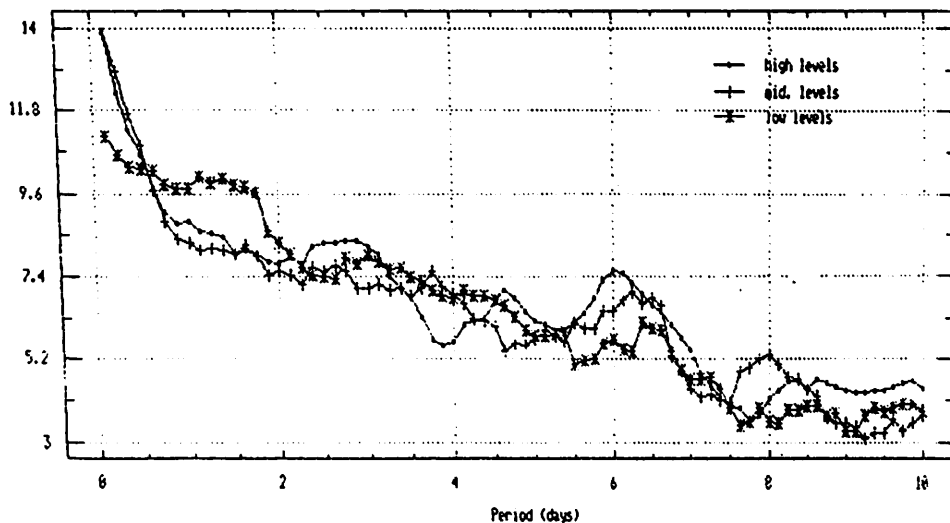


Рисунок 2

Danube water level ten days means and
differences from the 8 o'clock obsv.

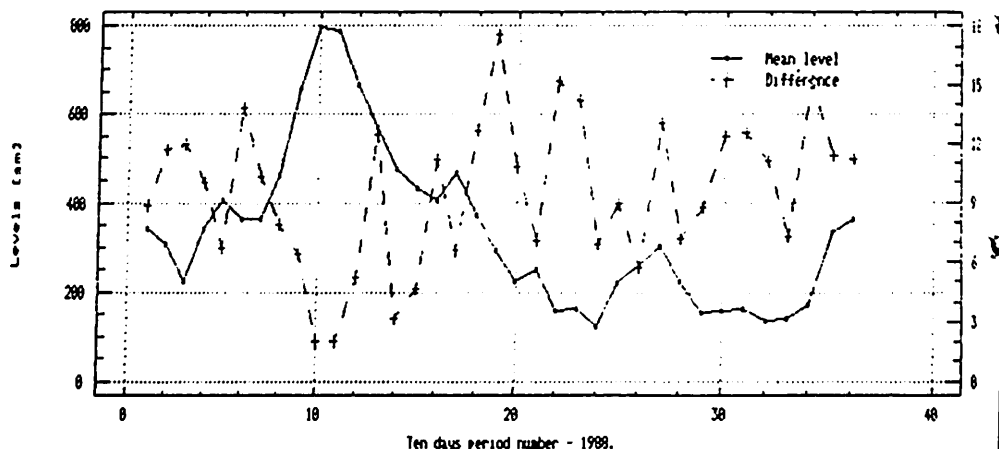


Рисунок 3

Observed and predicted flood - 1988
(model calibrated for diff. floods)

(X 100)

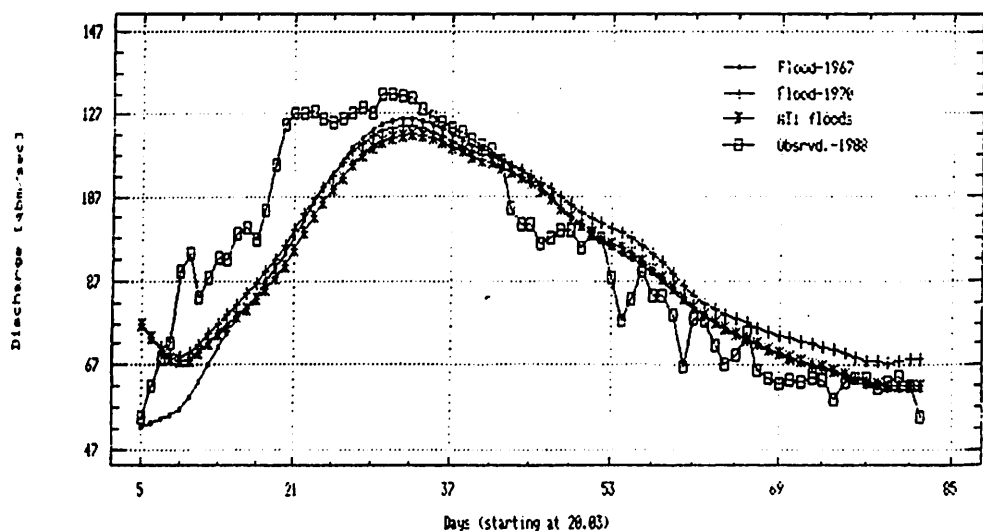


Рисунок 4

Таблица 1

*** TSTAT - 16 ***				Dynamic models		Generation of actual data	
further only the actual names of the selected variables are used.							
Actual number of observations				540	Number of independent variables		4
Starting time point				5	Dependent variable "MSe_Du"		No.: 5
Final time point				544	Maximum number of forecasts		83
No.	Actual name	Independent variable	Lag	No.	Actual name	Independent variable	Lag
1	XA-1	1 Bog_Du	4				
2	XA-2	2 Srf_Sa	2				
3	XA-3	3 Seg_Ti	4				
4	XA-4	4 LuA_Mo	2				

Таблица 2

*** TSTAT - 16 ***		Dynamic models		L S D E with independent	
RESULTS OF THE MODEL - System parameters				SAVE 1 G	
Variable	Parameters	St. deviations	I - statistics	P(tail)	
1 XA-1	0.15525664	1.950e-082	7.92818497	2.384e-087	
2 XA-2	0.19285874	2.889e-082	9.25324738	0.	
3 XA-3	0.14638836	2.903e-082	5.83981536	0.	
4 XA-4	0.38228322	6.719e-082	5.689989	4.768e-087	
5 VA(-1)	0.83862768	1.788e-082	48.648893	0.	

Multiple correlation coefficient	0.99288996	P(tail)	0.
----------------------------------	------------	---------	----

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА В ДЕЛЬТЕ ДУНАЯ

В.Ф.ПОЛОНСКИЙ, П.С.ГРАНИЧ, В.Н.МОРОЗОВ

Государственный океанографический институт
г.Москва, СССР

РЕЗЮМЕ

Для решения гидрологических задач используются автоматизированные методы получения связей расходов и уровней воды в дельте. Предложены количественные критерии оценки их точности, дифференцированные по диапазонам амплитуды стока реки в вершине дельты. Разработана и параметризована математическая модель для прогноза развития систем дельтовых водотоков. Предложенные методы позволяют оценивать антропогенное влияние на гидролого-морфологические процессы в дельте.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF METHODS CONCERNING MONITORING AND FORECASTING OF WATERFLOW DISTRIBUTION PROCESSES IN THE DANUBE DELTA

V.F.POLONSKY, P.S.GRANICH, V.N.MOROZOV

State Oceanographic Institute
Moscow, USSR

RESUME

Automatized methods of estimating for water discharges & levels relations in the delta are used for solving of the hydrological problems. Quantitative criteria of its precision differentiated on amplitude ranges of water discharge in delta top are suggested. Mathematical model for genesis of delta branches systems prediction is developed & parametrized. Proposed methods allow to estimate antropogenic effect upon hydrological & morphological processes in river deltas.

Для решения задач мониторинга и прогноза перераспределения стока в дельте развита два метода: 1) физико-статистический (на основе гидрометрических данных) (Полонский, 1989), 2) моделирование процессов динамики систем дельтовых водотоков - перераспределения расходов воды и наносов, деформаций русел и устьевых баров, устьевого удлинения (укорочения) дельтовых водотоков (Полонский, 1986).

Первый метод позволяет строить зависимости расходов воды (Q_i) или уровней воды (H_i) дельтовых водотоков от соответственных расходов воды, поступающих в вершину дельты (Q_0), вида $Q_i = f(Q_0)$, $H_i = f(Q_0)$. Причем, на основе кусочно-линейной аппроксимации исключен элемент субъективизма в построении зависимостей; дифференцированно по отрезкам амплитуды расходов воды (Q_0) на основе положений статистики и теории случайных ошибок определяются доверительные ин-

тервалы значений координат Q_i, H_i ; на основе метода условных измерений осуществляется балансовая увязка координат кривых $Q_i = f(Q_0)$ по замкнутым гидрометрическим контурам [3]. Метод автоматизирован.

Установлено относительное постоянство связи уровня и расхода воды дуная в замыкающем гидрометрическом створе (г.Рени) $Q_0 = f(H_0)$ за период инструментальных наблюдений расходов воды.

При контроле распределения стока в дельте принималось, что допустимая невязка в замкнутом контуре гидрометрических створов не должна превышать теоретического значения доверительного интервала (предельно допустимой погрешности) баланса стока при заданной доверительной вероятности

$$|\omega| \leq |\sqrt{\sum \beta_i^2}|, \quad (I)$$

где β_i – ширины доверительных интервалов кривых расходов воды $Q_i = f(Q_0)$ для створов, составляющих замкнутый контур.

В случае, если величина невязки ω превышает допустимое значение, следует проверить качество работ на гидрометрических створах или обнаружить неучтенные притоки и оттоки.

Проведен совместный анализ зависимостей расходов воды в различных створах по длине устьевового участка Дуная от соответственных расходов воды в замыкающем створе $Q_i = f(Q_0)$, построенных по данным измеренных расходов воды. Рассмотрение баланса расходов воды Дуная на участке г.Рени – Измаильский Чатал – Георгиевский Чатал показало (в пределах доверительных интервалов), что при расходах воды Дуная $Q_0 \leq 8000 \text{ м}^3/\text{с}$ сток проходит в основном русле; при увеличении расходов Дуная свыше $10000 \text{ м}^3/\text{с}$ наблюдается мощный боковой отток вод, достигающий при расходах $12000\text{--}14000 \text{ м}^3/\text{с}$ около 10% стока реки. В узлах Измаильский Чатал и Георгиевский Чатал при расходах воды Дуная $Q_0 \leq 8000 \text{ м}^3/\text{с}$ баланс стока по рукавам Килийскому (115 км), Тульчинскому (34 миль), Георгиевскому (108 км) и Сулинскому (33,8 миль) хорошо согласуется (табл. I).

Долю стока Килийского рукава (115 км) у Измаильского Чатала в последние 30 лет (табл. I) можно считать постоянной в пределах доверительных интервалов кривых $Q_i = f(Q_0)$ по всей амплитуде стока. За этот период прослеживается уменьшение доли стока Килийского рукава (20 км) у Вилкова, что, вероятно, связано с увеличением водозаборов в Килийском рукаве на участке от Измаильского Чатала до г. Вилково.

В водотоках Килийской дельты Дуная баланс руслового стока соб-

Таблица 1

Координаты кривых расходов воды $Q_i = f(Q_0)$ и их доверительные интервалы β_i (с доверительной вероятностью $P = 0,9$)

Расход воды в верш. $Q_0, \text{м}^3/\text{с}$	Водоток, г/створ	Период группировки выборки измеренных расходов воды					
		1958-1962		1976-1980		1986-1989	
		$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$\beta_i, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$\beta_i, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$\beta_i, \text{м}^3/\text{с}$
4000	Килийский, 115 км	2392	66	2381	51	2436	88
8000		4802	109	4597	217	4608	307
12000		6775	329	6661	387	6894	483
4000	Тульчинский, 34 мили	1451	52	1638	115		
8000		3022	78	3181	109		
12000		-	-	4356	136		
4000	Георгиевский, 108 км	730	28	894	61		
8000		1664	41	1803	95		
12000		-	-	2367	76		
4000	Сулинский, 33,8 мили	671	27	799	46		
8000		1337	28	1539	62		
12000		-	-	1992	84		
4000	Килийский и Тульчинский (суммарно)	3843	84	4019	126		
8000		7824	134	7778	243		
12000		-	-	11017	410		
4000	Килийский, Вилково (20 км)	2368	98	2423	169	2145	141
8000		4851	150	4383	241	4069	152
12000		7220	346	6165	329	6202	464

Таблица 2

Оценка современного распределения стока и тенденции его перераспределения в основных водотоках Килийской дельты Дуная

Расход воды в верш. $Q_0, \text{м}^3/\text{с}$	Водоток, г/створ	Период осреднения			Период определения тенденции		
		1986-1989			1978-1988		
		$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$\beta_i, \text{м}^3/\text{с}$		$\Delta Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$\beta_{\Delta}, \text{м}^3/\text{с}$	
		увяз. с увяз.	с увяз.	без увяз.	увяз. с увяз.	без увяз.	
4000	Килийский, 20 км	2280	66	141	-127	67	220
8000		4158	87	152	-248	89	285
12000		6386	77	464	32	135	569
4000	Старостамбульский, 10 км	923	47	46	-85	48	104
8000		1715	66	88	-171	68	190
12000		2750	32	76	-61	112	198
4000	Быстрый, исток	681	22	21	75	22	36
8000		1214	36	45	102	36	61
12000		1705	25	59	198	40	75
4000	Очаковский, 15,5 км	623	47	46	-115	47	55
8000		1124	77	109	-165	77	127
12000		1787	67	164	-93	72	169

лдается при расходах воды Дуная $Q_0 \leq 12000 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом правомочна балансовая увязка кривых расходов воды для замкнутого контура гидрометрических створов (включая сам Килийский рукав). В результате такой балансовой увязки в соответствии с методом условных измерений могут быть снижены величины доверительных интервалов координат кривых расходов воды $Q_i = f(Q_0)$ (табл.2).

Уменьшение величин доверительных интервалов кривых расходов воды вида $Q_i = f(Q_0)$ или $Q_i = f(H_0)$ путем увеличения точности и количества измерений расходов воды имеет важное значение для выявления и оценки неучтенных измерениями притоков-оттоков.

Рассматриваемый физико-статистический подход к изучению процессов перераспределения стока в дельте Дуная позволяет дать критерии надежности оценки тенденции развития дельтовых водотоков и рекомендации по оптимизации связанных с этим гидрометрических работ. При большом числе водотоков трудно набрать статистически необходимую для построения достаточно точной кривой выборку (30-40 точек, равномерно распределенных по амплитуде стока) за один-два года. При группировке натурных точек за длительный промежуток времени доверительные интервалы построенных по ним кривых $Q_i = f(Q_0)$ расширяются вследствие направленных процессов перераспределения стока (сдвига искоемых кривых во времени). Поэтому при изучении перераспределения стока лучше проводить большее количество ежегодных измерений на меньшем количестве гидрометрических створов, чередуя во времени наблюдения в различных водотоках, чем одновременно проводить меньшее количество ежегодных наблюдений на большем числе створов.

Условием надежности определения тенденции изменения координаты Q_i за промежуток времени Δt является

$$\Delta Q_i > \beta_i \Delta, \quad (2)$$

где

$$\beta_i \Delta = \sqrt{\beta_{i,t}^2 + \beta_{i,t+\Delta t}^2}, \quad (3)$$

ΔQ_i - разность значений координаты на конец расчетного периода Δt ($Q_{i,t+\Delta t}$) и на его начало ($Q_{i,t}$) при фиксированном значении Q_0 ; $\beta_{i,t}$ - доверительный интервал определения координаты $Q_{i,t}$, $\beta_{i,t+\Delta t}$ - доверительный интервал определения координаты $Q_{i,t+\Delta t}$.

Например (табл.2), можно сделать вывод об уменьшении доли стока Килийского рукава (20 км), надежно установленной активизации рукава Быстрого, отмирании систем рукава Очаковского и рукава Старо-стамбульского (ниже истока Быстрого).

Второй из рассматриваемых в докладе методов (моделирование ди-

намики систем дельтовых водотоков) позволяет прогнозировать процессы перераспределения стока, обусловленные русловыми деформациями, устьевым удлинением, формированием устьевых баров, в т.ч. с учетом гидротехнических мероприятий.

Суть метода заключается в следующем.

1. Рассматриваются процессы, связанные с долгопериодными, направленными деформациями русел водотоков (без учета локальных, обратимых русловых процессов). При этом для расчета руслоформирующих характеристик дельтовых водотоков (расходов воды Q_r и мутности ρ) используются соответствующие руслоформирующие характеристики в вершине дельты [1]. Временной шаг расчета должен включать целое число лет. В пределах одного шага руслоформирующий расход воды и мутность воды в вершине дельты принимаются постоянными.

2. Развитие (активизация или отмирание) дельтовых водотоков определяется различием фактических и "устойчивых" гидравлико-морфометрических характеристик. Такими характеристиками обладают гипотетически "устойчивые" водотоки, в которых не наблюдаются однонаправленные необратимые русловые деформации (размыв или намыв). Эти характеристики могут быть выражены через независимые характеристики - руслоформирующий расход воды Q_r , мутность ρ , крупность наносов D [1]. Примем обозначения: ω_0, h_0, b_0 - устойчивые и ω_r, h_r, b_r - фактические значения, соответственно, площади поперечного сечения, глубины и ширины водотока при уровне руслоформирующего расхода воды. Для активизирующихся водотоков $\omega_r < \omega_0, \frac{b_r}{h_r} < \frac{b_0}{h_0}$, для отмирающих $\omega_r > \omega_0, \frac{b_r}{h_r} > \frac{b_0}{h_0}$. Скорость направленных деформаций русел водотоков (изменения ω_r, h_r, b_r) зависит от соотношения фактических и устойчивых характеристик, а, следовательно, с учетом связей ω_0, h_0, b_0 с Q_r, ρ, D является функцией от Q_r, ρ, D, h_r, b_r . В случае, если изменениями величин ρ и D в пределах части дельты можно пренебречь, зависимости существенно упрощаются. Например, для водотоков дельты Дуная обнаружены связи вида:

$$dh_r/dt [\text{м/год}] = K_1 - K_2 \frac{b_r h_r}{Q_r^{3/4}}, \quad (4)$$

$$db_r/dt [\text{м/год}] = K'_1 - K'_2 \frac{b_r h_r}{Q_r^{3/4}}, \quad (5)$$

где K_1, K_2, K'_1, K'_2 - размерные эмпирические коэффициенты.

3. Скорость устьевого удлинения (укорочения) участков водотоков, выходящих к морю, рассчитывается по формуле, отражающей баланс наносов в лобовой части конуса выноса [2], вида:

$$dl_2/dt = a \frac{R_y}{b_y H_k} - \beta \frac{J_s E_0}{J_m H_k}, \quad (6)$$

где: R_y – средний годовой расход наносов в устьевом створе, B_y – ширина подводящего к бару водотока, H_k – высота конуса выноса от принятого основания, α и β – размерные коэффициенты пропорциональности. E_0 – поток удельной энергии волнения у основания морского склона устьевого бара, J_0 – уклон морского склона устьевого бара, J_m – уклон дна устьевого взморья. При расчете устьевого удлинения (укорочения) наряду с формулой (6) используются соотношения геометрических характеристик конуса выноса и устьевого взморья и зависимости, отражающие характер распределения величины E_0 на устьевом взморье дифференцированно по участкам морского края дельты. Длина устьевого бара поверху и глубина в ложбине на гребне бара рассчитываются в зависимости от гидрологических характеристик речного потока в устьевом створе и энергии волнения [2].

4. По рассчитанным на начало каждого из последовательных временных шагов Δt_j значениям морфометрических характеристик русел и конусов выноса дельтовых водотоков при заданном в вершине дельты расходе воды и наносов гидравлическим способом [4] вычисляется распределение расходов воды в системах дельтовых водотоков и баланс наносов в русловой сети дельты; с использованием полуэмпирических зависимостей для скоростей изменения морфометрических характеристик русел, устьевых баров водотоков и устьевого удлинения от известных на начало шага определяющих факторов методом Рунге-Кутты рассчитываются все необходимые для продолжения расчета характеристики на конец шага. При этом граничные условия в вершине дельты (расход воды и наносов реки) и у морского края дельты (уровень моря, распределение волно-энергетических характеристик на устьевом взморье) в течение расчетного шага (или ряда шагов) принимаются постоянными. На последующем шаге Δt_{j+1} морфометрические характеристики русловой сети дельты, рассчитанные на конец предыдущего шага Δt_j , принимаются за исходные. В случае изменения граничных условий (расходов воды и наносов в вершине дельты и уровня моря) пересчитывается распределение стока воды и наносов на начало шага Δt_{j+1} . В случае постоянства граничных условий по временным шагам конечное распределение стока на шаге Δt_j принимается в качестве начального на шаге Δt_{j+1} . Расчет продолжается последовательно до конца всего прогнозируемого периода.

Рассматриваемая модель параметризована и апробирована при прогнозном расчете развития Килийской дельты Дуная для случая естественного развития и с учетом последствий различных вариантов организации судового хода "река-море". В результате расчетов хода процессов

на перспективу 15 лет выяснилось, что если прекратить мероприятия по поддержанию судового хода в рукаве Прорва, естественные процессы могут привести к быстрому отмиранию этого рукава, Очаковский рукав существенно снизит свою долю стока. Наоборот, при осуществлении мероприятий по улучшению проектных характеристик судового хода в Прорве ее доля стока может существенно возрасти, а рукав Потаповский будет интенсивно отмирать. Тенденции развития дельтовых водотоков Старапостамбульской системы при различных вариантах использования Килийской дельты в основном сохраняются.

Предложенные методы контроля и прогнозирования гидролого-морфологических процессов в дельте Дуная в перспективе могут быть применены при согласовании оптимальных вариантов международного использования и охраны водных ресурсов устьевой области Дуная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. Речные дельты (гидролого-морфологические процессы).—Л.: Гидрометеиздат, 1986.—280с.
2. Полонский В.Ф. Новый метод прогнозирования процесса формирования устьевых баров и выдвижения конусов выноса рек.//Береговая зона моря.—М.: Наука, 1981.— С.148—155.
3. Полонский В.Ф., Апухтина С.П. Метод построения и увязки кривых расходов воды в системах дельтовых водотоков с использованием ЭВМ.//Труды ГОИН.—1989.—Вып.185.— С.104—112.
4. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и устьях рек при инженерных изысканиях.—М.: Гидрометеиздат, 1973.—535с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ СТОКА ГОРНЫХ РЕК

Шенцис И.Д.

Среднеазиатский региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт
Ташкент, СССР

Резюме

Изложена концепция построения долгосрочных прогнозов стока горных рек на основе модели. Представлена базовая модель. Описана автоматизированная информационная система разработки и выпуска прогнозов.

An automated informational system for long-term
forecasts of mountain rivers runoff

Abstract

The paper presents a concept of making long-term forecasts of mountainous rivers runoff based on the model. A basic model is given. An automated informational system for forecast development and issue is described.

Введение

Проведенные за последнее десятилетие исследования по разработке методов прогнозов стока горных рек Средней Азии на основе модели / 1,2 /, апробация их на ряде объектов показали, что необходимым следующим этапом работы по внедрению этих методов в оперативную практику должно явиться построение соответствующей автоматизированной системы. Этого потребовали:

- стремительно возрастающий объем используемой информации,
- требования оперативности выпуска прогнозов,
- необходимость оптимально полного использования информационных возможностей модели.

2. Базовая модель

Модель описывает полный цикл формирования стока горной реки, отображая основные факторы и процессы: выпадение осадков (жидких

и твердых), динамику снежного покрова, испарение, поступление талой и дождевой воды на водосбор, сток с ледников, трансформацию и потери стока в бассейне. Пространственно - временной масштаб, структура и методология модели в соответствии с задачей долгосрочного прогнозирования оптимально сочетают требования простоты и необходимость учета основных водобалансовых соотношений в бассейне. Модель детерминированная, с сосредоточенными параметрами, но описывает пространственную и высотную неоднородность метеополей, процессов аккумуляции и абляции снега, испарения и т.д. Сделана попытка учета влияния макро- и мезорельефа на входные метеорологические макрополя. Ввиду дефицита оперативных данных стандартных измерений временные реализации полей осадков рассчитываются с дополнительным использованием априорной климатической (более полной) информации. В числе последней - косвенные оценки осадков по снего-съемкам и характеристикам следедения / 3 /. На входе модели - стандартная информация об осадках, температуре и дефиците влажности воздуха. Необходимые сведения о гидрологическом объекте: гипсография, гидрография, рельеф (высота местности в узлах расчетной сети), параметры. Временной шаг - декада.

Модель апробирована на ряде рек (Пскем, Чаткал, Угам, Ахангаран, Иссы, Каракульджа, Кугарт, Сох, Зеравшан, Тар, Куршаб, Исфайрамсай) и притоков в водохранилища (Чарвакское, Андижанское) в разных горных районах Средней Азии (Западный Тянь - Шань, Памиро - Алай, горное обрамление Ферганской долины).

3. Прогнозы на основе модели

На основе описанной модели разработаны методы долгосрочных прогнозов стока горных рек с заблаговременностью от I до 6 месяцев: весенне-летний сток рассчитывается по модели при климатических оценках гидрометеорологической ситуации в период заблаговременности прогноза. Начальные условия - модельные оценки снеготалосов к сроку выпуска прогноза и предшествующий измеренный сток. Новый метод успешно прошел оперативные производственные испытания (например, табл. I). По сравнению с принятым в практике статистическими методами прогнозов особо значима его эффективность при уточнении прогнозов в мае - июне, когда возрастает важность модельных оценок оставшихся в верхних зонах снеготалосов.

Таблица I

Результаты производственных испытаний долгосрочных прогнозов вегетационного стока рек Ахангаран, Пскем, Чаткал, Кугарт (отдел гидропрогнозов Гидрометцентра Узгидромета, 1986 - 1987 гг.)

Заблаговременность, месяцы	Прогнозируемый период			
	Сезон (период вегетации)		Месяцы (апрель-сентябрь)	
	Оправдываемость, %	Дано прогнозов	Оправдываемость, %	Дано прогнозов
I	-	-	89	36
2	-	-	92	36
3	86	7	96	23
4	86	7	89	18
5	86	7	85	13
6	82	11	-	-

4. Автоматизированная информационная система

Автоматизированная информационная система для долгосрочных прогнозов стока на основе модели (АИСТП) включает базу гидрометеорологических данных и программный комплекс, реализующий разработку метода и оперативный выпуск прогноза. Структура базы данных (БД) показана на рис 1. Система управления базой данных (СУБД) FOXBASE + . Основные функции программного обеспечения (рис 2):

- формирование, загрузка и ведение архивов и оперативной базы данных;
- разработка методов прогнозов на основе модели для отдельных гидрологических объектов;
- выпуск оперативных прогнозов;
- анализ гидрометеорологической ситуации в срок выпуска прогноза;
- вероятностная оценка прогнозируемого стока путем модельного "розыгрыша" будущей ситуации (в интерактивном режиме).

Последние особо важны, так как позволяют прогнозистам в срок получить с помощью модели более полную и разнообразную информацию о снеге - и влагозапасах в бассейне и оценить вероятность будущей экстремальной водности. Сюда же входит контроль работы модели на

этапе расчета снежного покрова по результатам снегосъемок и оценка снегозапасов на территории горных районов (площадью в несколько десятков тысяч квадратных километров) путем комплексного использования модельных расчетов и результатов измерений (наземных, авиационных, спутниковых).

5. Выводы

Описанная система, реализованная на ПЭВМ РС/47, начнет работать с 1991 г. в опытно-режиме на территории Узбекистана (АИСТП "Узгидромет"). В дальнейшем предполагается ее развитие для всей горной территории Средней Азии.

Список литературы

1. Шенцис И.Д. Задача долгосрочного прогноза вегетационного стока горных рек на основе модели. - Труды САНИПМИ, 1988, вып. 127(208), с. 31 - 39.
2. Шенцис И.Д. Модель как метод решения задачи долгосрочного прогноза стока горных рек. - Сборник докладов. XIУ конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, 1988, Киев, с. 250 - 261.
3. Шенцис И.Д. Оценка климатических характеристик снежного покрова и осадков в горах с помощью математической модели формирования снегозапасов. - материалы гляциологических исследований, 1986, вып. 61, с. 62 - 68.

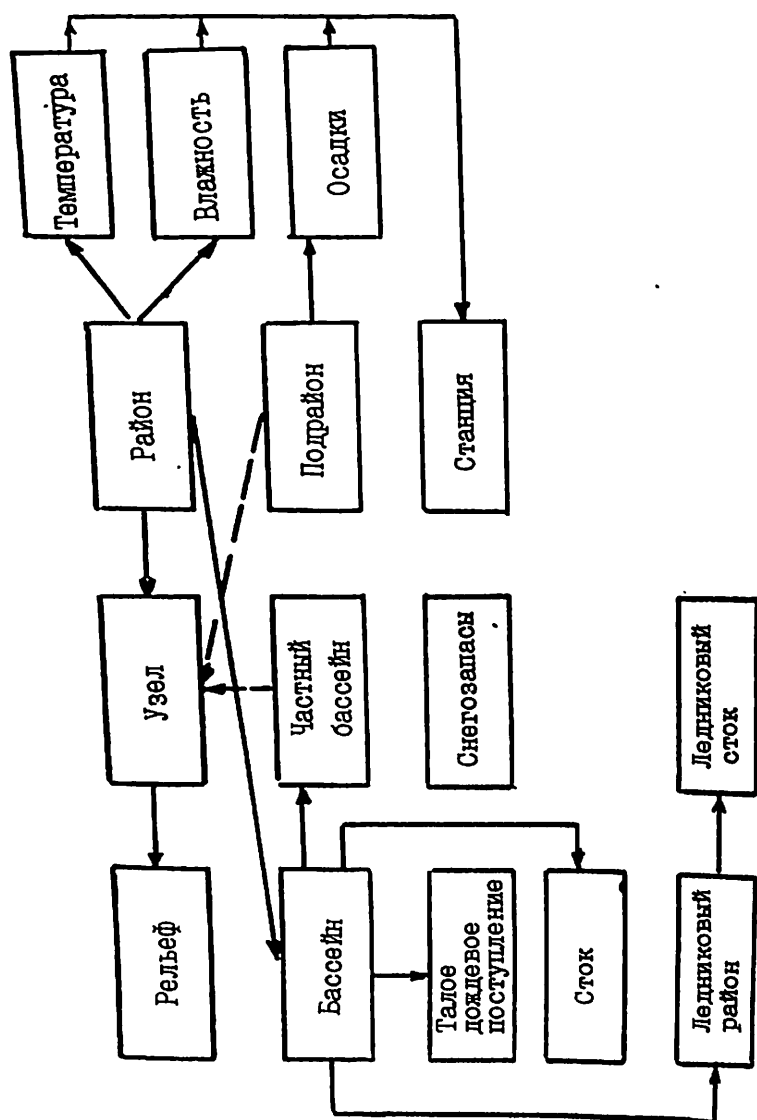


Рис. 1. Структура базы данных АИСП

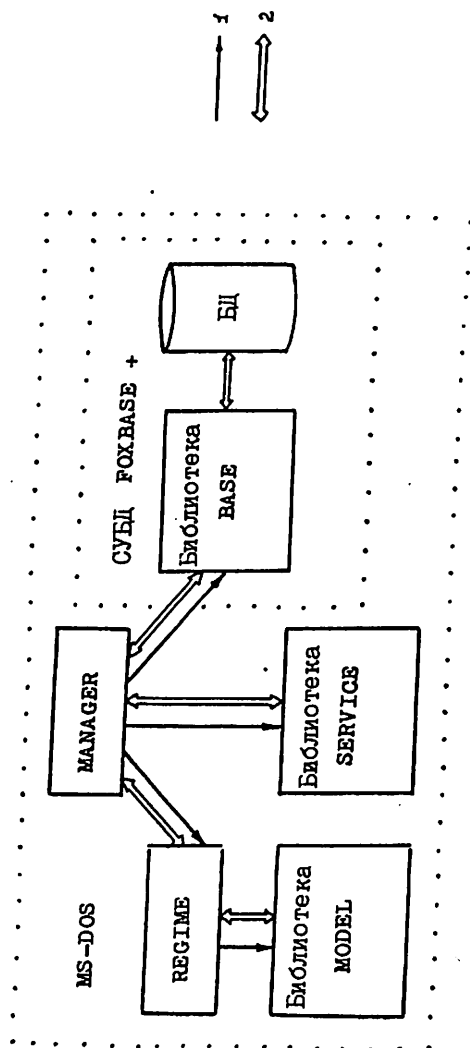


Рис. 2. Структура системы программного обеспечения АМСТП
1 - связи, 2 - информационные потоки

**5. ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ЛЕДОВОГО
РЕЖИМА**

**VORHERSAGE DES TEMPERATUR - UND
EISREGIMES**

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ, ОСНОВАННЫХ НА СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЯХ

С.В. Шаночкин, В.А. Бузин,
Государственный гидрологический институт,
Ленинград,
СССР

Резюме

Надежность предсказания характеристик ледовых явлений может быть повышена путем комплексирования - статистической оптимизации прогнозов, составленных по имеющимся методикам. Повышение точности прогнозов при этом достигается за счет учета всей полезной информации, заложенной в отдельных методиках. Результаты комплексирования прогнозов, составленных по двум методикам предсказания общей продолжительности ледовых явлений на р.Дунае, оказались положительными. Повышению устойчивости прогностических решений способствует также отбор аргументов расчетных зависимостей на базе привлечения данных моделирования выборки независимых прогнозов в процедуре вычисления так называемого коэффициента прогностической информативности.

An increase of reliability and evaluation accuracy of ice forecasts based on statistical dependencies

Abstract

Forecasting of ice events characteristics may be more reliable by means of a multi-purpose statistical optimization of the forecasts based on the available methodologies. A higher accuracy of the forecasts is attained due to an account of all the required information envisaged in particular methodology. The results of the optimization of the forecasts made by two methods of predicting the total duration of ice events in the Danube appeared to be positive. A selection of arguments of design dependences also contributes to a greater stability of prognostic solutions on the basis of data on modeling independent forecasts sampling during the computation procedure of the so-called coefficient of prognostic informativity. The estimate of the efficiency of the forecast methodology obtained from the modelled series is more reliable, if compared with the observation series for the past years.

В оперативной практике встречаются ситуации, когда прогнозист сталкивается с необходимостью принятия решения в условиях наличия нескольких методик прогнозов того или иного элемента ледового режима. Чаще всего предпочтение отдается методике, имеющей лучшую оправдываемость на независимом материале. При этом теряется часть полезной информации, заложенной в других методиках.

Для сохранения информации о прогнозируемой характеристике ледового явления можно использовать способ комплексирования - статистической оптимизации прогнозов, составленных по всем имеющимся методикам. Комплексирование выполняется по формуле

$$y_0 = a_0 + a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_k y_k \quad , \quad (1)$$

где y_0 - оптимальное прогностическое значение, $y_1, \dots, y_k$ - прогностические значения, полученные по k индивидуальным методикам.

В варианте линейной задачи для вычисления погрешности прогноза по формуле (1) справедливо выражение

$$S_0 = \sqrt{|D|_k / |D_{11}|_k} \cdot \sigma_y \quad , \quad (2)$$

где $|D|_k$ и $|D_{11}|_k$ - определитель и его минор, получаемый путем вычеркивания первой строки и первого столбца парных коэффициентов корреляции (r) между значениями y и y_k , σ_y - среднее квадратическое отклонение значений предиктанта от нормы ($\bar{y}$).

Основным препятствием реализации способа комплексирования прогнозов по формуле (1) является отсутствие представительных выборок из независимых прогнозов. В рамках методик, где прогностические рекомендации даются в виде уравнений множественной линейной регрессии, задача удлинения ряда независимых

прогнозов может быть решена в процессе вычисления так называемого коэффициента прогностической информативности / 5 /

$$КПИ = \frac{\sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^M (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}} \quad (3)$$

где y_i - фактическое значение характеристики ледового явления, $\hat{y}_i$ - значение, спрогнозированное по следующей схеме.

Пусть имеется набор тест - предикторов и предиктант

$$\begin{array}{ccccccc} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} & y_1 \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} & y_2 \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mN} & y_m \end{array}$$

где N - число предикторов, M - число наблюдений. Выделив первые M_1 наблюдений в независимую группу, по оставшимся $M - M_1$ наблюдениям устанавливают уравнение регрессии. При подстановке в уравнение предикторов из независимой группы вычисляют (прогнозируют) M_1 значений предиктанта ($\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_{M_1}$). Затем в качестве независимой группы берут следующие M_1 наблюдений, а по оставшимся $M - M_1$ строят новое уравнение регрессии и по нему дают прогноз не вошедших в обучающую выборку значений предиктанта. Процедуру продолжают до тех пор, пока не осуществится полный перебор. В итоге будет сформирован ряд прогностических значений предиктанта ($\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_M$). Если имеется k методик, то можно описанным выше способом получить необходимые для входа в уравнение (1) прогностические значения $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_k$.

Изложенная процедура статистического комплексирования была реализована при оптимизации долгосрочных прогнозов общей продолжительности ледовых явлений на р.Дунае, которые составляются в настоящее время для четырех характерных участков реки по двум методам: 1) главных компонент и 2) дискриминантного анализа / 4 /. Прогностические уравнения содержат пять переменных. В табл. I приводятся результаты оптимизации прогнозов для участков г.Братислава - г.Будапешт и г.Корабия - г.Олтеница. Как видно из данных табл. I, погрешности прогнозов после процедуры комплексирования заметно уменьшились.

Таблица I

Результаты комплексирования прогнозов продолжительности
ледовых явлений на р. Дунае

Участок	Входные данные	Средние квадра- тические погрешно- сти прог- нозов по индивиду- альным методи- кам	Комплексиру- ющие выраже- ния	Средние квадра- тические погрешно- сти пос- ле комп- лексиро- вания
г. Братислава - г. Будапешт	$y, \hat{y}_1, \hat{y}_2$ $z_{y\hat{y}_1}(\text{КПИ}) = 0,743,$ $z_{y\hat{y}_2}(\text{КПИ}) = 0,692,$ $z_{\hat{y}_1\hat{y}_2} = 0,690$	$\hat{S}_1 = 15,93$ $\hat{S}_2 = 17,18$	$\hat{y}_0 = 0,596\hat{y}_1 +$ $+ 0,424\hat{y}_2 -$ $- 0,881$	$S_0 = 14,62$
г. Корабия - г. Олтеница	$y, \hat{y}_1, \hat{y}_2$ $z_{y\hat{y}_1}(\text{КПИ}) = 0,747$ $z_{y\hat{y}_2}(\text{КПИ}) = 0,819,$ $z_{\hat{y}_1\hat{y}_2} = 0,760$	$\hat{S}_1 = 16,34$ $\hat{S}_2 = 14,13$	$\hat{y}_0 = 0,346\hat{y}_1 +$ $+ 0,661\hat{y}_2 -$ $- 0,096$	$S_0 = 13,22$

Ледовые явления зависят от множества факторов, поэтому при установлении уравнений для их прогноза возникает задача выбора наиболее репрезентативной совокупности предсказателей. В рамках методик, где прогностические рекомендации даются в виде уравнений множественной линейной регрессии эта задача может быть решена с помощью коэффициента прогностической информативности. КПИ обладает одним важным свойством. Если обычный коэффициент множественной корреляции с добавлением очередной переменной постоянно растёт, то КПИ по достижении максимального (для данной совокупности тест - предикторов) значения начинает убывать. Таким образом, КПИ позволяет фиксировать оптимальный состав групп предикторов. Применение способа отбора предсказателей с помощью КПИ для целей прогнозов максимальных заторных уровней воды ($H_{зтр}$) показало, что при длине ряда наблюдений $35 \div 40$ лет в прогностическую зависимость целесообразно вводить лишь два фактора: водность реки

при вскрытии и мощность закорных околплений льда на заторном участке, показателями которых являются уровень $H_{Q_{кр}}$, соответствующий в условиях свободного русла расходу воды у верхней кромки льда, и максимальный уровень воды в начале ледостава. При этом прогностические уравнения, установленные для ряда заторных участков рек Печоры, Северной Двины, Лены и Амура (табл. 2 и 3) имеют следующий вид:

$$H_{зтр} = b_0 + b_1 H_{Q_{кр}} + b_2 H_{лгст} \quad (4)$$

/ 1, 2 /.

В качестве меры точности методик обычно используют среднюю квадратическую погрешность прогнозов (S). Критериями принятия какой-либо методики к эксплуатации обычно являются оценка по отношению S/σ_y , рассчитанному по информации, заложенной в процедуру установления прогностической зависимости, и последующая проверка оправдываемости в оперативных условиях. Часто при этом имеет дело с такой ситуацией, когда методика оценивается по значению S/σ_y как "хорошая", а 2 + 3 года проверки на независимом материале дают неудовлетворительные результаты. Численные эксперименты по исследованию вероятностей серий неоправдавшихся прогнозов для методик предсказания максимальных заторных уровней с использованием аппарата теории выбросов временных рядов / 3 / показали, что наиболее вероятной является ситуация, когда за неоправдавшимся прогнозом следует оправдавшийся, однако и серии из двух неудавшихся прогнозов имеют значимые вероятности - от 15 до 25 % (табл. 2). На основании полученных оценок можно сделать вывод, что результаты испытаний в течение 2 + 3 лет - недостаточный аргумент для суждения о качестве разработанной методики прогнозов.

Учитывая изложенное можно предположить, что более содержательной, чем S/σ_y , эмпирической оценкой следует считать отношение $\hat{S}/\sigma_y$, где $\hat{S}$ - средняя квадратическая погрешность, определенная по независимому ряду наблюдений, полученному в процедуре вычисления КПИ. Значение $\hat{S}$ вычисляют по выражению

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (y_i - \sum_{j=1}^{N-1} b_j x_{ji} - b_0)^2}{M - N}} \quad (5)$$

Таблица 2

Характеристики выбросов прогнозных значений $H_{зтр}$ за
уровень допустимой погрешности

Река	Пункт	Вероятность, %		Наиболее вероятное число не- удачных прогнозов, %
		единично- го неоп- равдав- шегося прогноза	серии из двух не- оправдав- шихся прогнозов	
Печора	Усть-Щугор	74,1	19,2	20,4
	Усть-Кожва	63,6	23,1	18,8
Северная Двина	Звоз	80,2	19,0	16,1
	Усть-Пинега	81,5	15,1	17,0
Лена Амур	Мача	75,9	18,3	19,6
	Комсомольск- на-Амуре	67,4	22,0	20,0
	Хабаровск	67,7	21,8	22,6

Таблица 3

Оценки оправдываемости прогнозов максимальных заторных
уровней воды

Река	Пункт	P_m	$\hat{P}_m$	$P_{пр}$	$P_m - P_{пр}$	$\hat{P}_m - P_{пр}$
Печора	Усть-Щугор	80	77	51	29	26
	Усть-Кожва	78	69	54	24	15
Северная Двина	Усть-Пинега	87	80	50	37	30
	Звоз	84	83	43	41	40
Лена Амур	Мача	75	73	55	20	18
	Комсомольск- на-Амуре	75	69	58	17	11
	Хабаровск	72	67	45	27	22

где b_{ji} - j -й коэффициент регрессии для i -го года, x_{ji} - значение j -го предиктанта в i -м году, b_{0i} - свободный член.

В отличие от традиционной (P_m) может быть найдена и новая оценка ($\hat{P}_m$) обеспеченности допустимой погрешности как отношение числа предикторов с погрешностями $\hat{\Delta}_i$, не превышающими допустимую, к общему числу прогнозов (табл. 3).

Наиболее универсальной оценкой надежности прогностического уравнения является величина $\hat{S}/S$.

Предлагаемые критерии качества прогностических уравнений в большей степени характеризуют устойчивость полученных решений и в определенном смысле ориентируют прогнозиста на возможное ухудшение соответствующих оценок при переходе на независимый материал.

Список литературы

1. Бузин В.А., Шаночкин С.В. Прогнозы максимальных заторных уровней воды рек Амура и Уссури. - Труды ГТИ, 1985, вып. 309, с. 44-52.
2. Бузин В.А., Чачина Н.С., Шаночкин С.В. Прогнозы максимальных зазорных и заторных уровней воды рек Северной и Западной Двины. - Труды ГТИ, 1986, вып. 323, с. 19-27.
3. Коган Р.Л., Федорченко Е.И. О применении теории выбросов к исследованию температурных рядов. - Труды ГГО, 1970, вып. 267, с. 86-90.
4. Ляпунова И.Б., Шаночкин С.В. Долгосрочный прогноз продолжительности ледовых явлений и сроков очищения р. Дуная ото льда. - В кн.: Материалы 10-й конф. придунайских стран по гидрологическим прогнозам. Вена, 1979, с. 129-135.
5. Румянцев В.А., Русин С.А. О выборе прогностически информационных предикторов. - Труды ГТИ, 1979, вып. 259, с. 39-47.

**6. ПРОГНОЗ СТОКА НАНОСОВ И РУСЛОВЫХ
ДЕФОРМАЦИЙ**

**VORHERSAGE DER GESCHIEBE - UND
SCHWEBSTOFFFRACHT UND DER
MORPHOLOGISCHEN VERAENDERUNGEN
DES FLUSSBETTES**

184

185

186

187

Prognosemöglichkeiten für den Schwebstoffgehalt der österreichischen Donau

W. Bors

Der Schwebstoffgehalt der österreichischen Donau wird täglich an sieben Entnahmestellen erfaßt und in drei Labors ausgewertet. Es wird versucht, unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen die Möglichkeiten und Grenzen für Prognosen des Schwebstoffgehalts in Abhängigkeit vom Durchfluß darzustellen.

Forecast possibilities for the suspended solids content of the Austrian Danube

The suspended solids content of the Austrian Danube is surveyed daily at seven sampling sites and investigated at three laboratories. The paper deals with the effort describing the possibilities and limits for forecasts of the suspended solids contents depending from discharge and taking into account several restrictions.

1. Allgemeines

Die Problematik der Schwebstoffbelastung der Donau im Zusammenhang mit Sedimentation und Erosion ist seit Jahren Gegenstand kontinuierlicher Messungen, Untersuchungen sowie einer Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten. Es wurde mehrfach versucht, eine allgemeingültige Formel für den Zusammenhang zwischen Schwebstoffbelastung und Durchfluß zu finden.

Ich möchte in meinem Vortrag einen kurzen Einblick in die tägliche Praxis der Schwebstoff-Probenentnahme und deren Auswertung geben, die Vergleichbarkeit der Werte von verschiedenen Entnahmestellen untersuchen und damit aufzeigen, wo die Möglichkeiten aber auch die Grenzen einer Vorhersage liegen.

In Abbildung 1 sind die Jahresganglinien des mittleren täglichen Schwebstoffgehaltes an 6 Stationen aus dem Jahr 1982 dargestellt.

Man sieht hier, daß sich selbst kurze Belastungsspitzen sehr gut über alle Entnahmestellen verfolgen lassen. Es könnte daraus geschlossen werden, daß Art und Dichte der Probenentnahmen repräsentativ genug für weitergehende Untersuchungen sind.

Wir können daraus jedoch nur ersehen, daß die Werte untereinander relativ gute Übereinstimmung zeigen. Dies bedeutet jedoch nicht, daß diese Werte auch in ihrer absoluten Größenordnung richtig sein müssen.

Die Darstellung des Jahres 1982 mit einer Maximalbelastung von rd. 400 mg/l wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit gewählt. Im Hochwasserfall wurden bereits Werte von über 10.000 mg/l festgestellt, was etwa der 20-fachen Darstellungshöhe entsprechen würde.

Nun möchte ich die Art und Weise der Probenentnahmen bei den 7 Stationen entlang der Donau erläutern :

In Abhängigkeit vom jeweiligen Durchfluß werden pro Station täglich bis zu vier Wasserproben entnommen. Das Entnahmevolumen beträgt dabei 1 Liter je Probe.

Die Aussagekraft einer einzelnen Wasserprobe für den gesamten Flußquerschnitt hängt natürlich in großem Maße von der Wahl der Entnahmestelle und von der Durchführung der Probenziehung ab.

Üblicherweise erfolgt die Entnahme in einer Entfernung von rd. 4 m vom Ufer im strömenden Wasser, bei Hochwasser werden die Proben von Brücken oder aus den Wehrfeldern der Kraftwerke entnommen, um möglichst repräsentative Werte in Bereichen mit hoher Turbulenz zu erhalten.

Eine Verdichtung der Probenentnahmen - horizontal und vertikal über den Flußquerschnitt verteilt - wäre sicherlich wertvoll, ist jedoch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit derzeit nicht realisierbar.

In Anbetracht der relativ geringen Probendichte und der Entnahmemenge von nur 1 Liter ist es eigentlich erstaunlich, daß die Werte in ihrer Größenordnung entlang der Donau so gut übereinstimmen.

2. Jahresreihe 1970 - 1987

Die Tabelle 1 enthält einige signifikante Werte der Jahresreihe 1970 - 1987.

Der Verlauf der Jahresmittelwerte des Schwebstoffgehaltes reicht von 45 mg/l in Engelhartszell bis 30 mg/l in Bad Deutsch-Altenburg. Mit Ausnahme der Station Wallsee, die ein bis heute ungeklärtes Defizit gegenüber den Nachbarstationen aufweist, ist im allgemeinen eine nahezu kontinuierliche Abnahme der Schwebstoffbelastung mit zunehmendem Einzugsgebiet zu erkennen. Die Standardabweichung der einzelnen Jahreswerte zeigt eine ähnliche Tendenz.

Beim Vergleich von 2 jeweils benachbarten Stationen können die Korrelationskoeffizienten mit Werten von 0.81 bis 0.97 als zufriedenstellend bezeichnet werden.

Der Mittelwert aller Stationen liegt bei rd. 33 mg/l.

STATION	MITTEL [mg/l]	SIGMA [mg/l]	DELTA [mg/l]	KORR. [-]
ENGELHARTSZELL	45	± 22.6		
ASCHACH	35	± 22.8	- 10	0.90
LINZ	36	± 20.8	+ 1	0.97
ABWINDEN	31	± 14.9	- 5	0.84
WALLSEE	(22)	± 14.1	(- 9)	0.81
YBBS	33	± 18.5	(+ 11)	0.96
BAD D.-ALTENBURG	30	± 10.0	- 3	0.85

Tabelle 1 : Jahresmittel des Schwebstoffgehaltes
der Reihe 1970-1987

Auffallend ist die Differenz zwischen Engelhartzell und Aschach. Dieses Defizit an Schwebstoffgehalt ist ein Hinweis auf die Verlandung des Stauraumes Aschach.

3. Schwebstoffgehalt in Abhängigkeit vom Durchfluß

Die Abbildung 2 zeigt am Beispiel der Stationen Aschach und Bad Deutsch-Altenburg die Relation zwischen dem mittleren täglichen Schwebstoffgehalt und den entsprechenden Durchflußwerten an über 2500 Tagen der Jahresreihe 1982 - 1988.

Als Einheit in Richtung der Abszisse wurde die Abflußspende q [$l/s/km^2$] gewählt, um den Einfluß der Vergrößerung des Einzugsgebietes beim Vergleich der beiden Stationen auszuschalten.

Für die Ordinate wurde die logarithmische Teilung gewählt, da die Werte des Schwebstoffgehaltes mit steigendem Durchfluß progressiv zunehmen.

Die Werte des Schwebstoffgehaltes liegen zwischen minimal 0 bis 2 mg/l bei Niederwagger und 13.000 mg/l (Höchstwert, beobachtet in Aschach, HW 1985), und umfassen somit einen Bereich von rd. 4 Zehnerpotenzen. Die entsprechende Schwankungsbreite des Durchflusses beträgt hingegen nur etwa eine Zehnerpotenz.

Der Minimalwert von 2 mg/l wurde als unterster Schwellwert entsprechend der möglichen Auswertegenauigkeit im Labor festgelegt. Die starke Linearisierung im Bereich bis etwa 10 mg/l ist darauf zurückzuführen, daß nur ganzzahlige Werte berücksichtigt werden, was im logarithmischen Maßstab zu einer balkenartigen Darstellung führt.

Betreffend die Prognosemöglichkeiten ist zu erkennen, daß eine Mindest-Schwebstoffbelastung in Abhängigkeit von der Abflußspende angegeben werden kann, die mit wenigen Ausnahmen nicht unterschritten wird. Ebenso kann - allerdings mit geringerer Signifikanz - eine maximale Schwebstoffbelastung angegeben werden.

Es sollen hier mit Absicht keine Formeln und keine Parameter vorgestellt werden, da die Tangenten bei den verschiedenen Stationen unterschiedliche Gradienten annehmen können. Die wesentlich flacheren Tangenten in Bad Deutsch Altenburg sind ein Ausdruck der geringeren Streuung von $\pm 10 \text{ mg/l}$ gegenüber Aschach mit $\pm 23 \text{ mg/l}$.

Gerade im Hochwasserfall, wo die genaue Kenntnis der Schwebstoffbelastung von größtem Interesse wäre, muß im Bereich einer Belastung von 1000 mg/l mit einer Bandbreite von etwa einer Zehnerpotenz gerechnet werden. Bei Niederwasser kann die Belastung zwischen 0 und 30 mg/l betragen.

Die großen Bandbreiten des Schwebstoffgehaltes bei gleichen Durchflüssen entstehen bekanntlich durch lokale oder kleinregionale extreme Niederschlagsereignisse die zwar zum Gesamtabfluß der Donau wenig beitragen, wobei es aber durch Abschwemmungen oder Muren zu starken Schwebstoffbelastungen kommt.

Besonders signifikant ist hier die Ausbildung der typischen Hysteresis-Schleifen zu erkennen. Beim Anstieg des Hochwassers steigt die Schwebstoffbelastung stark an, beim Abklingen der Welle nimmt sie erst mit einer Verzögerung von einigen Tagen ab. Vor allem im Jahr 1987 kam es im Bereich von Wasserführungen um $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ zu Schwebstoffbelastungen, die weit über der Tangente der maximalen Belastung liegen.

Es wäre daher vorstellbar, daß für eine genauere Prognose des Schwebstoffgehaltes die Art und Weise sowie die Verteilung der Niederschlagstätigkeit im Einzugsgebiet herangezogen werden müßte.

4. Zusammenfassung

Wenn eine ausreichend genaue Durchflußprognose vorliegt, kann die zu erwartende Schwebstoffbelastung innerhalb einer gewissen Bandbreite abgeschätzt werden.

Eine exakt definierte mathematische Funktion wird uns jedoch wahrscheinlich nie zur Verfügung stehen.

Anschrift des Verfassers :

Oberrat Dipl.-Ing. Wolfram Bors,

Wasserstraßendirektion , 1030 Wien, Hetzgasse 2

SCHWEBSTOFFGEHALT in mg/l 1982

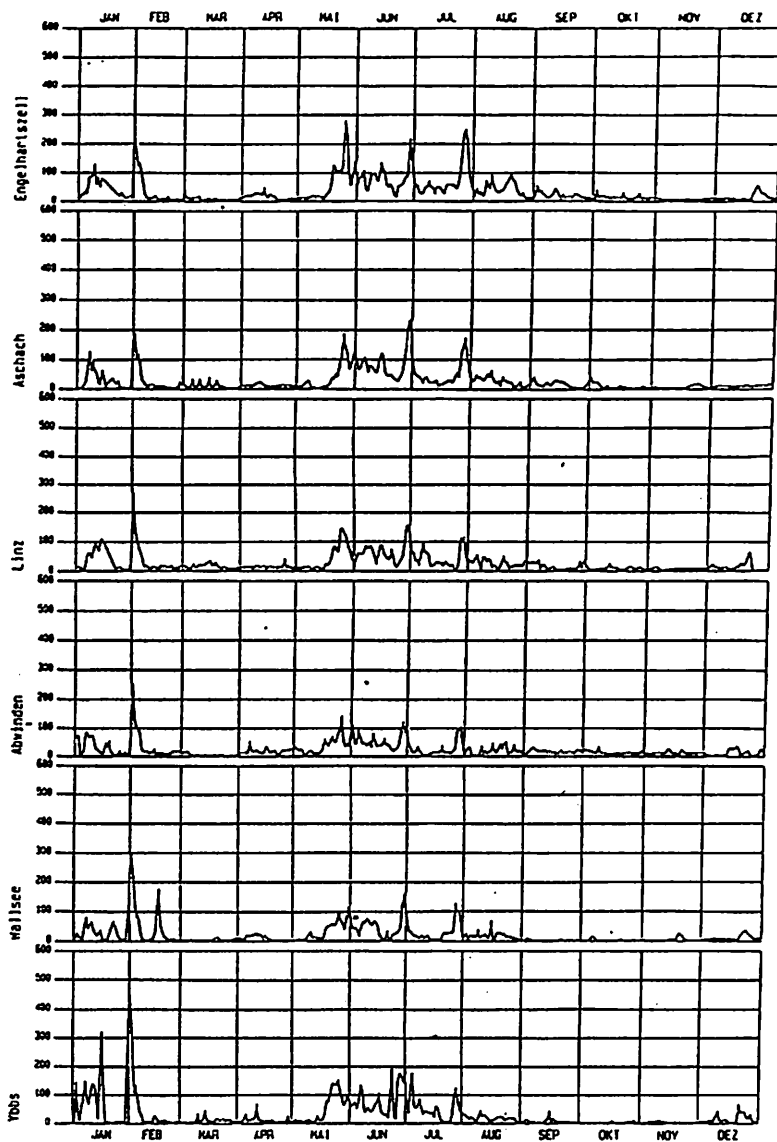
Wasserstraßendirektion
Abteilung Hydrographie

ABB. 1 : Jahresganglinien des täglichen mittleren
Schwebstoffgehaltes im Jahr 1982
(Wasserstraßendirektion, 1988)

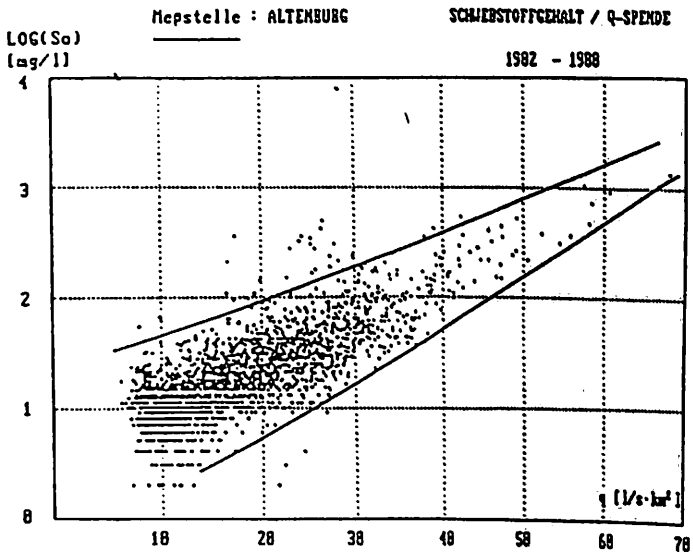
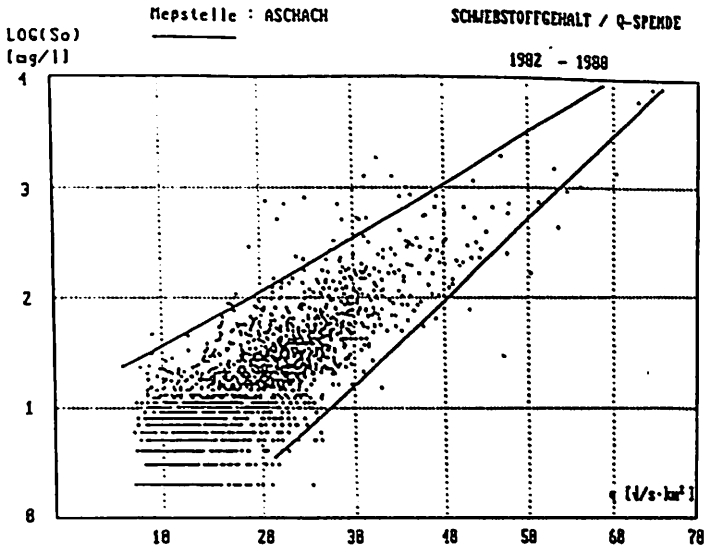


ABB. 2 : Schwebstoffgehalt in Abhängigkeit von der Abflußspende (Reihe 1982-1987)

Vorgehensweise zur Prognose flußmorphologischer Veränderungen der Donau zwischen Straubing und Vilshofen

Dr. B. Söhngen, G. Loy, J. Kellermann

Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstr. 17, D-7500 Karlsruhe, BRD

Kurzfassung

Der zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse bereits erfolgte und zukünftig geplante Donauausbau zwischen Straubing und Vilshofen wird das Flußregime weiter verändern. Dies erfordert die Prognose zukünftiger Bettveränderungen und die Dimensionierung von Erosionsschutzmaßnahmen. Die hierzu verwendete Vorgehensweise wird aufgezeigt. Erste Ergebnisse zur historischen Bettentwicklung, zur Geologie und Sedimentologie, insbesondere zur Höhenlage der Tertiäroberfläche und von Felsschwellen, zur Sohlbeanspruchung und zum Erosionswiderstand der bestehenden Donaushole, werden vorgestellt, sowie ein probabilistischer Ansatz zur Abschätzung der Unsicherheit prognostizierter, zukünftiger Sohlhöhenänderungen.

Method to Predict Morphological Changes of the Danube between Straubing and Vilshofen

Summary

Existing and future river-development between Straubing and Vilshofen to improve navigation will increase changes of the river regime. This needs prediction of future river bed changes and design of protections against erosion. With regard to that, methods used herein and first results, concerning history of river bed evolution, geology and sedimentology (in particular the surface of tertiary layer and rock outcrops), bed shear stresses and resistance of the existing bed against erosion will be presented, also a probabilistic approach to estimate uncertainty in forecasting future morphological changes.

Ausgangssituation

Die Donau ist zwischen Straubing und Vilshofen (km 2319-2248, Bild 1) auf eine Tiefe von 2,0 m unter RNW¹⁾ (1,7 m werden derzeit vorgehalten) und eine Breite von im Mittel 70 m²⁾ niedrigwasserreguliert /3/. Nach Öffnung des Main-Donau-Kanals (Anfang der 90er Jahre) mit einem Ausbaustandard von 2,8 m Tiefe unter ENR³⁾ für die Strecke unterhalb Regensburg und 100 m Regelbreite⁴⁾ und nach Fertigstellung der Staustufe Straubing (ca. 1995, /1/) wird der o.g., ca. 70 km lange Stromabschnitt mit dem bedeutenden Hafen Deggendorf im Zentrum (km 2285) zu einem Schifffahrtssengpaß, der weitere Ausbaumaßnahmen erfordert.

Problemstellung

Durch den Staustufenausbau oberstrom und den u. a. zur Sohlstabilisierung vorangetriebenen Isarausbau (Bild 2) wird sich die durch Mittelwasserkorrektur (Laufverkürzung) und Niedrigwasserregulierung (Querschnitteinengung) schon heute bereichsweise vorliegende Erosionstendenz⁵⁾ verstärken. Dabei ergibt sich der größte Einfluß auf das Flußregime durch den nachlassenden Geschiebeeintrag aus

- 1) Regulierungs-Niedrigwasserstand, Überschreitung an 89 % der eisfreien Tage
- 2) Örtliche Minderbreiten u.a. am Isarschüttkegel (40 m) oder in der Kurvenstrecke unterhalb Straubing zwingen dort zu einschiffigem Verkehr (Status quo)
- 3) Etage navigable et de régularisation, Überschreitung an 94 %, eisfreie Tage
- 4) Empfehlungen der Donau-Kommission: Begegnung und Überholung von 4er-Schubverbänden mit max. 185 m Länge und 22,8 m Breite
- 5) Derzeit geringe Erosionstendenz oberhalb der Isarmündung (morphologische Kontrolle durch Schüttkegel, Gefälleknick von ca. 0,1 auf 0,3 o/oo, Bild 7)

der Isar⁶⁾ (km 2282). Er wirkt sich zunächst auf den Flußabschnitt unterhalb der Isarmündung aus, dann wegen des Abbaus des Isarschüttkegels und der dadurch nachlassenden Rückstauwirkung (vgl. 2)) auch auf den Bereich oberstrom (/1/, Bild 2). Langzeitfolgen sind u. a. die Beeinträchtigung der Schifffahrt, der Anlieger und der Ökologie durch Absinken der Wasserspiegellagen, insbesondere wenn die Erosion zu einem Sohldurchschlag in die wenig stabilen, tertiären Sedimente führt (Bild 6) und durch Konzentration der Gefälle an Felsschwellen. Der weitere Ausbau der Donau im Projektgebiet ist deshalb nicht nur aus Gründen der Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse, sondern zum Teil auch zur wirksamen Verhinderung von Erosionsfolgeschäden angezeigt /3/.

Aufgabenstellung

Die Ausbauplanung wird von einer flußmorphologischen Studie begleitet. Dabei müssen zur Lösung der Erosionsproblematik folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie groß sind die maximal möglichen Erosionstiefen, bis durch Gefällereduktion und Abpflasterung eine Selbststabilisierung eintritt?
- Mit welcher Geschwindigkeit wird sich die Sohle eintiefen? Wieviel Zeit verbleibt also, bis eine Sanierung erfolgen muß?
- Erfolgt ein flächenhafter Sohldurchschlag in den Tertiär und mit welchen Maßnahmen kann er wirksam verhindert werden?
- Welche Ausbaumaßnahmen sind zum Erhalt des Status quo und für den Ausbaustandard des Main-Donau-Wasserweges⁴⁾ /3/ aus flußmorphologischer Sicht angezeigt?
- Ist ein flankierender Erosionsschutz auch beim Staustufenausbau erforderlich?

Vorgehensweise

Die Studie gliedert sich in fünf Arbeitsschritte (Bild 3):

- Sichtung bestehender Unterlagen, Voranalyse, Planung weiteres Vorgehen (1987)
 - Erheben von Naturdaten (1988) zur Geologie (Tertiär, Felsen), Sedimentologie (Erosionswiderstand), Hydrologie (Abflußcharakteristik) und zum Geschiebehaushalt (Transportphänomene, 1989)
 - Analyse der historischen Bettentwicklung, des geomorphologischen Befundes und von Wasserspiegellagenberechnungen zum Auffinden erosionsgefährdeter (kritischer) Bereiche (1989, 1990)
 - Simulation des Geschiebetransportes (Schweb ist nicht bettbildend) zum Studium des Langzeit-Erosionsverhaltens (1990) und zur Überprüfung der Wirksamkeit sohlstabilisierender Maßnahmen wie Sohlpanzerung oder Staustufenbau (1991)
 - Aufzeigen verschiedener Erosionsschutzalternativen und Dimensionierung der zugehörigen Maßnahmen; Berücksichtigung der Belange von Schifffahrt und Ökologie in Zusammenarbeit mit dem Planer und weiteren Gutachtern (1990, 1991)
- Über die dabei verwendeten Analysemethoden (hist. Bettentwicklung, geomorphologischer Befund, Wasserspiegellagenberechnungen, Geschiebetransportmodell (Bild 3)), sowie über ein probabilistisches Konzept zur Abschätzung des Unsicherheitsbereiches berechneter Sohlhöhenänderungen wird im folgenden kurz berichtet.

Historische Bettentwicklung

Die Randlage der Donau zum Bayerischen Wald fixierte seit dem Ende des Pliozän den Donaulauf im Projektgebiet /4/. Während der Eiszeiten hat sie sich in die tertiären Sedimente eingetieft (Bild 6). Die Erosion wurde dabei durch vereinzelt Felsschwellen begrenzt. Diese glaziale Erosionsrinne gibt einen Eindruck vom zukünftigen Zustand der Donaushole, wenn sie nicht gegen Sohlangriff geschützt wird. Die Rinne wurde im Quartär mit Kiesen aufgefüllt, dem derzeitigen Donaubett. Die um die Jahrhundertwende abgeschlossene Isarkorrektion erhöhte die Geschiebefracht der Isar und führte durch die Vergrößerung des Schüttkegels zum weiteren Aufstau im Bereich des Naturhafens Deggendorf, der für die Folgezeit zu 6) ca. 50000 m³/Jahr, größter Geschiebelieferant der Donau im Projektgebiet

einer "Geschiebefalle" wurde. Kiesentnahmen für die Bauwirtschaft, insbesondere nach dem 2. Weltkrieg, Donaukorrektur und Niedrigwasserregulierung führten zu einem noch weiter gestörten Flußregime, wie die Wasserstandsganglinie für den Abfluß ENR am Pegel Deggendorf veranschaulicht (Bild 4). Erst seit 1970 ist durch die Veränderung der Baggerstrategie (keine Netto-Geschiebeentnahmen) eine weitgehende Stabilisierung eingetreten. Hierfür liegen zuverlässige Peildaten vor. Für den Zeitraum von 1970 bis 1985 wurde deshalb abschnittsweise eine Bilanz des nach unterstrom abtransportierten Geschiebes⁷⁾, der Kiesentnahmen, des Abriebes und der Sohlhöhenänderungen⁸⁾ erstellt, um nach der an der oberen Abschnittsgrenze eingetragenen Geschiebemenge auflösen zu können. Der so erhaltene Geschiebetransport-Längsschnitt zeigt (vgl. /2/), daß oberhalb der Isarmündung erheblich weniger Geschiebe transportiert wird, als unterhalb (vgl. 6)). Die so gewonnenen Daten werden u. a. zur Eichung des Transportmodells verwendet.

Geomorphologischer Befund

Zur Bodenerkundung wurden zunächst kombinierte Flußbohrungen und Rammsondierungen⁹⁾ durchgeführt (Abstand ca. 7 km). Vibrationsbohrungen¹⁰⁾ (Abstand ca. 2 km, 2 - 3 Proben/Querprofil) erhöhten die Aufschlußdichte, insbesondere für das quartäre Material. Mit einem reflexionsselismischen Verfahren¹¹⁾ wurde anschließend ein kontinuierliches Tiefenprofil erstellt. Um örtliche Fehlinterpretationen (Fels/Tertiär) auszuschließen und um zu überprüfen, ob Felshorizonte einen Querriegel bilden können (Felschwellen = Erosionsbasis, vgl. Bild 6) wurden Rammsondierungen (Abstand ca. 1,5 km, schwere Rammsonde) durchgeführt. Weiter konnten Aufschlüsse aus Grundwassermeßstellen, Bohrungen an Hochwasserschutzdämmen oder von Brücken ausgewertet werden. Sämtliche Informationen wurden in Raumkoordinaten in ein digitales Modell eingebracht. Durch Kriging wurden Zwischenwerte interpoliert und in Form von Isolinen, räumlichen Oberflächenplots (Bild 5) sowie Quer- und Längsprofilen (Bild 6) dargestellt. Aus den Darstellungen ist u. a. erkennbar, daß die Quartärauflage in Krümmungskolken bereits abgetragen ist. Von oberstrom nachgeführtes Geschiebe, die Bildung einer dünnen Abpflasterungsschicht auf der freigelegten Tertiäroberfläche¹²⁾, der Bau von Grundschwellen in der Mühlhamer Schleife (km 2270) und die räumliche Begrenzung der Kolke haben bisher einen flächenhaften Sohl durchschlag verhindert. Die Sohl aufschlüsse wurden ergänzt durch Schürfe¹²⁾, um neben den Kornverteilungen (KV) der quartären Ablagerungen (Unterschicht) insbesondere mögliche Abpflasterungen der Deckschicht erkennen zu können. Der geomorphologische Befund liefert u. a. Eingangsdaten für die Ermittlung des Widerstandes der Sohle gegen Erosion, für das Transportmodell (Schichtenfolgen, Kornverteilungskurven) und dient direkt dem Auffinden optimaler Staustufenpositionen aus flußmorphologischer Sicht.

Wasserspiegellagenberechnungen

Durch Berücksichtigung der Querschnittsreduktion und Rauheitswirkung von Buhnen und Leitwerken, Vorländern und Bewuchszonen in einem querschnittsdetaillierten, eindimensionalen Strömungsmodell wurden mittlere Sohlschubspannungen im transportwirksamen Flußbett berechnet (Bild 7). Geeicht wurde anhand von Wasserspiegelfixierungen, Geschwindigkeitsprofilen an Abflußmeßstellen, in Buhnenfeldern und Altarmen sowie den Meßlotrechten der Geschiebetransportmessungen. Die Sohl-

7) Annahme: kein Geschiebetransport über den Stauraum Kachlet hinaus

8) Aus Echolotpeilungen, Problem: Verlandung in Buhnenfeldern

9) Eichung der Rammprotokolle zur Unterscheidung: Quartär, Tertiär, Fels

10) Bohrgerät steht unter Wasser auf der Gewässersohle, Bohrkernlänge max. 2 m

11) Schallquelle und Hydrophon schwimmen auf dem Wasser, vom Schiff geschleppt

12) Sohlprobenentnahmen mit einem Grabgreifer, Tiefe 0,2 m, Aufschlußdichte ca. 1 km, 2 - 3 Proben pro Querschnitt, d_m vgl. Bild 7 (Bereichsmittel)

beanspruchungen werden dem Erosionswiderstand gegenübergestellt (Bild 7). Es zeigt sich, daß die Sohle oberhalb der Isarmündung derzeit noch weitgehend stabil ist, unterhalb der Isarmündung jedoch schon ab Mittelwasser bewegt wird¹³⁾. Entsprechende Berechnungen werden für relevante, künftige Szenarien (Abbau Isarschüttkegel, Staustufenvarianten) durchgeführt, um die Sohlstabilität zu überprüfen und Erosionsschutzmaßnahmen zu dimensionieren.

Geschiebetransportmodell

Für die Erosion tertiärer, also bindiger Böden, stehen derzeit keine zuverlässigen Modelle zur Verfügung. Die vorliegende Studie beschränkt sich deshalb auf die Erosion der quartären Kiese, bis ein flächenhafter Sohl durchschlag erfolgt¹⁴⁾. Dazu sind der örtliche Geschiebetrieb als Funktion des Abflusses und der "Vorgeschichte", die Kornverteilungen von transportiertem und Sohlenmaterial und die zugehörigen, transportwirksamen Sohlschubspannungen zu erfassen. Es wurden kombinierte Messungen des Geschiebetriebes (Helley-Smith-Geschiebefänger¹⁵⁾), der sohlennahen Geschwindigkeitsverteilung¹⁵⁾ und des Sohlenlängsprofils (Transportkörper), bei gleichzeitiger Sohlprobenentnahme¹³⁾ an insgesamt 3 Meßstellen (Donau, Isar) für bisher drei verschiedene Abflüsse im Bereich MW - MHW durchgeführt (Stand 3/90). Es zeigte sich, daß die Donausohle im Bereich des größten Geschiebetriebes von Transportkörpern bedeckt ist, bestehend meist aus Mittel- bis Grobkies. Die größten Transportkörperhöhen treten bei Abflüssen zwischen NW und MW auf (Bild 8). Die Höhe bestimmt die Dicke der "aktiven Sohle" und damit u.a. für den Zeitmaßstab der Bildung von Abpflasterungsschichten. Bei kleinen Überschußschubspannungen ist das transportierte Material signifikant kleiner als das Sohlenmaterial (Fähigkeit zur Abpflasterung). Bei Hochwasser ist der Unterschied wesentlich geringer (Bild 9)¹⁶⁾. Die Erosionstiefen werden mit einem eindimensionalen, numerischen Transportmodell¹⁷⁾ (instationär, querschnittsdetailiert für Schubspannungsverteilung) durchgeführt. Es verwendet das mixing-layer-Konzept zur Berücksichtigung verschiedener Sohlschichten und der Abpflasterung. Erste Ergebnisse an einem schematisierten Datensatz bestätigen die o.g. Einschätzungen zur zeitlichen Abfolge der Erosion unter- und oberhalb der Isarmündung.

Probabilistisches Konzept

Die Prognose der morphologischen Veränderungen ist neben diverser Annahmen, z. B. bezüglich anthropogener Eingriffe in das Flußregime u. a. von der Ungewißheit zukünftiger Abflüsse, insbesondere Hochwässer abhängig. Wegen der begrenzten Aufschlußdichte sind u. a. auch die für das Erosionsverhalten maßgebenden Kornverteilungskurven der Sohlensedimente mit Unsicherheiten behaftet. Des Weiteren sind die Modellansätze, z. B. zur Größe des Geschiebetransportes, fehlerbehaftet. Zur Berücksichtigung dieser Einflüsse werden mehrere, gleich wahrscheinliche, hydrologische (generierte Abflußzeitreihen, vgl. 17/), sowie im Streubereich variierte geomorphologische und hydraulische Datensätze erstellt und zufällig miteinander kombiniert, mit denen dann die morphologische Entwicklung prognostiziert wird. Die verschiedenen Ergebnisse werden anschließend statistisch ausgewertet (Abschätzung der Unsicherheitspanne).

- 13) KV Unterschichtmaterial aus Schürfe und Bohrungen, Mittel über Querschnitt (Krümmungseinfluß) und charakteristische Abschnitte (Erhöhung Probenvolumen)
- 14) Annahme: Im Rahmen der Unterhaltungsmaßnahmen werden lokale Kolkbildungen mit Kies verfüllt. Diese Voraussetzung liegt auf der unsicheren Seite und soll in einer Folgestudie zur Erosion in den Tertiär aufgehoben werden!
- 15) Erfordert zeit- und räumliche Auflösung während einer Messung, um Auf- und Abschwellen des Transportes und der Sohlschubspannungen zu erfassen
- 16) Berechnung derzeit mit Meyer-Peter, exposure-correction nach Egiazaroff /6/
- 17) SEDICOU, Iowa Inst. of Hydr. Research / Laboratoire d'Hydr. de France /5/

Literaturverzeichnis

- /1/ Söhngen, B. "Auswirkungen des Donauausbaus auf die Flußmorphologie"; Technischer Bericht Nr. 40, Inst. für Wasserbau, TH Darmstadt, 1988
- /2/ Bauer, F. "Der Geschiebehaushalt der Bayerischen Donau im Wandel wasserbaulicher Maßnahmen"; Wasserwirtschaft Heft 5, 5, 1965
- /3/ Ertl, W. "Die Donau zwischen Kelheim und Jochenstein ..."; Mitt.Nr. 60, Deutscher Kanal- und Schifffahrtsverein, RMD, Nürnberg, 4/89
- /4/ Ruthe, E. "Rhein-Main-Donau, Wie, Wann, Warum Sie wurden, eine geologische Geschichte"; Jan Thorbecke-Verlag, Sigmaringen, 1987
- /5/ Rahuel, et al. "Modelling of Riverbed Evolution for Bedload Sediment Mixtures"; J. Hydr. Eng., Vol 115, No. 11, 11/89
- /6/ Ribberink, J.S. "Mathematical modelling of one-dimensional morphological changes ..."; Comm. on Hydr. and Geotechn. Eng., Rep.No. 87-2
- /7/ Kron, W., Ihringer, J., Plate, E.J. "Generierung von gleichzeitigen Abflußganglinien für Donau und Isar"; XV. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Varna, X/90

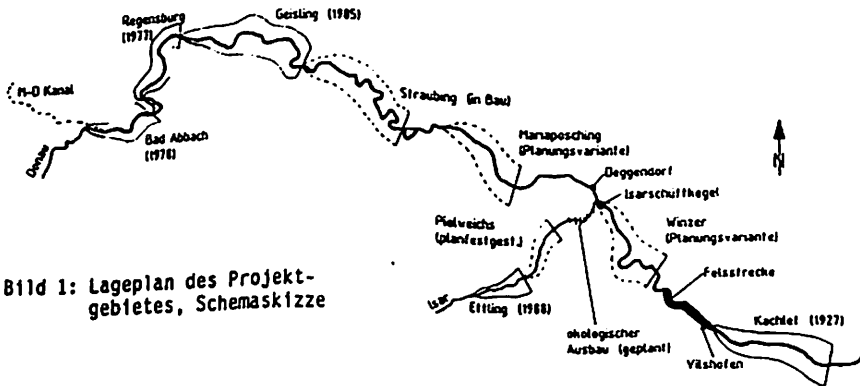


Bild 1: Lageplan des Projektgebietes, Schemaskizze

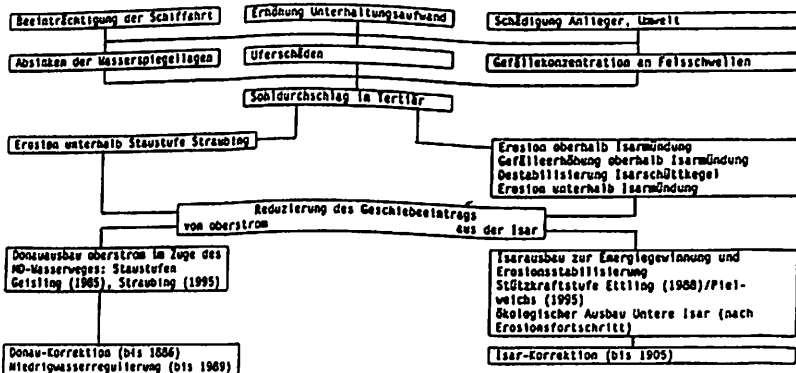


Bild 2: Flußmorphologische Veränderungen und zugehörige Konsequenzen, wenn im Bereich Straubing-Vilshofen zunächst kein weiterer Ausbau erfolgt

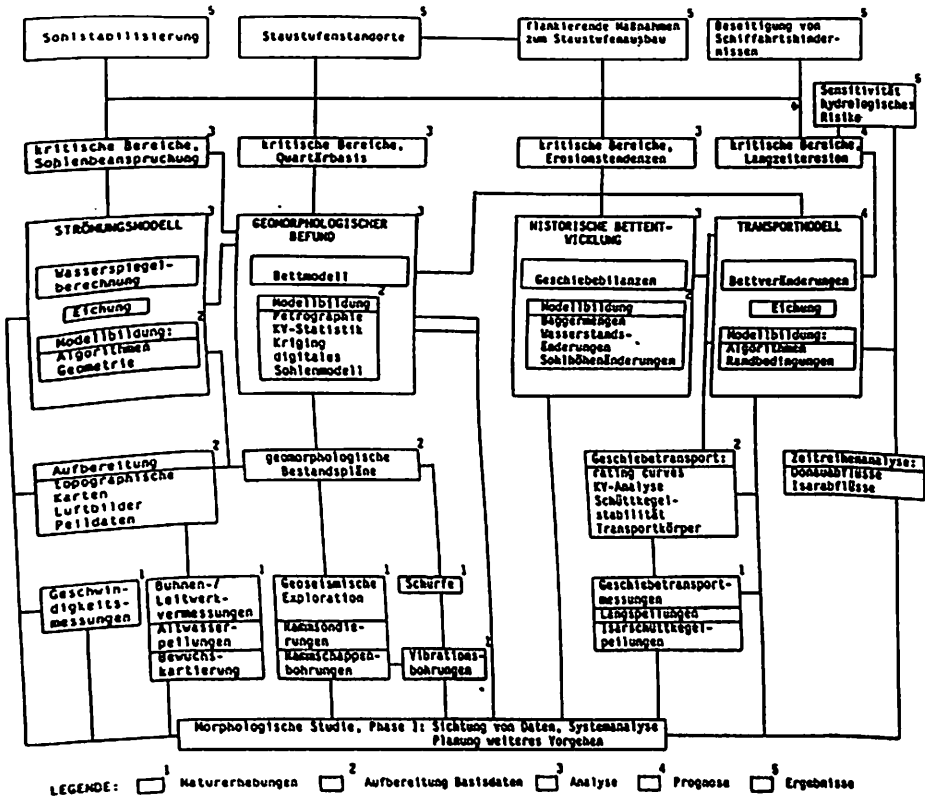


Bild 3: Strukturdiagramm zur Vorgehensweise

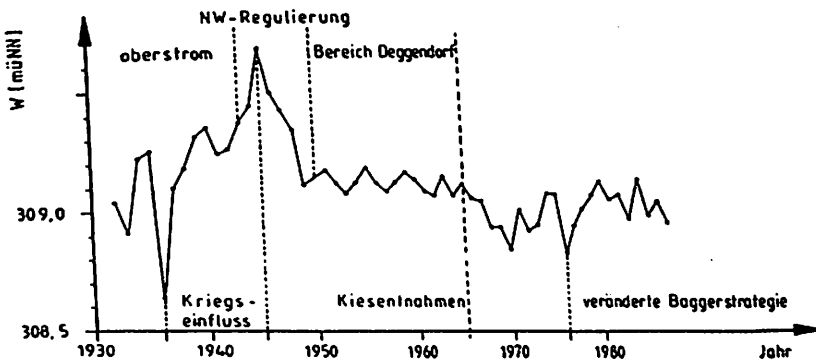


Bild 4: Wasserstände am Pegel Deggendorf für den Referenzabfluß 199 m³/s (ca. ENR), abgeleitet aus NW/NQ, MW/MQ, HW/HQ-Wertepaaren

Bild 5: 3-D-Plot der Tertiäroberfläche zwischen der Staustufe Straubing (km 2324.1, links) und Waltendorf (km 2300.9, rechts)

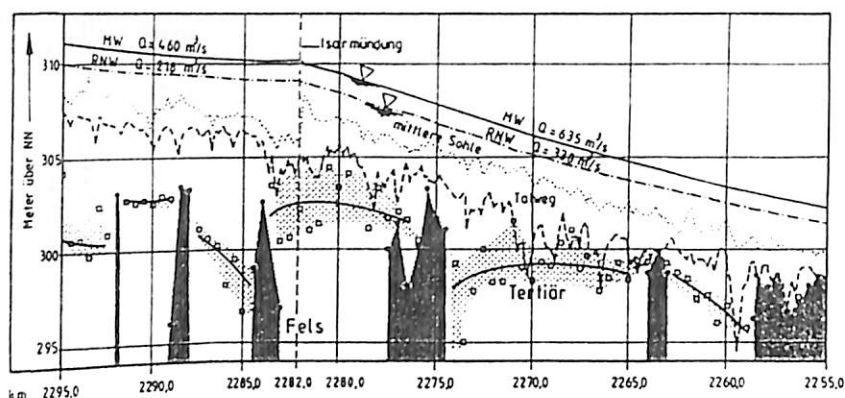
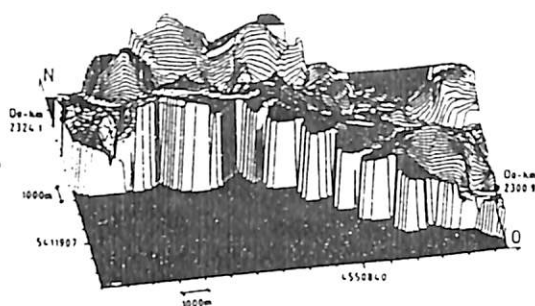


Bild 6: Geomorphologischer Längsschnitt der Donau (Flußachse) zwischen Metten (km 2290) und Pleinting (km 2255)

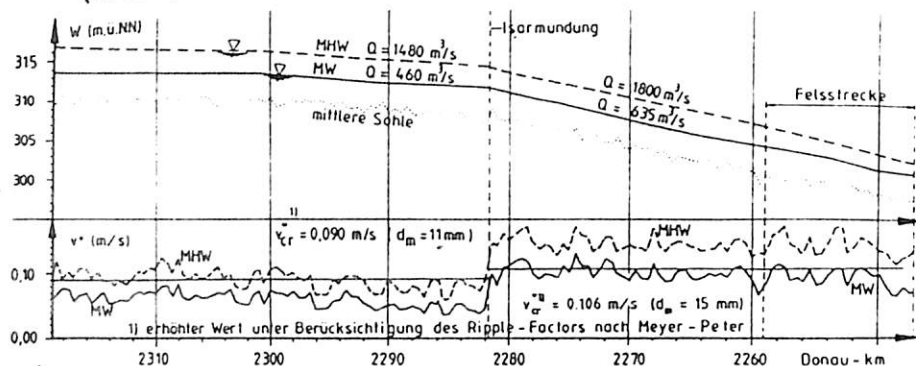


Bild 7: Hydr. Längsschnitt, Status quo: Wasserstände, berechnete Schubspannungsgeschwindigkeit v^* des transportwirksamen Flußbettes (zwischen Bühnen-Leitwerks-Streichlinien bzw. Uferböschungen), Grenzwert für Bewegungsbeginn v_{cr}^* nach Meyer-Peter ($\theta_{cr} = 0.047$ des Unterschichtmaterials¹³⁾)

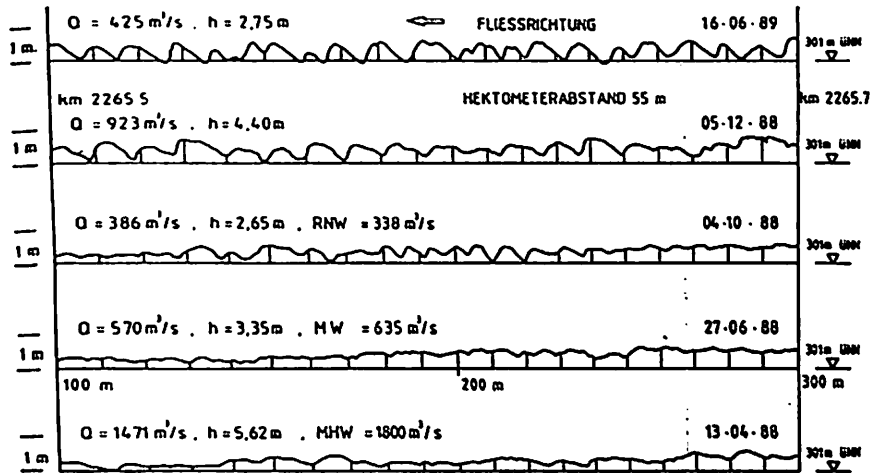


Bild 8: Längspeilungen (Donau-km 2265,5 - 2265,7) bei verschiedenen Abflüssen im Zeitraum zwischen 4/88 und 6/89 (Transportkörpermateriale, $d_m = 21 \text{ mm}$)

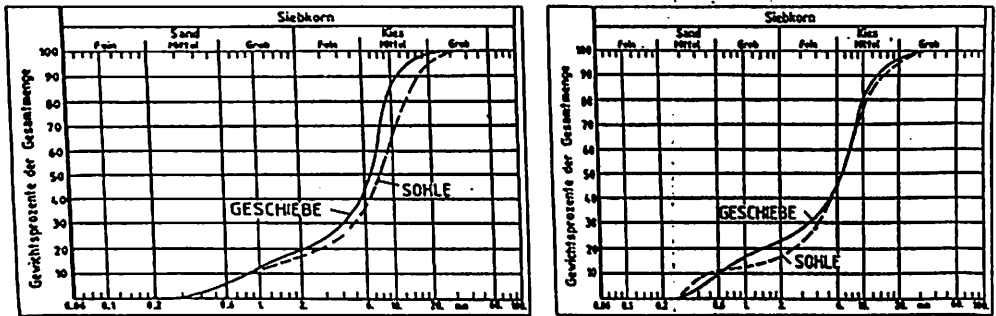


Bild 9: Kornverteilungskurven von transportiertem und Sohlen- (Unterschicht-) Material, Pegel Hofkirchen (km 2257), Hektometerabstand 155 m, $Q = 747 \text{ m}^3/\text{s}$ (links), $1023 \text{ m}^3/\text{s}$ (rechts)

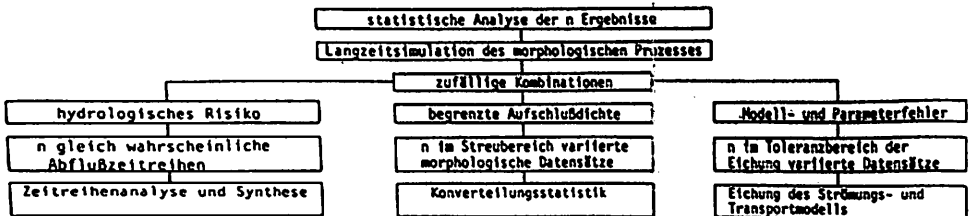


Bild 10: Schemaskizze zum probabilistischen Konzept

VORHERSAGE MORPHOLOGISCHER ENTWICKLUNGSTENDENZEN IN GESTAUTEN FLUSSABSCHNITTEN

B. Westrich, J.-M. Ham
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, BRD

Kurzfassung

Die Sedimentation in gestauten Fließstrecken wird durch den Aufstau, die Form des Stauraumes sowie durch die Art und Intensität des Feststofftransportes bestimmt. Durch jahreszeitliche Abfluß- und Transportschwankungen kommt es zu Sedimentum- und Überlagerungen innerhalb des Stauraumes. Mit Kenntnis des Strömungsfeldes sind bereits wichtige qualitative Aussagen über den Verlandungsprozeß möglich. Anhand ausgewählter Beispiele wird der Zusammenhang zwischen Strömung und Sedimentationsstruktur aufgezeigt und interpretiert. Physikalische Modelle und mathematisch numerische Transportmodelle sind begrenzt prognosefähig. Naturmessungen sind von zentraler Bedeutung für eine Vorhersage.

Summary

River reservoir sedimentation strongly depends on the water level rise, the size and shape of the reservoir and the sediment input. The seasonal variation of discharge and sediment inflow causes erosion, sedimentation, mixing and stratification of sediments. Knowing the flow field, the sedimentation pattern can be qualitatively described. Physical and mathematical models are useful tools for short term prediction of sedimentation. Reliable field data are necessary for any predictions.

1. Hydrologische und hydraulische Randbedingungen

Der Aufstau eines Fließgewässers stellt einen starken Eingriff in den Feststoffhaushalt dar, der sich in einer Sohlauhebung im Stauabschnitt selbst sowie in einer Sohleintiefung im Unterwasser langfristig bemerkbar macht. Für die Planung und Sanierung von Flußstaurecken sowie für die Beurteilung langfristiger morphologischer Veränderungen sind modellgestützte Vorhersagen unverzichtbar. Eine Quantifizierung von Verlandungsprozessen gestaltet sich jedoch schwierig, da einerseits stochastische Randbedingungen bezüglich Zufluß und Feststoffzufuhr vorliegen und andererseits die strömungsmechanische Beschreibung der Sedimentation noch lückenhaft ist. Die ungestörten Abfluß- und Transportverhältnisse stellen wichtige Eingangsdaten dar, die aus Naturmessungen hinreichend genau bekannt sein müssen. Insbesondere Transportdaten sind meist nicht verfügbar. Im Gegensatz zu Geschiebematerialien werden suspendierten Schwebstoffe sehr weit in den Stauraum getragen und nur teilweise sedimentiert. Da letztere quantitativ meist überwiegen, kommt dem Transportverhalten der Schwebstoffe, den Konsolidierungs- und Resuspensionsbedingungen, direkte Bedeutung beim Verlandungsprozeß zu. Für feine Schwebstoffe ($d < 0,20$ mm) existieren nur wenige anwendungsreife Modellansätze. Selbst bei relativ genauer Kenntnis des Feststoffeintrags in die Staustrecke ist eine Abschätzung der jährlichen Verlandung auch bei einfacher Geometrie des Stauraumes wegen des korngößenabhängigen Transportverhaltens der Sedimente schwierig und mit großen Unsicherheiten behaftet. Die selektive Sedimentation, die zu einer Veränderung des Korngößenspektrums der Schwebstoffe führt, ist nur unzureichend, erfaßbar. Die konventionelle Annahme eines konstanten mittleren Korndurchmessers führt zur Fehleinschätzung der Verlandung.

Bewirtschaftungspläne für Stauräume, Maßnahmen zur Verringerung der Verlandung, Freihaltung der Schiffsahrtsrinne und Überwachung der Sedimentqualität erfordern neben einer quantitativen Gesamtfeststoffbilanz eine nach Ort und Zeit differenzierte Beschreibung des Sedimentationsprozesses. Hierfür werden Instrumentarien benötigt, die eine entsprechende quantitative Aussage über die räumliche Verteilung der Sedimentations- und Erosionsraten, Korngößen und Schwebstoffkonzentrationen und die zeitliche Entwicklung der Verlandung ermöglichen.

2. Möglichkeiten einer Vorhersage

Für detaillierte, ingenieurwissenschaftliche Aussagen ist ein kombiniertes hydrologisch-hydraulisches bzw. stochastisch-deterministisches Modell zweckmäßig. Für die Beschreibung des Transportvorgangs stehen zwei alternative, gegebenenfalls auch komplementär einsetzbare Lösungsmethoden zur Verfügung: mathematisch numerische Transportmodelle und physikalische Modelle. Diese Modelle dienen als Übertragungsfunktion für den Feststofftransport zwischen Ein- und Ausgang der Staustrecke. Für kurz- und mittelfristige Prognosen können Abfluß- und Transportdauerlinien als erste Näherung angesetzt werden. Langzeitsimulationen für Verlandungsprozesse sind nur sporadisch erprobt (z.B. Plate u.a., 1981). Der morphologische Gleichgewichtszustand einer Staustrecke kann nur ungenau prognostiziert werden. Da Wasser- und Feststoffführung nur schwach korreliert sind und zeitabhängige Konsolidierungseffekte auftreten, sind die oft gravierenden Auswirkungen von größeren Hochwasserabflüssen auf die Feststoffbilanz nur unsicher vorhersagbar. Dies bedeutet unter anderem, daß auch die Angabe von Höchstwasserständen beim Durchgang eines Hochwassers wegen der schlecht kalkulierbaren räumlichen und zeitlichen Veränderungen des Sohl-niveaus mit Unsicherheiten behaftet ist.

Eine Gegenüberstellung von physikalischen Flußmodellen und mathematisch-numerischen Transportmodellen ist im Hinblick auf ausgewählte Vergleichskriterien in Bild 1 in vereinfachter Form qualitativ dargestellt. Hervorzuheben ist hierbei, daß physikalische Modelle in der Regel nicht quantifizierbare Ähnlichkeitsdefekte aufweisen und prinzipiell nur auf Feststoffe ohne merklichen Einfluß von Oberflächenkräften ($d > \text{ca. } 20 \mu\text{m}$) anwendbar sind. Für mathematisch numerische Transportmodelle liegen die Schwierigkeiten in der Annahme geeigneter semiempirischer Transportformeln bzw. Erosions- und Sedimentationsterme, mit Anpassung freier Parameter. Die Qualität der zur Modellierung benötigten Naturdaten sowie die Qualifikation des Modellbetreibers ist stets mitentscheidend für die Aussagefähigkeit der rechnerischen bzw. experimentellen Ergebnisse.

Aufgrund der genannten Schwierigkeiten sind regelmäßige flächendeckende Sohlpeilungen zur Überwachung der morphologischen Veränderungen innerhalb des Stauraums und gegebenenfalls Messungen von Transportgrößen im Zulauf und Ablauf unabdingbare Voraussetzung für eine zuverlässige Beurteilung der aktuellen Situation und tendenzieller Entwicklungen. Diese Daten sind unverzichtbarer Bestandteil zur Überprüfung von rechnerischen Prognosen und zur Korrektur von Modellparametern.

2. Stauraumtypen und Sedimentationsstruktur

Bei Eingriffen in den Feststoffhaushalt eines Fließgewässers sind als dominante Störfaktoren zu nennen: Verringerung der Fließgeschwindigkeit, Veränderung der Fließquerschnitte, Reststauwirkung des Absperrbauwerkes bei Hochwasser, Intensität des Schiffsverkehrs. Die quantitativen und qualitativen Auswirkungen hängen außerdem von der Art und Intensität des ungestörten Feststofftransports und den Qualitätseigenschaften der Sedimente ab. Durch den Aufstau werden die tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten nicht nur reduziert, sondern auch deren laterale Verteilung innerhalb des Querschnittes qualitativ verändert. Bei Kenntnis der veränderten Fließgeschwindigkeiten und der Zusammensetzung der Feststoffe können bereits wichtige qualitative Aussagen über das flächenhafte Sedimentationsbild gemacht werden.

In Bild 2 sind die wichtigsten Grundtypen gestauter Fließgewässer dargestellt und der Zusammenhang zwischen den tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten und der Konzentrationsverteilung der Schwebstoffe skizziert. Während geradlinige Staustrecken im wesentlichen eine longitudinale Entwicklung der Verlandung aufzeigen, tritt bei Fließstrecken mit Bühnenfeldern bereits eine sehr starke laterale Differenzierung des Transportgeschehens auf. Bühnenfelder wirken je nach Größe und Form als Schwebstofffallen und beeinflussen somit nicht nur die Feststoffbilanz sondern nachweislich auch die Wasserqualität (Schmidt, 1983). Insbesondere bei kleinen Querschnittsverhältnissen (Fluß/Schiffskörper) erweist sich der Schiffsverkehr durch

das Zusammenwirken von welleninduzierter Querströmung und antriebsbedingter Strömungsturbulenz als Beschleunigungsfaktor für die Verlandung der Bühnenfelder (Westrich, 1988). Die durch den Schiffsantrieb produzierte turbulente Energie pro Zeit- und Längeneinheit ($N_s \tau/T$, mit τ/T als Verweilzeitfaktor) kann bis zu zwei Zehnerpotenzen größer sein als die insgesamt durch die Sohlreibung erzeugte ($\rho g Q J_s$) Turbulenzenergie. Dies führt zu erhöhten Schwebstoffkonzentrationen im Flußschlauch und begünstigt die Verschlammung der ufernahen Stillgewässerzonen.

Beim Überstauen des Mittelwasserbettes entstehen typisch gegliederte Querschnitte mit stark unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten. Im Flußschlauch werden überwiegend Geschiebematerialien abgelagert, während auf das Vorland im wesentlichen nur Schwebstoffe durch turbulente Querdiffusion und Querströmung gelangen können. Aufgrund der meist deutlich geringeren Transportkapazität der Strömung auf dem Vorland tritt dort eine rasche Sedimentation ein mit den höchsten Ablagerungsraten unmittelbar in Nähe des Hauptgerinnes. Die Gradienten der Ablagerung sind im Flußschlauch in longitudinaler Richtung, auf dem Vorland dagegen stark in lateraler Richtung orientiert. Im Laufe der Zeit führt der gleichgerichtete Nettoquertransport zu einer Abschwächung der Interaktion zwischen Flußschlauch und Vorländern, was gleichzeitig mit einer Abnahme des Wasseraustauschs verbunden ist.

Querschnittsaufweitungen oberstrom von Staubauwerken oder überstaute Flußkrümmungen weisen häufig ausgeprägte Flachwassergebiete auf, in denen kleine Strömungsgeschwindigkeiten oder gar Rückströmungen vorhanden sind. Im letztgenannten Fall ist mit einer besonders starken Sedimentation von Schwebstoffen zu rechnen. Bei Stauanlagen mit Kraftwerk und Entlastungswehren treten bei Überschreitung des Ausbaublusses Umlagerungen der Teilabflüsse auf, die zur Resuspension abgelagerter Feinsedimente führen können.

3. Ausgewählte Naturbeispiele

Am Beispiel des Lech (Bild 3) können morphologische Merkmale einer Stau-stufenkette mit ausschließlichm Schwebstoffeintrag studiert und durch eine rechnerische Simulation interpretiert werden. Nach der Eintiefung der Flußsohle und Umlagerung des Grobgeschiebes nach unterstrom beginnt die eigentliche Sedimentation der eingetragenen Schwebstoffe in dem Querschnitt, in dem die Transportkapazität für die mittlere Korngröße d_{50} und die zugehörige Konzentration c erreicht ist. Der Sedimentationskeil erstreckt sich bis zum Staubauwerk. Die Stau-stufen befinden sich seit längerem etwa in einem dynamischen Gleichgewichtszustand. Die Stau-stufe Oberpeiching-Ellgau wurde in einem eindimensionalen, einparametrischen Verlandungsmodell rechnerisch untersucht (Westrich, Müller, 1983). Die Ergebnisse zeigen, daß die Ablagerungen bis zum Querschnitt, in dem die Erosionsgrenze erreicht ist ($\tau_0 = \tau_{crit, p}$) zunehmen und dann allmählich abfallen. Die Ablagerungen werden zunächst vertikal aufgebaut, wobei sich eine weitauslaufende Ablagerungsfront ausbildet. Diese wandert dann in Richtung Staubauwerk, bis schließlich ein quasi-Gleichgewichtszustand erreicht ist.

Eine strömungsbedingte Differenzierung von Feststoffablagerungen kann am Isarstausee Bad Tölz (Bild 4) aufgezeigt werden. In Strommitte liegt ein jahreszeitlich bedingter Wechsel von Erosion und Sedimentation vor. Im Gegensatz hierzu lassen die Korngrößenanalysen der Bohrkerne deutlich erkennen, daß in Ufernähe zufolge der geringeren Fließgeschwindigkeiten nur die Feinstpartikel sedimentieren können (J. Müller, 1987). Die relativ homogene Zusammensetzung der Korngrößen und des Wassergehaltes über das vertikale Bohrprofil hinweg deutet darauf hin, daß die Zonen auch bei größeren Abflüssen kaum einer Erosion unterliegen. Die Korngrößenverteilung steht in engem Zusammenhang mit den rechnerischen Fließgeschwindigkeiten. Zuzufolge der anteiligen Geschiebefracht ist das Mittelwasserbett fast vollständig verlandet und dadurch eine Vergleichsmässigung der Fließquerschnitte und -geschwindigkeiten eingetreten. Zur Verbesserung der Kontinuität des Feststofftransports soll künftig die Schleppkraft mittlerer Hochwasserabflüsse durch Ausbaggern einer mittigen Rinne gezielt erhöht werden. Die optimale Lage, Form

und Abmessung der Triftrinne wurden mit einem Rechenmodell für ein häßliches Hochwasser mit 300 m³/s und eine Staulegung von 2 m ermittelt.

Literaturangaben:

- /1/Armanini, di Silvio: Diskussion "A Depth-Integrated Model for Suspended Sediment Transport", by Galopatti and Vreugdenhill, IAHR Journal, Vol. 24, 1986
- /2/Plate, Ihringer, Treiber: "Ein Simulationsmodell für die Berechnung der Speicher-Verlandung", Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 1981
- /3/Schmidt: "Gewässerbiologie und Stoffhaushalt des Main", Regierung Unterfranken, Bayr. Landesamt für Wasserwirtschaft München, 1983 1983 (unveröffentlicht)
- /4/J. Möller: "Sedimentologische Untersuchungen an Bohrkernen aus dem Isarstausee Bad Tölz", Lehrstuhl für Allgemeine-, Angewandte- und Ingenieurgeologie, TU München, Garching, 1989 (unveröffentlicht)
- /5/Westrich, Möller, P.: "Numerical Modelling of Morphological Change of a River Bed Due to Barrages", XX-th Congress of Internat. Assoc. Hydr. Res., Vol. II, Moskau, 1983; 428-442
- /6/Westrich: "Effect of Transverse and Longitudinal Dykes on Sedimentation and Water Quality in Navigation Channels", Intern. Conf. on Fluvial Hydraulics, Budapest, 1988; 213-218
- /7/Westrich: "Fluvialer Feststofftransport - Auswirkung auf die Morphologie und Bedeutung für die Gewässergüte", Oldenbourg Verlag, 1988

Vergleichskriterien	Physikalisches Modell	Numerisches Modell
<u>Untersuchungsgebiet</u>	durch Labor und Maßstab limitiert	nicht limitiert
<u>Auflösungsvermögen</u>		
räumlich	abhängig vom Maßstab kleiner als Transport-	abhängig von Dimensionalität und Diskretisierung größer als Anpassungsläng nach /1/
zeitlich	turbulente Kurzzeitschwankungen	instationäre Langzeitschwankungen
<u>Ähnlichkeitsdefekte</u>	maßstabs- und problemabhängig bei Überhöhung stets vorhanden	keine
<u>Stauraumverlandung</u> Geschiebe	Ähnlichkeitskriterien nahezu erfüllbar	Transportformel
Schwebstoffe	Ähnlichkeitskriterien lückenhaft und nur teilweise verifiziert	Transportformel bzw. Transportgleichung mit Randbedingung an Gewässersohle
wash load, partikuläre Stoffträger	keine allgemeingültigen Ähnlichkeitskriterien	experimentelle oder empirische Ansätze: Erosion, Sedimentation
<u>Spezifische Effekte</u> Kohäsion Konsolidierung Biologische Einflüsse	prinzipiell nicht maßstabsgerecht erfaßbar	einzelne, experimentelle oder empirische Ansätze

Bild 1: Vergleichende Gegenüberstellungen von physikalischen und numerischen Modellen bei Verlandungsproblemen in Fließgewässern.

GEWÄSSERTYP	STROMUNGSKONFIGURATION	BEMERKUNG
Geradlinige Staustrecken		Longitudinales Verlandungsprofil, (z.B. Neckar, Main, Mosel)
Bühnenstrecken		Verstärkte Sedimentation in den Bühnenfeldern (z. B. Rhein, Main)
Flußschlauch mit Vorland		Vorländer stark verlandungsgefährdet (z.B. Lech, Isar, Inn)
Querschnittsaufweitung am Staubeauwerk		Rückströmgebiet stark verlandungsgefährdet (z.B. Rhein bei Iffezheim)
Flußkrümmungen		Auflandung am Innenufer (z.B. Baldey-See)

Bild 2: Staurationstypen und Sedimentationsbild

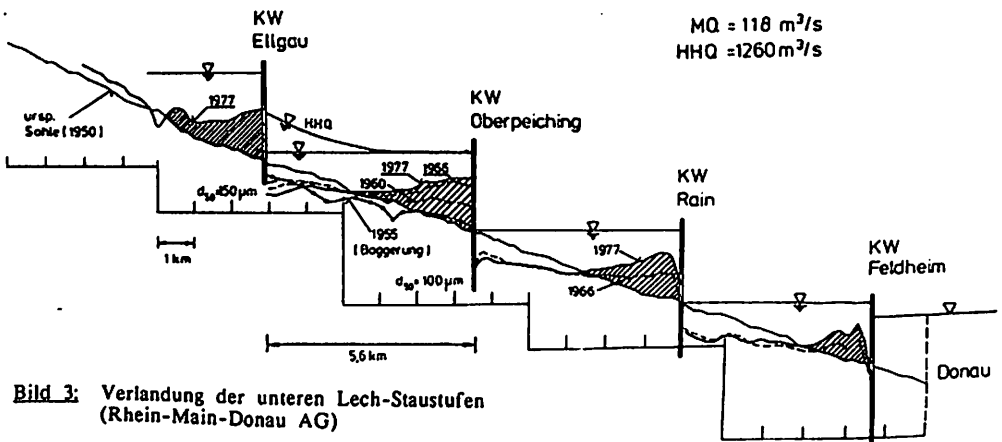


Bild 3: Verlandung der unteren Lech-Staustufen (Rhein-Main-Donau AG)

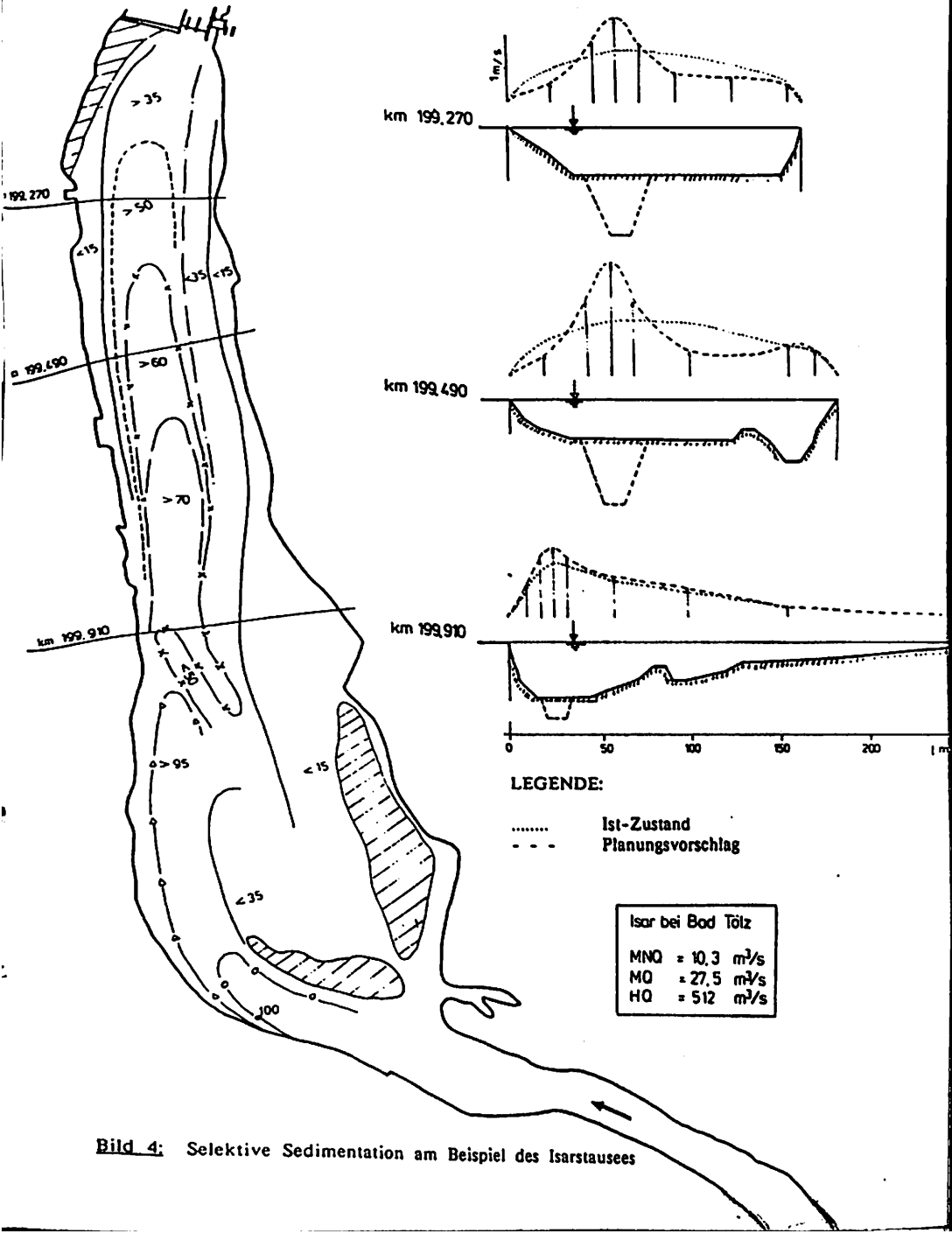


Bild 4: Selektive Sedimentation am Beispiel des Isarstausees

ПУТИ ПРОГНОЗА ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА РЕКАХ БАСЕЙНА ДУНАЯ

Б.Ф.Снищенко, Д.В.Снищенко

Государственный гидрологический институт

Ленинград, СССР

Резюме

По материалам космического фотографирования анализируется направление перестройки речной сети бассейна Дуная. Предлагается организовать международную экспедицию для изучения и прогноза процесса перестройки этой сети.

Forecasting of hydromorphological situation on rivers
of the Danube basin

Abstract

Transformation of the river network in the Danube basin is analysed from the data of satellite surveys. It is proposed to organize an international field team to study and predict the process of this network transformation.

Ретроспективные и современные гидроморфологические характеристики русел и пойм рек являются необходимым условием прогнозирования не только русловых деформаций, но и выполнения водных, ледовых, гидрохимических, экологических прогнозов на водотоках речной сети бассейна.

Гидроморфологические характеристики водотоков бассейна Дуная начали заметно меняться с началом вырубki лесов на водосборах и за последовавшей затем распахкой земель. Этот процесс существенно усилился к настоящему времени. Связан он с общим изменением или с внутригодовой изменчивостью определяющих руслоформирующих факторов, т.е. совокупности характеристик жидкого стока, твердого стока и ограничивающих условий. Колебания

отмеченных характеристик определяются как многолетней климатической цикличностью, так и антропогенной деятельностью на водосборах, в поймах и руслах рек.

Разновременные космические телевизионные изображения показывают, что речная сеть бассейна Дуная перестраивается, причем, в порядке уменьшения интенсивности перестройки водотоки располагаются следующим образом: самые малые, малые; средние и, наконец, большие реки.

Поскольку самые малые и малые реки составляют более 90 % всех рек бассейна (более 200 тыс. рек) и ими формируется не менее 50 % общего жидкого и твердого стока, то роль этой группы рек становится решающей в перестройке средних рек и самого Дуная.

Вырубка лесов и распашка земель началась на равнинных территориях бассейна Дуная несколько тысячелетий тому назад. Тот факт, что именно эти виды деятельности привели к перестройке речной сети бассейна, подтверждают современные примеры подобной деятельности и подобных последствий, происходящие в бассейнах некоторых рек активно осваиваемых территорий СССР.

Вырубка лесов на водосборах вызывает возрастание максимальных расходов воды в весенний период, что, в свою очередь, ведет к увеличению размеров русел и излучин на меандрирующих реках и расширению пойм. Следующая затем распашка земель на водосборах приводит к перенасыщению потоков и русел наносами, к прекращению меандрирования (к отказу от меандрирования), к выпрямлению русел при наличии пойм.

Космические материалы показывают, что распашка земель в бассейне Дуная началась в долинах притоков и самой реки. Прямым подтверждением резкого увеличения поступления наносов в русла рек (как следствия распашки) являются два обстоятельства: образование и развитие дельты Дуная и преобразование меандрирующих русел в прямолинейные.

Дельта Дуная представляет собой, судя по космическим снимкам, относительно молодое аккумулятивное образование, насчитывающее несколько тысячелетий. Ни одна из рек, впадающих в Черное море, не создала подобной выступающей дельты. Ее интенсивному наращиванию способствует также перегораживание и ограждение дамбами рукавов и протоков поймы Дуная. На снимках видно,

что правая, выступающая часть дельты является более старым образованием, чем левая, формирующаяся в последний исторический период.

Основная часть наносов поступала в дельту с бассейна Нижнего Дуная, расположенного ниже Железных Ворот. Космические снимки показывают, что на этом участке река имела обширную пойму, которая несет на себе слабо различимые следы свободно меандрирующего русла древнего Дуная (как впрочем и участок Дуная выше устья Дравы). Современное русло Дуная лишено излучин, выпрямлено и заполнено системами островов. Эти системы островов приводят к чередующимся расширениям и сужениям русла с шагом между ними, составляющим 18–25 км.

При образовании подобных островов происходит смещение всего расширения вниз по реке, а сами острова периодически перемещаются влево и вправо (развитие идет в шахматном порядке). Цикл развития таких островных систем состоит в периодическом приращении островов к берегам реки и отторжении от них.

Судя по снимкам, указанная периодичность развития островных систем нарушена на рассматриваемом участке Дуная антропогенной деятельностью: искусственным перекрытием проток и приращением островов к берегам, застройкой поймы и ее распашкой вплоть до самого уреза воды.

Как правило, при сохранении в естественном состоянии полосы поймы, шириной 1,5–2,0 ширины русла, естественный процесс переформирования островных систем происходит в указанной выше последовательности.

Как и Дунай, его притоки претерпели существенные переформирования в соответствии с периодами антропогенной деятельности в бассейне: сведение лесов, распашка почв, застройка пойм, изъятие жидкого и твердого стока.

На космических снимках видно, что вся равнинная территория водосбора Дуная распахируется под сельскохозяйственные угодья. Не составляют исключения и горные районы: здесь освоены все межгорные понижения и долины рек. Почти для всего водосбора характерно распахивание долин и пойм рек вплоть до урезов воды. Поэтому, как и Дунай, его притоки утратили свое первоначальное, естественное состояние и находятся в той или иной стадии перехода к выпрямленному, беспойменному руслу.

В современный период освоения водосбора отчетливо

просматриваются на снимках продолжающиеся отторжение и застройка пойм, мероприятия по изъятию жидкого стока, мероприятия по изъятию аллювия (карьеры), перегораживание рек плотинами. Типичным примером воздействия всех этапов антропогенной деятельности на перестройку русла реки является р. Арджеш. Ее эволюция ярко описал Т. Сорин в докладе на XI Дунайской конференции (Бухарест, 1982 г.). Следует отметить, что в бассейне имеется немало рек, режим которых близок к естественному состоянию. Такова, например, р. Сава. Очевидно, сохранение правобережных лесных массивов сдерживает процесс перестройки этой реки, не смотря на интенсивную антропогенную деятельность на ее левобережье.

Таким образом, можно полагать, что реки бассейна Дуная, в основном, вышли из состояния динамического (среднестатистического) равновесия и находятся на разных стадиях перехода к зарегулированным, беспойменным руслам.

Также вполне очевидно, что состояние рек бассейна требует разработки единых принципов защиты, сохранения или восстановления рек бассейна, которые должны касаться оптимизации антропогенной деятельности как на водосборах, так и в руслах и поймах рек.

Современные тенденции развития международных отношений позволяют по-новому подойти к решению этой проблемы и к изучению перестройки гидроморфологических характеристик речной сети Дуная, пересекающего восемь стран Европы. Представляется необходимым и возможным к очередной XVI Конференции подготовить коллективный доклад по оценке состояния гидроморфологической ситуации в бассейне Дуная. Для его подготовки целесообразно организовать Дунайскую международную гидроморфологическую экспедицию (ДМГЭ), которая должна: а) наземным путем обследовать и собрать информацию от истока Дуная до его устья по трем маршрутам - Северному (между левым берегом Дуная и северной границей бассейна), Центральному (по Дунаю), Южному (между правым берегом Дуная и южной границей бассейна); б) собрать и проанализировать необходимую космическую информацию по бассейну Дуная; в) подготовить доклад и предложения.

305
ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Таратунин А.А., Шевельук А.А.

Центральный НИИ комплексного использования водных
ресурсов

Минск, СССР

Резюме

В данной работе представлен опыт использованных материалов аэрокосмических съемок при исследовании русловых процессов для разработки прогноза плановых деформаций русел рек, обоснования мероприятий и инженерных систем защиты по снижению эффекта воздействия размыва русел рек на объекты хозяйственной деятельности.

The application of remote sensing methods for the investigation of stream-channel processes

Abstract

The practice of applying aerospace survey materials for the investigation of stream-channel processes to predict planned channel deformations and substantiate actions and protection systems for diminishing scouring effects on water utilities is presented in this report.

В настоящее время во многих научных и проектных организациях ведутся работы по применению дистанционных методов контроля за процессами происходящими на земле. Отрабатываются все слагаемые контроля за речными бассейнами, процессами происходящими в них, как в естественных условиях, так и под воздействием деятельности человека. Использование аэрокосмической информации в сочетании с компьютерной техникой по разрабатываемым методикам позволит в самое ближайшее время внедрить постоянный контроль (мониторинг) за речными бассейнами.

В представленном докладе рассматриваются вопросы по использованию аэрокосмических съемок для контроля и прогноза за плановыми деформациями русел рек и технико-экономического обоснования инженерной системы защиты по снижению эффекта воздействия плановых деформаций русел на объекты хозяйственной деятельности.

Традиционные методы определения плановых деформаций русел рек основаны на использовании картографических материалов, аэрофотоснимков за различные годы, проведении дополнительных топогра-

фических работ, организации постов наблюдений и т.д. Современный период в исследовании русловых и паводковых процессов характеризуется широким внедрением в практику принципиально отличающихся методов обработки информации – синтезировании изображений на основе многозональных снимков, колоризации черно-белых аэрокосмических снимков и их комплексной обработке. При этом аэрокосмические снимки представляют собой основной источник исходной информации о пространственно-временных связях между элементами рельефа поймы, русла и объектами хозяйственной деятельности. Распознавание этих связей основано на дешифрировании аэрокосмических снимков.

Решение проблем связанных с исследованием русловых процессов с помощью системы обработки видеoinформации производится путем интеграции основных компонент информационного обеспечения: данных дистанционного зондирования; топографических, геоморфологических лопманских карт; табличных данных параметров стока реки; экспертных решений, требований потребителей к выходной информации. Исследование степени информативности аэрокосмических снимков и опытные работы над внедрением системы обработки видеoinформации с использованием персональной ЭВМ выполнены в ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов по трехступенчатой схеме: космические снимки – аэрофотоснимки – данные наземных наблюдений (расходы, уровни в контрольных створах) в момент выполнения аэрокосмических съемок.

Система обработки видеoinформации включает ряд подсистем: ввода, оцифровки, редактирования данных с карт аэрокосмических снимков, таблиц; хранения для поиска, хранения, изменения и редактирования данных; анализа и получения из данных полезной информации, принятия решений по хранению и доступу, и подсистемы вывода для отображения информации в картографической, табличной и графической форме. На рис. 1. показана общая схема системы обработки видеoinформации интегрирующей и обрабатывающей данные различных источников. Для определенной задачи исследования русловых процессов приведем схему (рис. 2.) преобразования исходной информации и получения выходных данных соответствующих критериям пользователей.

Для промежуточного контроля, корректирования автоматизированного процесса дешифрирования, а также обоснования достоверности выходных материалов на рр. Припять, Сухона, Чумыш, Чулым были вы-

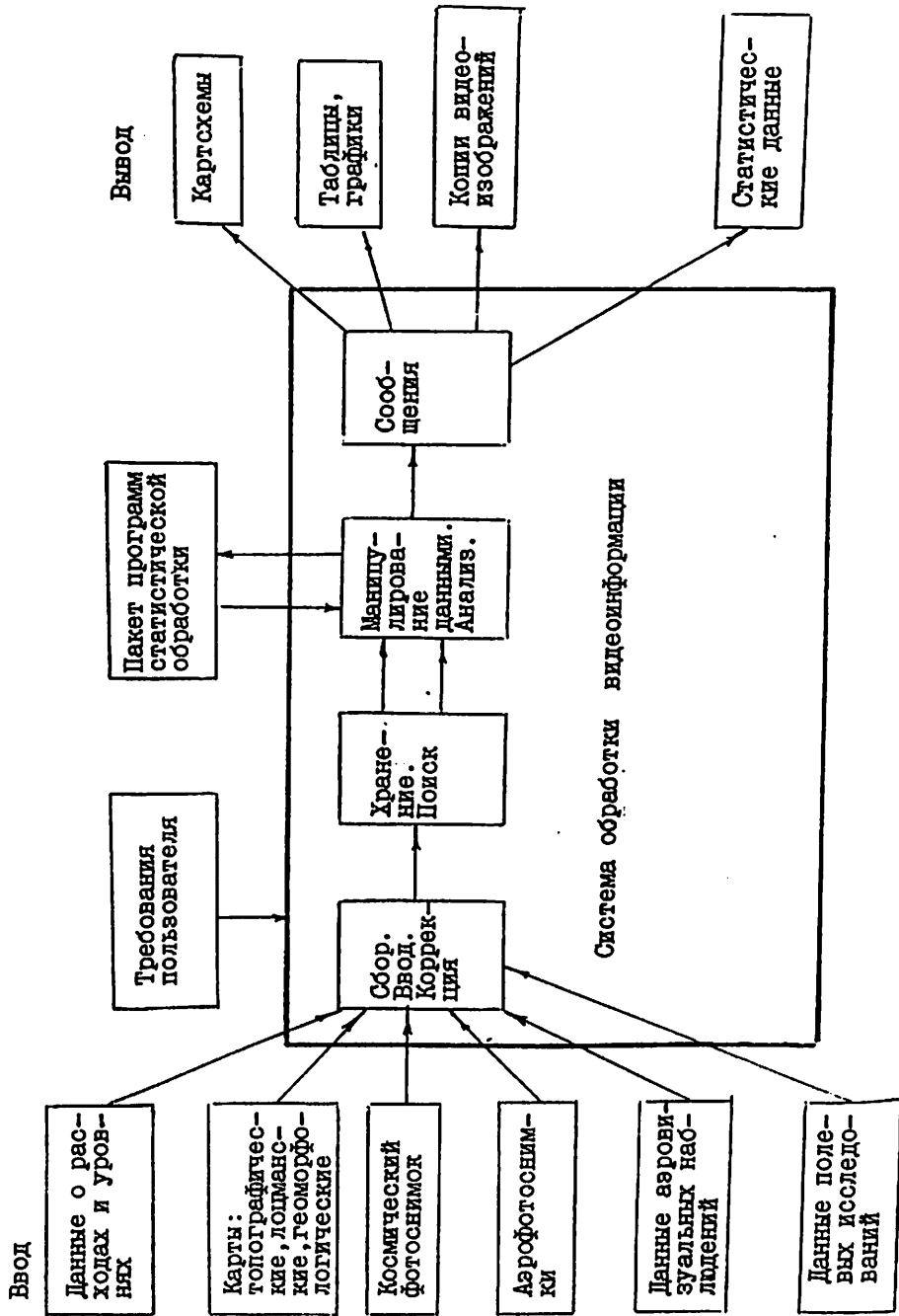


Рис. 1. Общая схема системы обработки видеоинформации

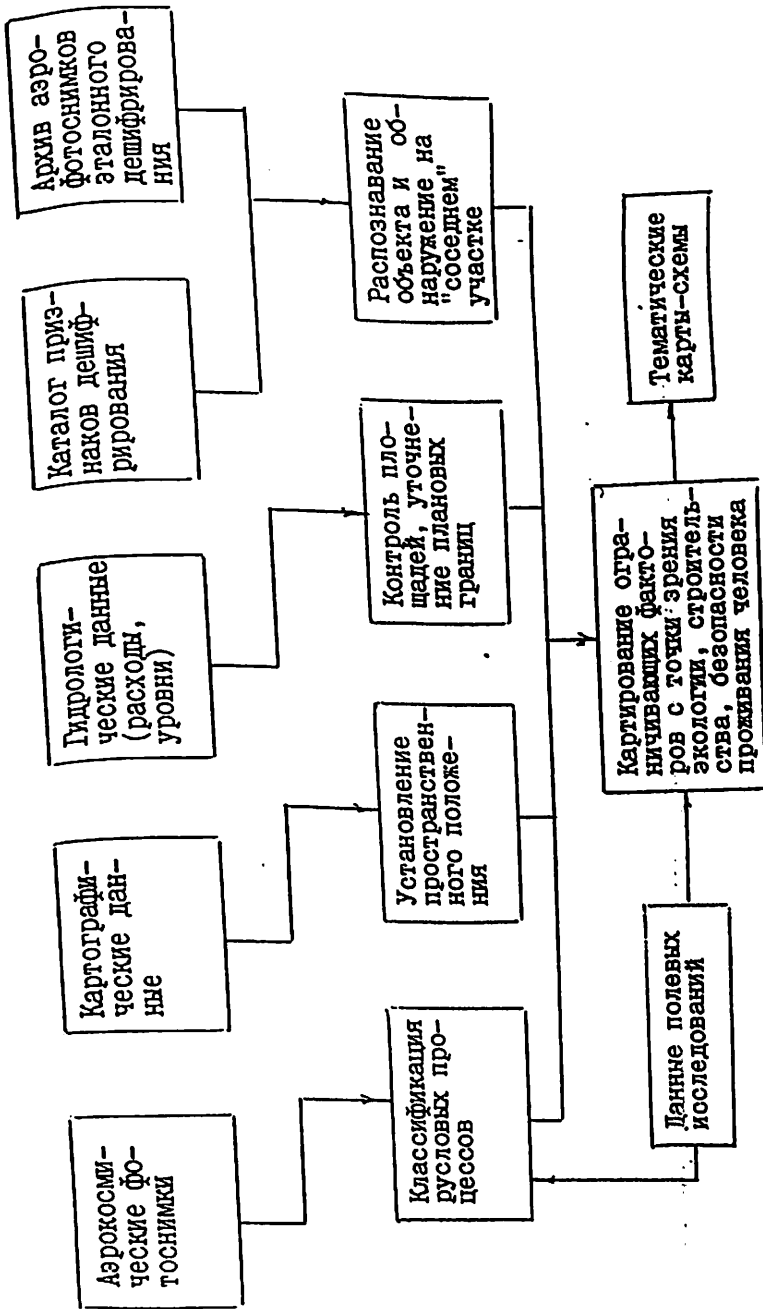


Рис. 2. Схема использования аэрокосмических снимков и наземной информации при решении задач проектирования

делены эталонные участки и по ним с использованием материалов полученных в результате полевых обследований выполнено дешифрирование. В результате эталонного дешифрирования был определен набор признаков дешифрирования, который можно классифицировать по следующим основным группам:

- оптические (плотность тона изображения);
- текстура (рисунок, геометрическая форма фотоизображения);
- действие в пространстве (рассредоточено, сосредоточено, ориентировано);
- действие во времени (непрерывное, квазипериодическое, ограничено во времени);
- количественные;
- растительные индикаторы;
- технологические;
- техническое состояние объектов, его отдельных элементов.

Применяемая при исследовании плановых деформаций русел рек система обработки видеоинформации, включающая персональную ЭВМ /1/ в комплексе с данными эталонного дешифрирования аэрофотоснимков позволяет получать в автоматизированном режиме необходимую для пользователя выходную информацию:

- карты пойменных ландшафтов;
- гидроморфологические картсхемы участков русел рек с данными анализа интенсивности плановых деформаций по створам в зависимости от водности;
- площади, линейные размеры и т.д.;
- таблицы и графики взаимосвязи между площадью затопления, интенсивностью плановых деформаций русел рек и параметрами стока.

Показанный состав выходной информации позволяет с максимальной степенью достоверности по критериям водопользователя получать итоговые карты участков пригодных для строительства, гарантировать безопасность населенных пунктов и инженерных сооружений находящихся в непосредственной близости размываемых участков русел рек.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Берштейн М.Н., Минский Д.Е. и др. Методы автоматизированной обработки аэрокосмических изображений//Рациональное использование водных ресурсов. Вып. I. - М.: Наука, 1984 - с. 62-71.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОГНОЗА ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДЕЛЬТАХ КРУПНЫХ РЕК

В.Н. Михайлов

Московский государственный университет

Москва, СССР

Резюме

Изменениями гидрологического режима и морфологии дельт управляют устьевые гидролого-морфологические процессы, которые включают динамику воды, наносов, дна и берегов. Гидролого-морфологические процессы в дельтах крупных рек обладают изменчивостью разного временного масштаба: долгопериодного (геологического, многолетнего, сезонного) и короткопериодного (синоптического, суточного, полусуточного). Пространственные масштабы процессов тесно связаны с их временными масштабами. Изменения дельт геологического масштаба связаны со сверхдолгопериодными колебаниями уровня Мирового океана и тектоническими движениями. Многолетние изменения дельт, длящиеся от нескольких лет до нескольких столетий, зависят не только от колебаний уровня моря, но и от внутренних процессов динамики гидрографической сети дельты и перераспределения расходов воды и наносов по дельтовым рукавам. Сезонные и краткопериодные изменения режима дельт обычно обратимы и связаны с соответствующими колебаниями стока реки и уровня моря. Методы расчета и прогноза изменений дельт основаны на уравнениях баланса наносов и уравнениях гидравлики, а также на гидролого-морфометрических зависимостях и критериях, разработанных автором. Эти методы применены к некоторым неприливному устьям рек, включая дельту Дуная.

Methods of calculation and forecast of hydrological
and morphological processes in large river deltas

Resume

Changes of hydrological regime and morphology of deltas are controlled by mouth hydrological and morphological processes including water, sediment, bed and bank dynamics. The hydrological and morphological processes in large river deltas have variations of different temporal scales, such as long-term (geological, perennial, seasonal) and short-term (synoptical, diurnal, semi-diurnal). The spatial scales of processes are in close relation to their temporal scales. Changes of deltas of geological scale are connec-

ted with superlong-term changes of ocean level and tectonic movements. Perennial delta changes lasting from several years to several centuries depend not only on sea level variations but also on internal processes of delta hydrographical network dynamics and redistribution of water and sediment discharges among delta branches. Seasonal and short-term changes of delta regime are usually reversal and connected with corresponding river flow and sea level variations. Methods of calculation and prediction of different scale delta changes are based on sediment balance and hydraulic equations, and as well as on hydrological and morphometrical relations and criteria worked out by the author. These methods were applied to some nontidal river mouths including the Danube delta.

Изменения гидрологического режима и морфологии дельт крупных рек, в том числе и Дуная, определяются прежде всего гидролого-морфологическими устьевыми процессами, под которыми понимается взаимосвязанная динамика воды, наносов и рельефа дна и берегов в пределах устьевой области реки [1,4].

Гидролого-морфологические процессы в дельтах крупных рек подвержены изменчивости разного временного масштаба: долгопериодного (геологического, многолетнего, сезонного) и короткопериодного (синоптического, суточного, полусуточного). Пространственный масштаб изменений дельт тесно связан с временным масштабом.

Изменения дельт геологического масштаба связаны прежде всего со сверхдолгопериодными колебаниями уровня приемного водоема и тектоническими процессами. Для устьев рек на берегах Мирового океана и связанных с ним морей новейший цикл изменения геологического масштаба начался 5-6 тыс. лет тому назад после относительной стабилизации уровня моря при его последнем послеледниковом повышении. В процессе заполнения речными наносами заливов, возникших в результате трансгрессии моря, устья рек проходят три последовательные стадии: бездельтовую, формирования дельты выполнения залива, формирования дельты выдвижения на открытом морском побережье. В зависимости от соотношения стока наносов реки, ширины и глубины морского залива все современные устья рек находятся в одной из этих трех стадий и относятся соответственно к одному из трех типов (бездельтовому, с дельтой выполнения, с дельтой выдвижения). Устья Темзы, Делавэр, Южного Буга, Кулоя относятся к первому типу; Дона, Днепра, Оби, Енисея - ко второму; Дуная, Миссисипи, Хуанхэ, Роны - к третьему.

Расчет изменения дельт геологического масштаба может быть

сделан весьма приближенно и притом лишь для всего устья с использованием уравнения баланса наносов:

$$\Delta W_{\kappa\psi} = W_p \pm W_{\kappa} - W_{\Gamma\lambda}, \quad (I)$$

где $\Delta W_{\kappa\psi}$ - изменение объема конуса выноса реки за интервал времени Δt , W_p - сток взвешенных и влекомых наносов реки, W_{κ} - поступление (или унос) наносов с вдольбереговым потоком под воздействием морского волнения, $W_{\Gamma\lambda}$ - унос наносов (в основном мелких) на большие глубины за пределы конуса выноса. Для дельт крупных рек (Дуная, Миссисипи) и для больших интервалов времени на долю W_p приходится от 60 до 95% изменения объема конуса выноса (обозначим эту долю через K).

Объем конуса выноса выразим простой геометрической формулой $\Delta W_{\kappa\psi} = B_{\psi} h_{\psi} \Delta \mathcal{L}$, где B_{ψ} - средняя ширина зоны отложения (ширина залива или взморья), h_{ψ} - средняя глубина в зоне отложения наносов, $\Delta \mathcal{L}$ - величина выдвигания дельты в море за интервал времени Δt . Тогда величина выдвигания дельты в море составит

$$\Delta \mathcal{L} = \frac{K W_p}{B_{\psi} h_{\psi}} = \frac{K R_p \Delta t}{\rho_{отл} B_{\psi} h_{\psi}}, \quad (2)$$

где R_p - средний годовой сток наносов реки в кг, Δt - интервал времени в годах, $\rho_{отл}$ - плотность дельтовых отложений (обычно от 1000 до 1300 кг/м³). Если в процессе формирования дельты уровень моря повысился на величину ΔH , то вместо (2) получим

$$\Delta \mathcal{L} = \frac{K R_p \Delta t}{\rho_{отл} B_{\psi} (h_{\psi} + \Delta H)}. \quad (3)$$

При увеличении B_{ψ} , h_{ψ} и ΔH величина $\Delta \mathcal{L}$ уменьшается. Увеличение стока наносов ведет к увеличению $\Delta \mathcal{L}$.

Прогноз изменений дельт геологического масштаба возможен лишь вариантно с учетом различных сценариев естественных и антропогенных изменений климата и стока рек и предположительных тенденций изменения уровня Мирового океана. Очевидно, что повышение уровня приведет к замедлению выдвигания дельт или даже к их деградации.

Многолетние изменения дельт имеют временной масштаб исчисляемый от нескольких лет до сотен лет, и могут рассматриваться как для всей дельты в целом, так и для отдельных ее частей. Причиной таких изменений дельт могут быть: многолетние изменения водности рек, в том числе антропогенные; долгопериодные изменения фонового уровня приемного водоема; внутренние периодические процессы перестройки гидрографической сети дельты.

Расчет и прогноз изменений дельт, связанных с колебаниями стока реки и фонового уровня моря, возможны на основе разработан-

ной автором схемы русловых деформаций на устьевых участках рек [4]. Каждая река с заданным руслоформирующим расходом воды Q_p и соответствующим расходом наносов R_p , стремится сформировать так называемый "выработанный" продольный профиль с "устойчивым" уклоном J_0 , равным $J_0 = k R_p^{0.12} / Q_p^{0.22}$ при мутности воды γ менее 1 кг/м^3 и $J_0 = k R_p^{0.12} / Q_p^{0.22}$ при $\gamma > 1 \text{ кг/м}^3$; здесь $k = 8,28 \cdot 10^{-5}$. Суть метода заключается в сравнении фактического уклона на устьевом участке J и J_0 . Если $J > J_0$, на устьевом участке наблюдается эрозия, если $J < J_0$, - аккумуляция. К увеличению J_0 ведет увеличение R_p и уменьшение Q_p ; к уменьшению J_0 ведет уменьшение R_p и увеличение Q_p . Повышение уровня моря вызывает уменьшение J , понижение уровня моря - в большинстве случаев (при приглубом взморье) - увеличение J .

Расчет и прогноз динамики гидрографической сети дельт основан на гидравлических закономерностях распределения и перераспределения стока воды по рукавам и на методах анализа русловых процессов. При этом могут быть использованы разработанные автором метод гидролого-морфометрических зависимостей и критерии для определения тенденции развития (активизации или отмирания) рукавов дельт [4].

Распределение расходов воды по двум смежным рукавам и подчиняется гидравлическому закону

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}}, \quad (4)$$

где F - модель сопротивления рукава, равный $L n^2 / B^2 h^{1/3}$, где L - длина рукава, B , h , n - его средняя ширина, глубина и коэффициент шероховатости. Очевидно, что естественные или искусственные изменения L , B , h и n влекут за собой изменение соотношения Q_1 / Q_2 (при этом $Q_1 + Q_2 = \text{const}$).

С другой стороны, "устойчивые" значения морфометрических характеристик рукавов зависят от их руслоформирующих расходов воды согласно так называемым гидролого-морфометрическим зависимостям:

$$B_0 = 4,60 Q_p^{1/2} \gamma^{-0.25} \quad \text{и} \quad h_0 = 0,65 Q_p^{1/3} \gamma^{0.16}, \quad (5)$$

где γ - мутность воды в половодье.

Для активизирующихся (размывающихся) рукавов характерны следующие соотношения между фактическими и "устойчивыми" значениями морфометрических характеристик: $B < B_0$, $h > h_0$; для отмирающих (заиляющихся) рукавов - $B > B_0$, $h < h_0$. Эти соотношения, а также критерий $B^{2/3}/h \leq B_0^{2/3}/h_0$ позволяют определять тенденцию

развития рукавов дельты.

Сезонные изменения дельт, связанные с колебаниями стока воды реки и уровня моря, также как и краткопериодные изменения, связанные с прохождением отдельных паводков, но чаще – с приливными или сгонно-нагонными явлениями, в отличие от процессов с большим временным масштабом, как правило, обратимы и не сопровождаются заметными изменениями рельефа дна и берегов. В большинстве случаев расчеты сезонных изменений режима дельт базируются на методах гидравлики. Методы расчета превращаются в методы прогноза, если прогнозируются изменения определяющих факторов: стока воды реки и уровня моря.

Тенденцию изменения режима и морфологии дельт необходимо обязательно учитывать при разработке водохозяйственных мероприятий как в бассейне реки, так и в самой дельте.

Рассмотренные в докладе методики расчета и прогноза применены к дельтам Дуная, Терека, Сулака, Амударьи, Енисея, Лены, Яны, Меконга и др. [4].

Для дельты Дуная [1, 3-5] дан прогноз выдвигания некоторых рукавов в море, выявлена тенденция развития многих рукавов, рассчитаны распределение стока по рукавам и его изменение, дальность распространения нагонов. Фактическая направленность гидролого-морфологических процессов в большинстве случаев подтверждает правильность расчета и прогноза.

Литература

1. Гидрология устьевой области Дуная. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 383 с.
2. Мак-Доуэлл Д.М., О'Коннор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
3. Михайлов В.Н., Багин Н.Ф., Морозов В.Н. Основные закономерности гидрологического режима дельты Дуная и его антропогенных изменений. – Водные ресурсы, 1981, № 6, с. 22-44.
4. Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. Речные дельты. Гидролого-морфологические процессы. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 280 с.
5. Михайлов В.Н., Морозов В.Н., Михайлова М.В., Гранич П.С. Гидрологические процессы в устьевой области Дуная и их возможные изменения. – Водные ресурсы, 1988, № 1, с. 24-32.

VORHERSAGE VON FLUSSBETTVERÄNDERUNGEN AN DER UNGARISCHEN DONAUSTRECKE

L. Rákóczi

Forschungszentrum für Wasserwirtschaft, VITUKI
Budapest, Ungarn

ZUSAMMENFASSUNG

Die Geschiebe- und Schwebstofffracht an der ungarischen Donau-
strecke zeigt in den letzteren Jahrzehnten eine abnehmende Tendenz.
Eine wahrscheinliche Ursache dafür ist die grosse Ablagerung in
den Staubecken der österreichischen Kraftwerkskette. Es wird ge-
zeigt, dass es in Ungarn eine ähnliche verstärkte Sohleintiefungs-
tendenz gibt, wie zwischen Wien und Hainburg. An den meistgebagger-
ten ungarisch-tschechoslowakisch Grenzstrecken ist diese Tendenz
beinahe so gross, wie bei Bratislava. Während der letzteren Jahr-
zenten übertraf das jährliche Volumen des industriellen Baggergu-
tes mehrfach die natürliche Geschiebefracht der Donau.

Unter solchen Umständen ist es schwierig, die zukünftige Bettver-
änderungen zu prognostizieren. Die Strömung strebt nach einer Aus-
gleichung der Sohlunebenheiten, so dass die Vorhersage sowohl die
natürliche "Verpanzerung" der Bettoberfläche, als auch die erhöhte
Tendenz der Schwebstoffablagerung in der Baggergruben berücksich-
tigen muss.

EINLEITUNG

W. Kresser hat an der Konferenz der Donauländer über hydrolo-
gische Vorhersagen in Belgrad (1986) eine Publikation unter ähn-
lichem Titel bezüglich der österreichischen Donaustrecke veröf-
fentlicht. Der Verfasser zeigte deutlich die in den letzteren Jahr-
zehnten zunehmende Eintiefungstendenz des Flußbettes unterhalb von
Wien, welche zwischen Hainburg und Bratislava schon ein bedroh-
liches Ausmaß erreicht hat. Während dieser Zeitperiode wurde zwischen
Passau und Greifenstein ein praktisch geschlossene Kraftwerkskette
ausgebaut, welche stabile Wasserstandsverhältnisse und Schwebstoff-
ablagerungen mit sich brachte.

Kressers Abhandlung geht von der Untersuchung der Bettstabilität
der gesamten österreichischen Donaustrecke vor dem Kraftwerksbau
aus, denn analysiert sie der Bettveränderungen unterhalb von Wien
nach verschiedenen Methoden. Es ist festgestellt worden, dass der
langjährige Eintiefungstrend der Donau im Wiener Becken von rd.
1 cm/Jahr neuerdings eine Vergrößerung bis zu 2 cm/Jahr bei Hain-
burg erfahren hat. Es ist weiterhin vorhergesagt worden, dass diese
Tendenz in der nahen Zukunft sich noch verstärken und auf 3 cm/Jahr
ansteigen wird.

Unterhalb von Hainburg, wo die Eintiefung ein bedrohliches Ausmaß
zeigt, ist lediglich eine relative Vorhersage möglich, da es sich

hier um eine rückschreitende Erosion handelt. Kresser behauptet, dass bis zum Abschluss der Arbeiten im Bereich von Bratislava und bis der Fertigstellung des Kraftwerkes Gabčíkovo an der österreichisch-tschechoslowakischen Grenzstrecke der Donau mit einer Eintiefung des Flußbettes von rd. 10 cm/Jahr gerechnet werden muss.

FLUSSBETTVERÄNDERUNGEN UNTERHALB VON BRATISLAVA

Vor Jahrtausenden, als das Karpatenbecken vom Wasser des Mittelmeers gefüllt war, hatte hier die Donau ihre Mündung ins Pannische Meer und baute einen riesigen Schuttkegel. Auf ihm und um ihn herum mäandrierte der Strom, sein Flußbett frei verändernd. Auf diese Weise entstanden zwischen der sog. Kleinen Donau (Csallóköz-Arm) und dem Mosoner Arm auf einer etwa 30 km lange Strecke die wirren Verzweigungen des Flußes. Um diese stetigen Hindernisse der Schifffahrt zu beheben, wurde der jetzige Hauptkanal um die Jahrhundertwende ausgebaut. Das Hauptflußbett zwischen Rajka und Szob bildet gleichzeitig die ungarisch-tschechoslowakische Grenze (Abb.1.).

Nach der Regulierung der obenerwähnten Flußstrecke setzte das aus dem Wiener Becken austretende Geschiebe die Auffüllung des Schuttkegels und damit des Flußbettes fort. Die jährliche Geschiebefracht der österreichischen Donau vor dem Kraftwerkbau wurde durch Bogárdi auf 300-400 000 m³ geschätzt. Ein Teil davon lagerte sich entlang der 30 km lange Strecke, demzufolge die Kleinwasserstände um etwa 1 cm/Jahr anstiegen. Um den Schifffahrtsweg zu vertiefen, wurde während der letzten 25 Jahren eine Reihe von Nebenarmen gesperrt, um bei niedrigen Wasserständen mehr Wasser im Hauptbett zu halten und die Schleppkraft des Stromes zu vergrößern.

In der zweiten Hälfte der 60-er Jahren wurde von beiden Grenzstaaten ein großes Baggerungsprogramm für bauindustrielle Zwecke in mehreren Stellen zwischen Gönyű und Budapest begonnen. Ausserdem fanden große Baggerungen auch im Bereich Bratislava und unterhalb von Budapest statt. Die durchschnittliche jährliche Menge des Baggergutes in den 70-eren Jahren war mehrfach grösser, als die natürliche Geschiebefracht der Donau, welche inzwischen auf etwa 200 000 m³/Jahr sank. Der Einfluß dieser langfristiger Tätigkeit widerspiegelt sich eindeutig in der Verschiebung der Abflußkurven und in der ständigen Senkung der Niedrigwasserstände.

Abb.2 und 3 dienen als Beispiele für zwei verschiedene Typen von künstliche verursachten Flußbettveränderungen: Bei Bratislava verursachten die grossen und örtlich konzentrierten Baggerarbeiten im ganzen Wasserstandbereich eine ähnliche Verschiebung der Abflußkurven, während bei Rajka nur die Niedrigwasserstände (bis etwa 4 m) infolge Eintiefung des Flußbettes senkten. Auf Abb.4 beträgt die durchschnittliche Senkung des Niedrigwasserstände zwischen 1936 und 1985 bei Bratislava 1,7 cm/Jahr (davon zwischen 1973 und 1985: etwa 9 cm/Jahr!) und bei Rajka zwischen 1950 und 1985 3,3 cm/Jahr (davon zwischen 1966 und 1985: 8,5 cm/Jahr). Zum Vergleich ist es bemerkenswert, dass bei Dunaremete 20 km unterhalb von Rajka, wo vorher eine Erhöhung der Kleinwasserstände verzeichnet wurde, die Senkung nur 0,3 cm/Jahr gewesen ist. Die in Abb.5

längsschnittsweise dargestellten Angaben zeigen in Bereichen ohne Baggerungsarbeiten einer mäßige jährliche Bettvertiefung (1-2 cm/Jahr), ähnlich zu den österreichischen Angaben unterhalb von Wien.

Abb.6 stellt die abnehmende Schwebstofffracht der Donau in den letzten 25 Jahren dar. Es ist auffallend dass seit 1977 sehr niedrige jährliche Schwebstoffmengen zu ziemlich grossen jährlichen Wasserführungen gehören, besonders entlang des meistgebaggerten Grenzflußabschnittes Rajka - Szob. Die Abbildung zeigt gleichzeitig den Einfluß der Ablagerungen in den österreichischen Stau-becken und in den Baggergruben. Die Strömung strebt nach einem Ausgleich der künstlichen Sohlunebenheiten, verfügt aber dafür über keine genügende Geschiebezufuhr. Modellversuche und auch Naturmessungen beweisen, daß zwischen den einzelnen Baggergruben die Erosionsaktivität des Flusses örtlich zunimmt und somit eine gewisse Geschiebemenge produziert, die aber zu wenig ist, um die grösseren Gruben aufzufüllen, insbesondere da die natürliche Verpanzerung der Flußbettoberfläche, (eine bei Kiesbettmaterialien ganz häufig vorkommende Erscheinung) die Erosion wesentlich vermindern kann.

Unter solchen Umständen ist es schwierig, die Flußbettveränderungen zuverlässig zu prognostizieren. Eine ausführliche Flußbettvermessung, welche jede größere Baggergrube erschließt, ist unvermeidlich. Über Entnahme und Analyse von Bettmaterialproben können die charakteristischen Formen und Veränderungen der Siebkurven sowie die Tendenzen von Auflandung oder Erosion in jedem Gewünschten Punkte des Flußbettes ermittelt werden (Rákóczi 1987). Unter Berücksichtigung der tatsächlichen oder vorausgesetzten Zeitreihen der Wasserstände kann, der Anstieg bzw. die Vertiefung des Flußbett-niveaus annähernd berechnet werden. Diese Ergebnisse müssen jedoch von Zeit zu Zeit über wiederholte Bettvermessungen kontrolliert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Kresser, W. 1986: Vorhersage von Flußbettänderungen in der österreichischen Donaustrecke. VII. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Beograd
- Rákóczi, L. 1987: Selective erosion of noncohesive bed materials. Geografiska Annaler, Vol. 69A, Uppsala

PREDICTION OF RIVERBED CHANGES IN THE HUNGARIAN
REACH OF DANUBE RIVER

SUMMARY

During the recent decades, both suspended sediment and bed-load transport showed a decreasing tendency along the Hungarian reach of the Danube River. A probable reason for this seems to be the increased rate of sediment deposition in the reservoirs created by the chain of river barrages built along the Austrian stretch. The paper shows that the annual rate of riverbed degradation observed in Hungary is similar to that stated for the reach downstream from Vienna. However, along the Hungarian-Czechoslovakian border, where an intensive dredging project took place during the last decades, this tendency is much higher, almost equal to the rate observed at Bratislava. The annual amount of the dredged bed material has surpassed several times the natural bed-load transport of the river within this time period.

Under such circumstances it is difficult to predict the future changes of the river channel. The flow is striving for smoothing out of differences in the bed level, thus, both the armouring process which slows down erosion and the increased rate of deposition of suspended sediment in the dredged pits have to be considered while forecasting the bed changes.

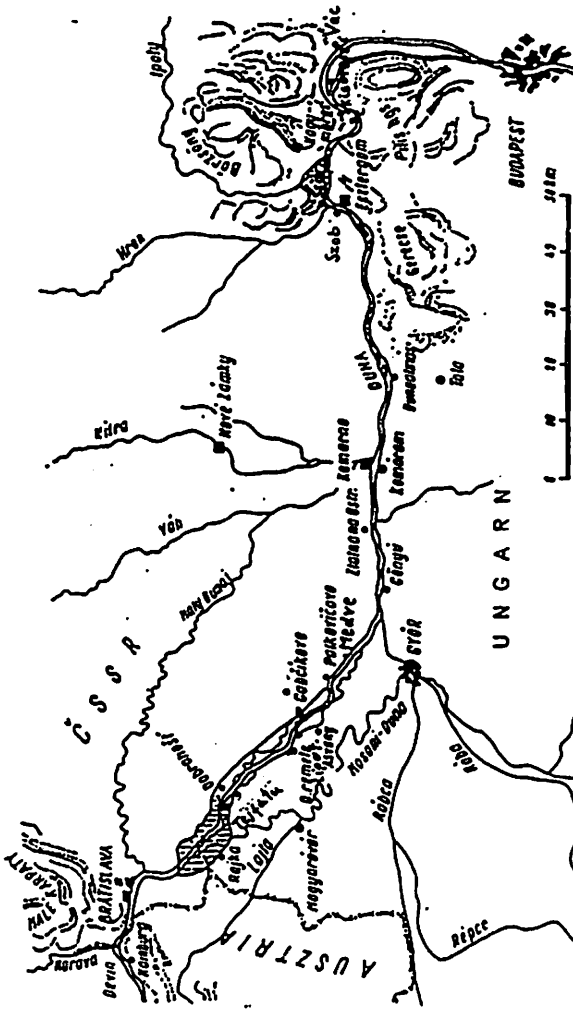


Abb. 1. Plan der Donau von Devin bis Budapest

DONAU, Bratislava

..... 1981 - 1982
 -|-|-|- 1979 - 1980
 -|-|-|- 1968 - 1978
 -|-|-|- 1964 - 1967
 -|-|-|- 1960 - 1963
 -|-|-|- 1918 - 1959

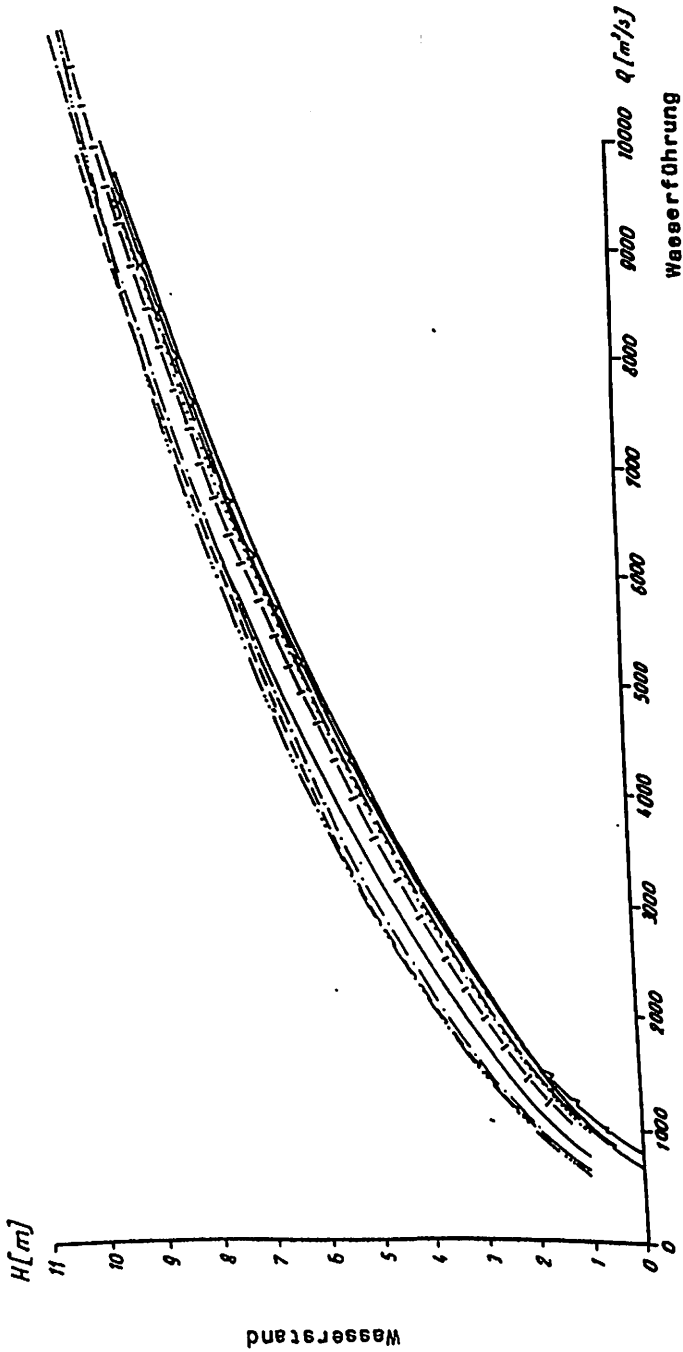
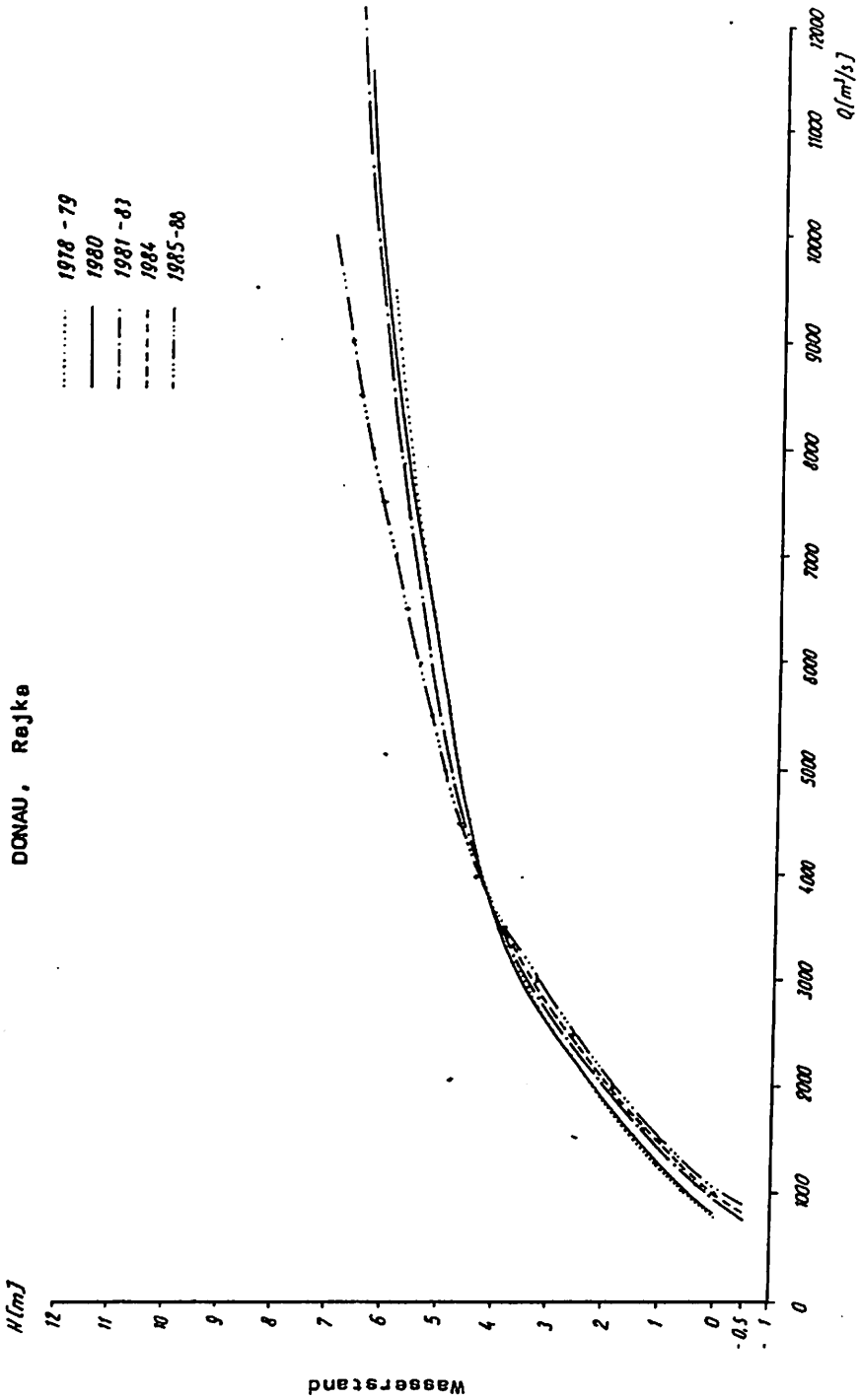


Abb. 2. Verschiebung der Wassermengekurven 1918 - 1986



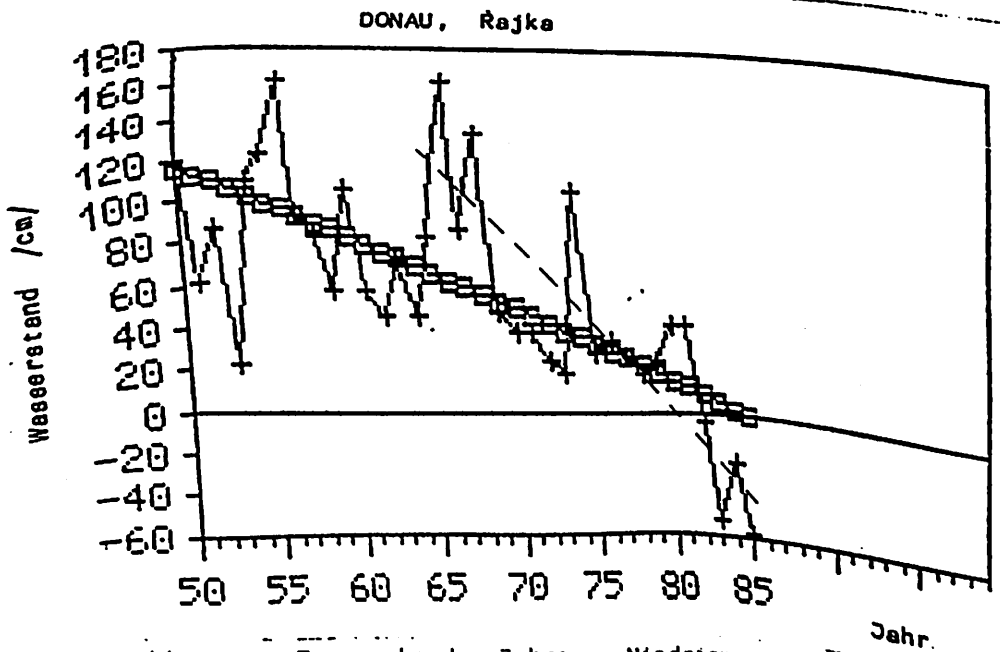
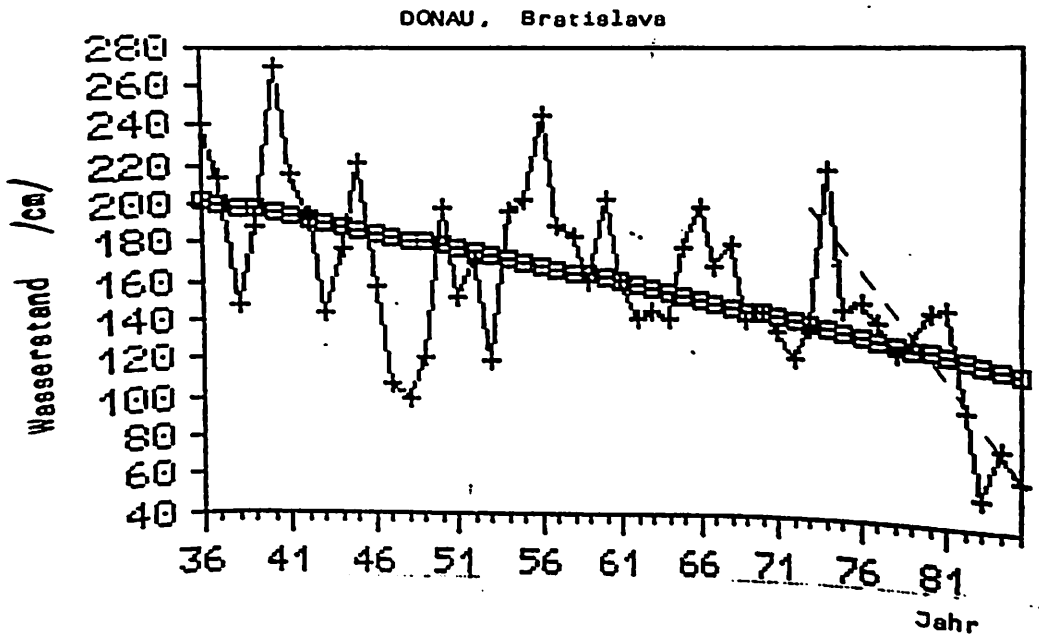


Abb. 4. Zeitreihe der Jahres - Niedrigwasserstände
der Donau 1936 - 85 mit linearem Ausgleich

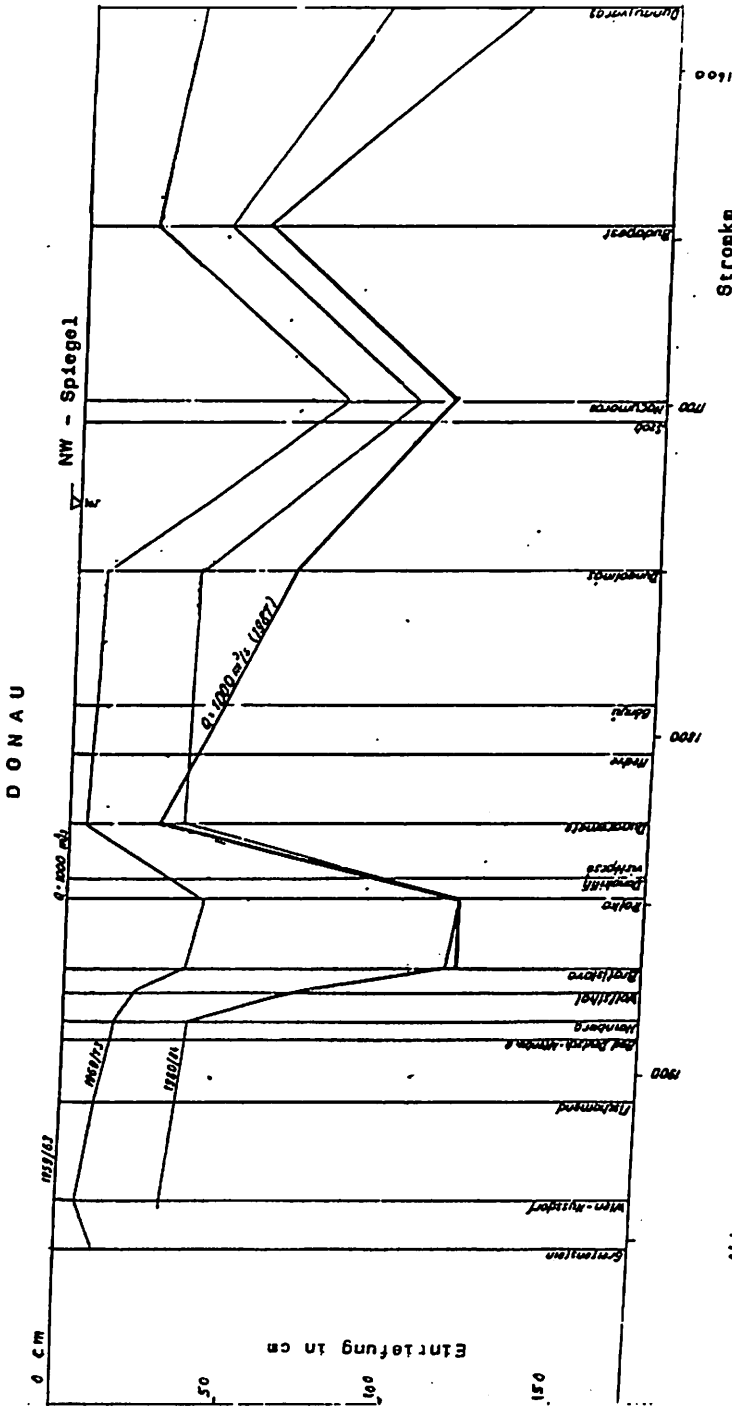


Abb. 5. Eintiefungstendenz 1969/63 - 87 in der Donaustricke Greifenstein - Dunajváros bezogen auf den Niederwasserdurchfluss 1000 m³/s (bie Bratislava die Angaben von Kresser)

Flussbereiche

- Rajka - Szob
 □ Szob - Dunaujváros
 × Dunaujváros - südliche Staats-
 grenze
 ○ jährliche
 Wasserrführung

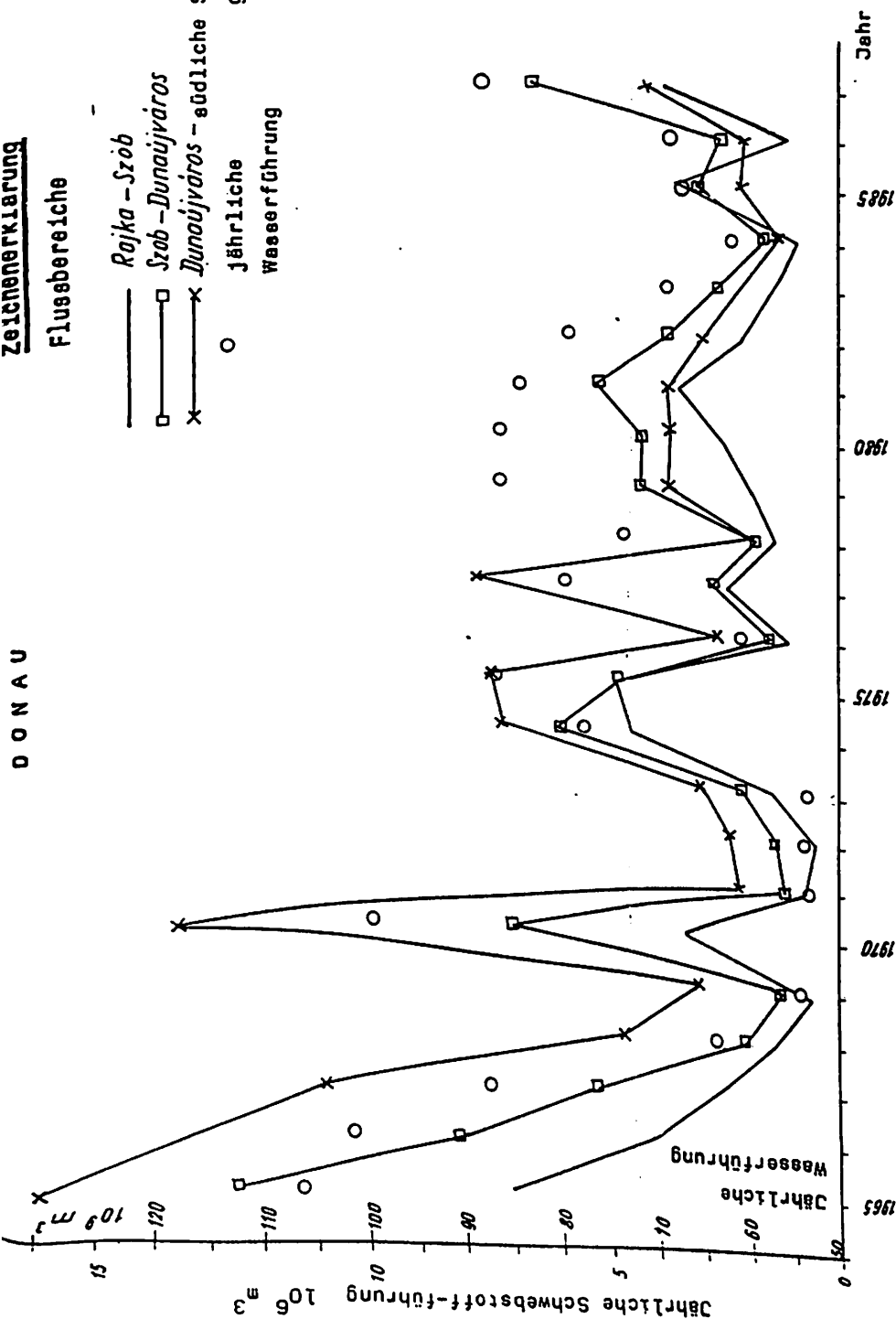


Abb. 6. Zeitreihen der Wasser- und Schwebstoff-führung entlang der ungarischen Donauetrecke zwischen 1965 und 1987

7. ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ

VORHERSAGE DER WASSERQUALITAET

Чернявская А.П.

Украинский филиал ЦНИИКИВР

г.Киев, СССР

Резюме

Исследуется формирование химического состава дунайской воды в период I Международной комплексной экспедиции по изучению Дуная, март 1988 год. Приводятся методики исследований и пределы колебаний температуры, водородного показателя, содержания растворенного кислорода, взвешенных веществ, минерализации и главных ионов в воде Дуная на различных его участках.

The chemical composition of the Danube water

Summary

The formation of the chemical composition of the Danube water during the First Danube Research International Complex Expedition (1988 , March) is studied. The paper represents the methods used in the time of this research, the fluctuation limits of the temperature, pH, dissolved oxygen content, suspended substances, mineralization and major ions in the different parts of the Danube water body.

Объект исследования: р.Дунай, I Международная комплексная экспедиция по изучению Дуная.

Цель исследований: изучение гидрохимического режима и современные характеристики качества воды Дуная на его участках от г.Вены до г. Вилково.

Задачи исследований: изучение пределов колебаний температуры, водородного показателя, содержания растворенного кислорода /абсолютные и относительные величины/, взвешенных веществ, минерализации и главных ионов в воде Дуная на различных его участках.

Методы исследования: потенциометрические /рН, O_2 , t° /, химические /взвешенные вещества, минерализация, главные ионы/.

Анализы выполнялись в экспедиционных условиях и в станцио-

нарной гидрохимической лаборатории Украинского филиала ЦНИИКИВР.

Створы гидрохимических исследований по изучению Дуная приведены в табл. I.

Результаты исследований и их интерпретация.

1. Выполнено около 600 замеров концентраций растворенного кислорода, температуры, pH на 40 станциях, в том числе по 4 профилям Дуная на территориях СССР, СРР, СФРЮ, ВНР, ЧССР, Австрии.

2. Отобрано 54 пробы дунайской воды и определены в них минерализация, концентрация главных ионов, содержание взвешенных веществ.

3. Проанализирован суточный ход содержания растворенного кислорода, температуры, pH на трех станциях.

4. Отобраны 2 суточные пробы атмосферных осадков на территории Болгарии и Югославии и определены в них минерализация, ионный состав, содержания биогенных элементов и органических веществ.

Химический состав дунайской воды на всем протяжении реки характеризуется средней для рек СССР минерализацией, которая колеблется в относительно небольших пределах /310-480 мг/л/. Максимальные значения минерализации наблюдались на советском, румынском и венгерском участках /405 мг/л; 477 мг/л; 470 мг/л/ и ниже устья р. Тиссы /412 мг/л/. Диапазоны колебания значений минерализации воды Дуная на советской территории увеличены по сравнению с шестидесятью годами /120-140 мг/л/ и достигают 200 мг/л /1/. Преобладающим остается гидрокарбонат-ион и ион кальция. По мере приближения к городам, крупным промышленным центрам и местам впадения крупных притоков величина минерализации, как и концентрация отдельных ионов, меняется: наблюдается сдвиг карбонатного равновесия и как следствие уменьшение концентрации ионов кальция и гидрокарбонатов и увеличение сульфатов, хлоридов натрия и калия. Метаморфизация дунайской воды наиболее выражена на нижнем участке реки /рис. I/.

Максимальное содержание взвешенных веществ в Дунае отмечается на советском и румынском участках 80-140 мг/л. Значительно меньше взвешенных частиц /до 20 мг/л/ дунайская вода имеет в пределах болгарского, югославского, венгерского

Таблица I.
Створы гидрохимических исследований по
изучению Дуная

№ створов	Место расположения	Расстояние от устья, км/мили/
1.	Выше Вилково	20
2.	Выше Измаила	93
3.	Выше Рени	71
4.	Очаковский рукав	17.5
5.	Старостамбульский рукав	17
6.	Галац	131
7.	Силистра	382
8.	Никопол	597
9.	Оряхово	685
10.	Видин	791
11.	Нови-Бановцы	1076
12.	устье р.Савы - Белград	1188
13.	устье р.Тисса	1210
14.	Нови-Сад	1258
15.	Байя	1478
16.	Пакиш	1523
17.	Вышеград	1694
18.	Габчиково	1819
19.	Братислава	1868
20.	Вена	1934

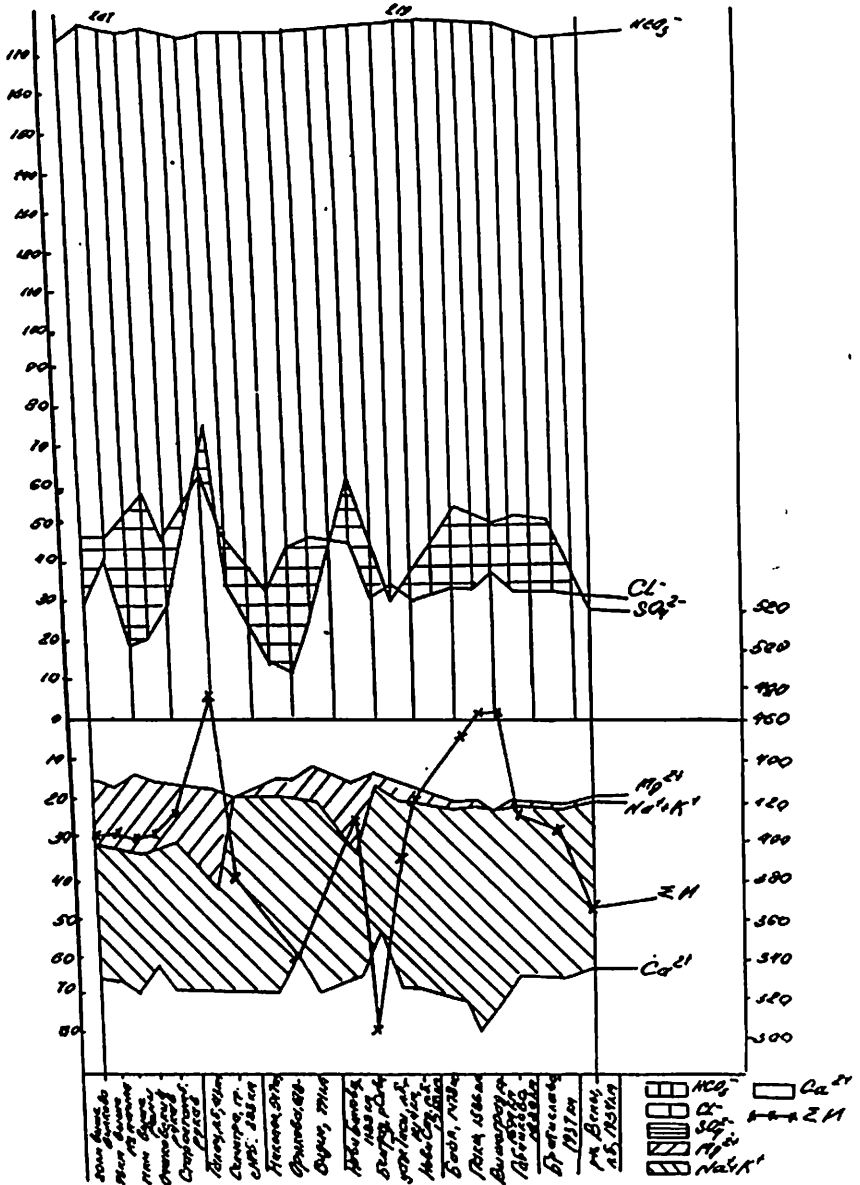


Рис. 1. Гидрохимический профиль р. Лучной по отдельным участкам (по данным 1988 г.)

участков.

Содержание растворенного кислорода в дунайских водах колеблется в пределах 10.5–14.8 мг/л, что соответствует 73–107% насыщения. За период исследований снижение растворенного O_2 до предельно-допустимой концентрации не прослеживалось. Перенасыщение им дунайской воды отмечалось на участке от устья р.Тиссы до г.Пакш /ВНР/, в связи с весенней вспышкой "цветения" водных масс. Минимальные концентрации растворенного кислорода в воде Дуная обнаружены на советском и румынском участках /до 10.7 мг/л или 73% насыщения/. Размах суточных колебаний содержания O_2 в Дунае в среднем составляет: в районе Галаца /СРР/ 9.8–10.2 мг/л, 74–76% насыщения, в районе Нови-Сад /СФРЮ/, в период наиболее интенсивного фотосинтеза – 12.0–13.8 мг/л или 96–102% насыщения. Ночью его содержание не падает ниже 12.0 мг/л, 96% насыщения. В придонных слоях колебания растворенного кислорода не связаны с временем суток и в основном определяются скоростью обмена водных масс.

Величина pH по длине реки варьирует в пределах 7.6 – 8.5. На советском, румынском и болгарском участках показатель концентрации водородных ионов наименьший, в пределах 7.8–7.9. Увеличение pH воды Дуная до 8.5 было отмечено в месте впадения р.Тиссы, что, очевидно, связано с развитием фитопланктона.

Основными факторами, которые обуславливают изменение температуры дунайской воды, являются поглощение водой солнечной радиации, интенсивное перемешивание, теплообмен между водной толщей и атмосферой. По длине реки температура воды составляет от 3.4°C до 6.5°C. За весь период экспедиции разница между температурой воды и воздуха – 0.1–2.8°C. Исключение составляют советский и румынский участки, где разница в температуре до 3.0°C. Температурной стратификации и расслоения водных масс не наблюдалось.

При температуре воздуха до 10°C верхний двадцатисантиметровый слой воды нагревается до 6.2–6.5°C. Разницы в температуре поверхностных и придонных слоев не прослеживается. Благодаря интенсивному перемешиванию вся толща воды Дуная на всем протяжении реки находится в состоянии гомотермии или непродолжительной слабо выраженной стратификации поверхност-

ного слоя /на $0.1-0.2^{\circ}\text{C}$ /.

Выяснение роли химического состава атмосферных осадков, как одного из источников питания реки, является весьма актуальным при оценке гидрохимического режима Дуная. С этой целью в период экспедиции нами были проведены специальные сто́ры дождевых вод на территории Болгарии и Югославии. Результаты исследований показали, что минерализация воды атмосферных осадков достаточно высокая 49.9 мг/л, при фоновой до 20 мг/л /2/. Меняется ее ионный состав. Здесь появляется преобладание сульфат-ионов /болгарско-югославский участок/ и повышение содержания аммонийного и нитратного азота, а также фосфатов. Дождевые воды отличаются общекислотной агрессивностью /рН 5.8–6.9/.

Настоящая работа является составной частью исследований по комплексной оценке качества воды Дуная на участке от 20 до 1934 км, выполняемых Институтом гидробиологии АН УССР.

Результаты исследований дали возможность уточнить целый ряд положений и суждений относительно состояния качества воды р. Дунай на советской территории и причин его изменения.

Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеиздат, 1970.
2. Дроздова В.М., Петренчук О.П., Селезнева С.С., Евистов А.Ф. Химический состав атмосферных осадков Европейской части СССР, Л., Гидрометеиздат.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В НАНОСАХ БОЛГАРСКОГО УЧАСТКА Р.ДУНАЯ

С.Блыскова, П.Нинов
Институт метеорологии и гидрологии - НР Болгария

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В НАНОСАХ БОЛГАРСКОГО УЧАСТКА Р.ДУНАЯ

Представлены результаты исследования содержания тяжелых металлов в взвешенных наносах и донных отложениях болгарского участка р.Дунай. Сделан сравнительный анализ фракционного распределения концентрации тяжелых металлов в донных отложениях. Исследовано сезонное распределение содержания тяжелых металлов в взвешенных наносах. Установлено, что концентрация (mg/kg) некоторых тяжелых металлов в фракции $d < 0,315 \text{ mm}$ для донных отложений выше естественного фона земной коры. Концентрация всех исследованных металлов в взвешенных наносах (mg/l) значительно ниже ПДК воды.

INVESTIGATIONS OF HEAVY METALS CONTENT OF THE SEDIMENTS IN THE BULGARIAN PART OF THE DANUBE RIVER

The aim of this study is to investigate the concentration of heavy metal in the suspended and bed sediments in the bulgarian part of the Danube river. A comparative analysis of heavy metals fraction distributions in bed materials is carried out. The season distributions of heavy metals in suspended sediments are studied.

The results show that the concentrations of heavy metals (mg/kg) in bed materials ($d < 0,315 \text{ mm}$ fraction) are above natural background of the earth's crust. The concentrations of all investigated metals in the suspended sediments (mg/l) are considerably under the limit of the admissible concentration of water.

В составе наносов находятся элементы $\text{Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Co, Mn}$ и др., которые известны как микроэлементы ввиду их невысокого содержания в естественных условиях, а высокий атомный вес определяет название этих элементов - тяжелые металлы. Их содержание и подвижность соединений, в которых эти элементы участвуют, в естественных условиях сильно зависят от pH среды. Способность этих элементов осаждаться - прежде всего под форме гидроокислов, карбонатов и металлоорганических соединений объясняет их наличие в наносах - взвешенных и донных.

Загрязненность тяжелыми металлами является одной из самых опасных форм нарушений экологического состояния природной среды. Развитие промышленности, а также недостаточная эффективность очистных сооружений ведет к значительному увеличению содержания тяжелых металлов в отходных водах. Большая часть поступивших в реки тяжелых металлов адсорбируются взвешенными наносами, транспортируются речным течением или аккумулируются устойчиво в донных отложениях. В подходящих гидравлических условиях они снова могут перейти в взвешенное состояние, являясь источником вторичного загрязнения. Вторичное загрязнение может наступить и в результате процессов десорбции. Поэтому исследование загрязнения донных отложений связано с вопросами формирования и прогнозировании качества воды.

Проблема загрязненности отложений в болгарских реках и механизм вторичного загрязнения не проучена. Настоящее исследование болгарского участка р. Дуная является первым опытом в этом отношении. Исследование базируется на данные о взвешенных наносов, накопленные в гидрологической сети за период 1988-89г., тоже и на информацию о донных отложениях, получена во время экспедиционного исследования ноябрью 1989г. Экспедиция осуществилась во время осеннего мельководья; когда в донных отложениях остались прочно аккумулярованные загрязнители. Пробы взяты в пунктах - с.Ново село, г.Лом, г.Орехово, г.Свищов, г.Русе, г.Силистра - по 3 пробы в поперечном профиле.

Известно, что преобладающая часть аккумулярованных в донных отложениях загрязнителей содержится в тонких фракциях. После гранулометрического анализа фракции $d < 0,315 \text{ mm}$ сделан атомно абсорбционный анализ. Этот метод выбран ввиду его универсального применения для исследования содержания тяжелых металлов вообще и в частности для исследования содержания неорганического состава почв /1/.

Результаты средней концентрации тяжелых металлов в отложениях представлены в табл.1. Видно, что большинство из рассмотренных элементов имеют концентрации значительно превышающие естественный фон /2,3/. На основе полученных данных можно твердит, что донные отложения р. Дуная загрязнены Zn, Cu, Ni, Pb, Cr. Большие концентрации регистрированы в районе Ново село, Сб, большинство вышеуказанных элементов обнаружено в районе г.Русе, Pb и Ni обнаружены в районе г.Лом.

Сделан сравнительный анализ фракционного распределения концентрации тяжелых металлов. Представленные на рис.1 примеры показывают, что увеличение размера наносных частиц приводит к уменьшению концентрации адсорбированных тяжелых металлов. Более высокая адсорбционная способность тонких фракций является результатом более высокой удельной поверхности этих фракций.

Набор взвешенных наносов проводится ежедневно в четырех пунктах - Ново село, Лом, Свищов и Силистра. Наносные пробы суммированы и анализированы сезонами, что связано с требованиями атомно абсорбционного анализа для минимального количество пробы - 1г. Прослежено сезонное изменение концентрации тяжелых металлов взвешенных наносов для рассмотренных пунктов. На рис.2 и рис.3 показано внутригодовое распределение элементов Zn и Pb в районе г.Лом. Результаты дают основание сказать, что существует сезонный ход. Во время весеннего половодья концентрации всех исследованных элементов уменьшаются. Во время летнего мелководья содержание тяжелых металлов растет. Эта тенденция усиливается во время осеннего мелководья.

Содержание тяжелых металлов взвешенных наносов (mg/l) сравнено предельно допустимыми концентрациями воды. Результаты для гм.ст.Лом представлены в табл.2. Устанавливается, что содержание тяжелых металлов (mg/kg) взвешенных наносов соизмеримо со содержанием в тонкой фракции донных отложений. В процессе перехода в взвешенном состоянии их концентрация в воде на порядок ниже предельно допустимой для первой категории водоприемника.

Экологическое состояние донных отложений является устойчивой характеристикой реки. Необходимы детальные дополнительные исследования и создания нормативной базы для категоризации и оценки

загрязненности донных отложений. Изучение их специфики и территориальное распределение прямо связано с экономической оценки природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бръшнарова А. Дисертация, ИППД "Пушкарров", София, 1978г.
2. Taylor S.R., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 8, p.1273-85.
3. Wedepohl K.H. *Geochemie*, B, 1967, Bd 1224-1224a/1224b.

ТАБЛИЦА 1. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях для фракции $d < 0,315 \text{ mm}$

элемент		Cu	Zn	Pb	Co	Ni	Cr	Mn
концентрация								
среднее содержание для отложений $d < 0,315 \text{ mm}$	Ново село км 833,6	551,63	114,45	48,47	11,33	56,15	169,63	830,95
	Лом км 743,3	309,4	233,09	87,70	14,89	67,31	264,95	773,01
	Орехово км 678	53,30	78,73	58,72	10,07	56,58	129,99	654,44
	Свишов км 554,3	17,49	59,09	23,81	11,50	39,78	76,68	411,17
	Русе км 495,6	200,42	300,38	91,84	15,64	62,60	174,64	738,29
	Силистра км 375,5	74,45	114,83	69,17		47,57	136,52	1504,25
ср. содержание в земной коре по А.П.Виного-радову /2/		47	83	16	18	58	83	1000
ср. содержание в земной коре /3/		30	60	15	12	44	70	690
ср. содержания для почв Болга-рии /1/		20-50	70-90	20-35	20-25	40-45	65-75	800-1200
макс. определен-ное содержание для почв Болга-рии /1/		113	115	60	31	69	89	2425

ТАБЛИЦА 2. Содержание тяжелых металлов в взвешенных наносах, суспендированные в литр воды, гм.ст.Лом,1988г.

элемент концент- рация (mg/l)	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Mn
диапазон изменений	0,0076- 0,027	0,005- 0,017	0,0017- 0,0054	0,003- 0,011	0,00005- 0,0002	0,0095- 0,070
ПДК воды 1 категория	1	0,05	0,05	0,02	0,005	0,1

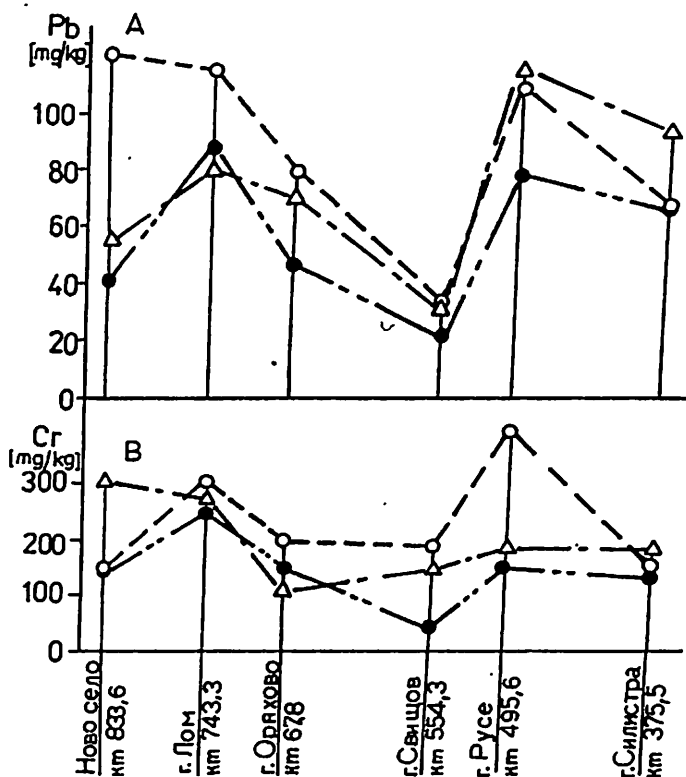


Рис.1. Результаты анализа фракционного распределения концентрации: А- Pb, В- Cr, в донных отложениях для фракций: $\circ$ — $d < 0,1 \text{ mm}$, Δ — $d = (0,1-0,2) \text{ mm}$, $\bullet$ — $d = (0,2-0,315) \text{ mm}$

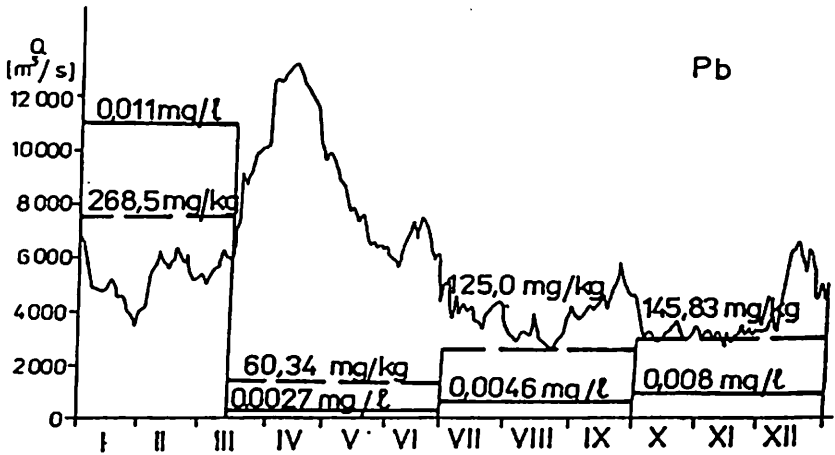


Рис. 2. Внутригодовое распределение содержания Pb в сухой массе взвешенных наносов (mg/kg) и содержания Pb в взвешенных наносах, суспендированных в литр воды (mg/l), Лом, 1988г.

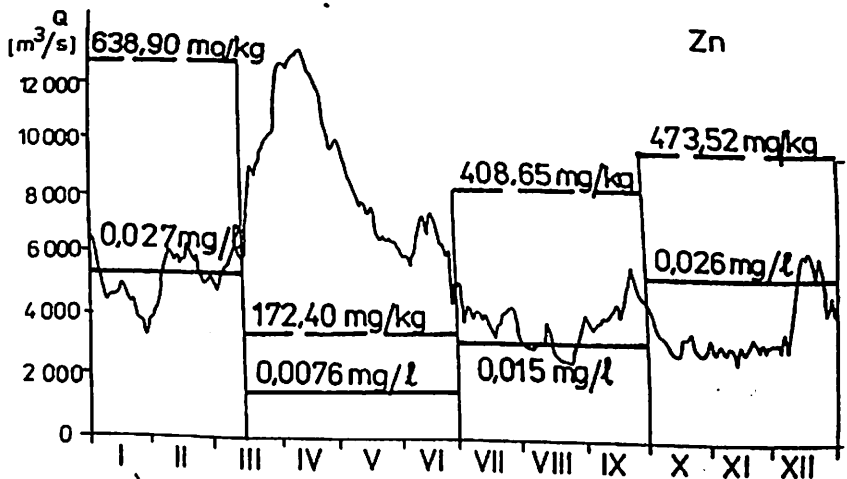


Рис. 3. Внутрегодовое распределение содержания Zn в сухой массе взвешенных наносов (mg/kg) и содержания Zn в взвешенных наносах, суспендированных в литр воды (mg/l), Лом, 1988г.

ПРИЕМЫ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КАЧЕСТВА РЕЧНЫХ ВОД

Правошинский Н.А., Попруга В.И., Лаппо Л.И., Львечая Л.В.
ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов
Минск, СССР

Резюме

В докладе изложен методический подход к оценке изменения качества речных вод под влиянием различных антропогенных факторов, описываются особенности расчетов применительно к встречающимся в практике случаям.

Methods for approach to evaluation of stream flow water
quality variation

Abstract

A methodological approach to the evaluation of stream water quality influenced by various anthropogenic factors is presented. The peculiarities of calculations applicable to some practical cases are described in this report.

Качество поверхностных вод складывается под влиянием природных и антропогенных факторов. Проблема объективной оценки влияния последнего на окружающую среду вообще, на качество речных вод в частности, приобрела особую актуальность в последние десятилетия в связи с интенсивными процессами индустриализации и урбанизации, сопровождающимися ярко выраженным изменением гидрохимического и санитарно-гигиенического режимов речных вод. Эти изменения в ряде случаев оказываются столь значительными и столь масштабными, что они не могли не отразиться на условиях водообеспечения народнохозяйственных объектов, не могли остаться незамеченными широкой общественностью. В связи с этим своевременное, еще на стадии планирования размещения и развития производительных сил, предсказание возможных негативных последствий имеет большое значение, ибо эти материалы позволяют избежать нежелательных экологических изменений природной среды, избежать нерациональных затрат материальных средств.

Наиболее простым с точки зрения затрат времени и средств ме-

тодом оценки изменения качества речных вод является метод экстраполяции. Его применение требует надежной информации, охватывающей базисный период ретроспективы. Но именно здесь и лежит основное препятствие к его применению, так как в прошлом изменение качества вод связывалось, и не без основания, с ростом количества отводимых в реки сточных вод часто без должной очистки. На современном же уровне развития производительных сил широкое применение получили водооборотные системы водоснабжения, повторное использование вод, эффективные способы очистки. В перспективе преимущественное развитие получают бессточные и малосточные технологии. Другими словами, необходимо считаться с тем, что на отрезке времени между ретроспективной и перспективной нет устойчивой связи изменения качества речных вод с условиями формирования и отведения сточных вод. По этой причине данный метод практически не может быть использован при оценке изменения качества речных вод на перспективу, особенно на отдаленную.

В практике инженерных расчетов иногда находит применение и метод прогнозирования, основанный на экспертных оценках. Он заключается в обработке мнения опрошенных по определенной системе экспертов. Представляется, что этот способ оценки ожидаемых изменений качества речных вод целесообразно применять при установлении роли конкретного объекта, причем только для качественной оценки ситуации.

Авторами разработан и достаточно апробирован при составлении прогнозов изменения качества вод Тисы, Зап. Буга, Днестра и других рек балансовый метод расчета, учитывающий возможность речных вод в определенных условиях восстанавливать первоначальное качество воды. То есть в основу приемов предсказания влияния различных антропогенных факторов положена основанная на данных гидрохимических наблюдений концепция возможности целенаправленно воздействовать на процесс формирования качества речных вод путем регулирования "нагрузки" на реки.

Состав требуемой для расчетов исходной информации и особенности расчетов зависят от характера решаемых задач. В практической деятельности нам пришлось столкнуться со следующими, в основном, по-видимому, исчерпывающими интересы практики задачами:

- оценка возможных изменений качества речных вод при выпуске сточных вод одного или нескольких промышленных предприятий

(промцентров);

- оценка возможных изменений качества речных вод при отведении в реки стока с мелиоративной системы и (или) орошаемого массива;

- оценка изменения качества речных вод в масштабе речного бассейна при наличии целого комплекса антропогенных факторов (сточных вод населенных пунктов и промышленных центров, поверхностного и дренажного стока с осушенных и орошаемых земель, судоходства, лесосплава, сточных вод, отводимых по дождевой канализации).

Необходимо отметить, что в большинстве случаев расчеты преследовали цель оценки эффективности запланированных природоохранных мероприятий и их корректировки или оценки условий отведения сточных вод.

Оценка качества воды ниже выпуска сточных вод промышленного узла с целью обоснования условий их отведения требует данных, характеризующих состав и объем сточных вод, режим их поступления, гидрологию водоприемника, качество речных вод, требования к качеству воды расположенных ниже водопотребителей и водопользователей. Непосредственно же расчеты включают анализ возможностей очистки отводимых вод на общеобъектных очистных сооружениях, определение требуемой эффективности очистных сооружений сточных вод, расположенных непосредственно на промышленном объекте, оценку процессов разбавления и самоочищения.

Оценка качества воды в речной сети ниже мелиоративного объекта также требует большой исходной информации о видах почв на обслуживаемых мелиоративной сетью участке сельхозугодий, о севооборотах, количестве вносимых удобрений, величине поверхностного и дренажного стока, самоочищающей и разбавляющей способности мелиоративной сети, режимах орошения. Требуются также данные о виде хозяйственного использования речных вод, их качестве, о гидрологических особенностях водоприемника, освещающих его самоочищающую способность. Следует отметить, что особенностью, часто осложняющей эти расчеты, является необходимость учета условий формирования отводимого стока и вид мелиоративной системы (осушительная, осушительно-увлажнительная самотечная или польдерная). Дело в том, что от условий формирования стока зависят соотношения минеральных форм азота и фосфора, а от вида системы - величина валового их выноса. Например, в дренажном стоке преобладающей формой является

азот нитратный, в поверхностном – аммонийный. В устьевых участках открытой сети в зависимости от типа питания в течение года могут быть различные соотношения форм азота, но в период весеннего половодья преобладает азот в аммонийной форме, в период поступления основного объема возвратных вод после подпочвенного увлажнения – в нитратной.

На водооборотных мелиоративных системах польдерного типа наблюдается несколько более высокий вынос минерального фосфора, что может быть объяснено развитием процессов глееобразования при избыточном увлажнении почвы, например, весной, в период затяжных дождей или на удаленных от насосной станции участках системы.

Оценка изменения качества воды в масштабе целого речного бассейна под влиянием хозяйственной деятельности выполняется более укрупненно, в следующей последовательности. На фоновые (определяющие качество воды на незагрязненных участках реки) показатели качества воды последовательно накладывается воздействие сбрасываемых прошедших очистку промышленных и коммунально-бытовых сточных вод, стока с сельхозугодий, дождевых вод с застроенных территорий, отходов животноводческих комплексов, лесосплава, судоходства, т.е., воздействие всех имеющихся на водосборе источников загрязнения. Этой операции, естественно, предшествует достаточно сложный расчет количества примесей, формирующихся в данных источниках при задаваемых уровнях развития производительных сил и, естественно, при планируемом составе водоохраных мероприятий. Качество речной воды в соответствии с описываемым приемом оценивается выше и ниже притоков, выше и ниже створов поступления загрязняющих примесей, в верхних и нижних бьефах гидроузлов и в устьевых створах. Расчеты выполняются последовательно от створа к створу, начиная с участка, расположенного выше первого источника поступления загрязняющих примесей. При этом учитывается влияние процессов самоочищения. Гидрологические характеристики реки, расчетные периоды поступления загрязняющих примесей принимаются в соответствии с действующими нормативными документами. В ходе расчетов делается допущение, что сточные воды отводятся с помощью различных технических решений таким образом, что створ их полного смешения с речными в любых условиях будет находиться на расстоянии, предусмотренном нормативными документами применительно к данному виду хозяйственного использования речных вод.

Такой подход к учету различных факторов с одной стороны позволяет выявить наиболее значимый из источников загрязнения, а с другой – дифференцированно подойти к назначению или же корректировке водоохраных мер, в целом для реки определить сумматное воздействие различных источников загрязнения. Определенные таким путем концентрации примесей сопоставляются с установленными для каждого вида хозяйственного использования речных вод предельно допустимыми концентрациями. На основании этого выявляются участки реки или створы, качество воды в которых не отвечает установленным нормам (при этом учитывается величина концентрации отдельных видов примесей и суммарное их действие при одинаковом показателе вредности). Эти же данные являются критерием для оценки эффективности комплекса принятых природоохраных мер, основанием для принятия решения о их корректировке.

В общем виде зависимость для определения концентрации примесей в любом створе $K_{см}$ записывается следующим образом:

$$K_{см} = \frac{K_p(Q_p - Q_{зб})\gamma_z + Q_{б.пр} \cdot K_{б.пр} + Q_{пр} \cdot K_{пр} + \sum_i Q_{ст_i} \cdot K_{ст_i}}{Q_p - Q_{зб} + Q_{б.пр} + Q_{пр} + \sum_i Q_{ст_i}} \text{ г/м}^3,$$

где K_p , $K_{б.пр.}$, $K_{пр.}$, $K_{ст_i}$ – концентрации примесей (г/м³) соответственно в реке выше рассматриваемого створа, в воде боковой приточности, в притоке в отводимых сточных водах;

γ_z – коэффициент, учитывающий снижение концентрации примесей в реке в результате процессов самоочищения;

Q_p , $Q_{зб}$, $Q_{б.пр.}$, $Q_{пр.}$, $\sum_i Q_{ст_i}$ – расход (м³/с) соответственно в реке, забираемый на хозяйственные нужды, рассредоточенной боковой приточности, притока сточных вод, отводимых в реку в данном створе.

Влияние самоочищения вод учитывается с помощью коэффициента редукции $\gamma_z = 10^{-K_1 t}$ (K_1 – коэффициент неконсервативности вещества, сут⁻¹, определяется экспериментально, t – время продвижения вод от верхнего к нижнему створам, сут).

Гидрологические характеристики водотока определяются согласно действующим в стране нормативам. В нашей стране при отведении сточных вод в реку в качестве расчетного периода принимается ме-

жень (летняя и зимняя) года 95% обеспеченности по стоку, при расчете же влияния отводимого с сельхозугодий стока еще и периоды весеннего половодья и дождевых паводков 10% обеспеченности.

Основные принципы использования крупных рек с учетом требований по охране окружающей среды

Д.Я. Раткович, Л.В. Иванова
Институт водных проблем АН СССР
г. Москва, СССР

Резюме

к докладу "Основные принципы использования крупных рек с учетом требований по охране окружающей среды".

Обеспечение задаваемых допустимых границ воздействия использования водных ресурсов на окружающую среду определяется: размерами и режимом изъятий воды; параметрами водохранилищ, режимом их эксплуатации; количеством, режимом и составом поступающих в водные объекты загрязнений.

При этом, параметры гидротехнических сооружений обычно являются заданными при проектировании и создании этих объектов. Что касается изъятий воды, то их режим и объемы поддаются оперативному изменению.

С учетом изложенного рассматриваются место и задачи гидрологических прогнозов в проблеме минимизации неблагоприятного воздействия водопользования на окружающую среду.

The basic principles of large rivers use with the account for environment protection requirements

Resume

Permissible impact of water resources use on the environment is assigned taking into account the following: regime of water intake and the amount of withdrawn water; reservoir parameters and operation regime; regime of pollutants discharge into water bodies; composition and volumes of effluents.

Parameters of hydrotechnical facilities are usually assigned at the stage of their projecting and construction, whereas water intake regime and the volume of withdrawn water can be changed, depending on the concrete local conditions.

The above factors are taken into account in determining the place and tasks of hydrological forecasts in solving the problem of minimization of unfavourable impacts of water use on the environment.

I. Еще несколько десятилетий тому назад задача водоснабжения в СССР повсеместно заключалась в подведении воды от источника к потребителю. Изъятия воды только на малых реках водораздельных территорий могли достигать значительной части стока. На крупных реках эти изъятия гарантировались при естественном режиме реки, а создание водохранилищ обуславливалось задачами увеличения судоходных глубин и выработки гидроэнергии.

Развитие земледелия в пределах зоны недостаточного увлажнения привело к интенсивному росту водопотребления, особенно в пределах аридной зоны. В пределах СССР сокращение речного стока под влиянием его изъятий достигает от 8-10% в бассейне Волги до 95% в бассейне Аральского моря; в бассейнах Азовского моря и озера Иссык-Куль эти изъятия оцениваются примерно в 1/3 от нормы стока.

Разумеется, столь значительные изъятия стали возможными благодаря сезонному и многолетнему регулированию стока водохранилищами. Эффект сезонного регулирования стока зависит от внутригодового распределения речного стока (точнее - от его соответствия внутригодовому распределению потребностей в воде). Так, например, на реках ледникового питания с растянутым летним подоводьем даже неглубокое сезонное регулирование стока позволяет достигнуть высокой степени его использования. Следует заметить, что даже при глубоком многолетнем регулировании стока сезонная составляющая емкости водохранилища может достигать десятков процентов от общей.

2. Повсеместное создание водохранилищ в целях регулирования речного стока нарушает его естественный режим колебаний при снижении средней многолетней величины - как из-за изъятий воды так и вследствие ее испарения с поверхности водохранилищ. Изменения режима обычно сосредотачиваются в пределах нижнего течения рек, в пределах их дельт и эстуариев. Особенно существенными становятся эти нарушения на реках, впадающих во внутренние моря и озера; обусловленные сокращением притока снижение уровня бессточных внутренних водоемов и повышение солености проточных приводят к специфическим нарушениям естественного режима: врезка русел при понижении базиса эрозии из-за снижения уровня и засоление низовых участков рек из-за поступления в них вод повышенной солености при нагонах и приливах воды. Специфика функционирования водных экосистем заключается также в резком нарастании неблагоприятных последствий при группировании лет пониженной водности.

Нередки случаи неблагоприятного воздействия и при нарастании водности в межень: так например, на реках Волга и Или в результате регулирования стока заметно увеличилась водность зимних периодов, в результате регулирования стока водохранилищами гидроэлектростанций.

Эти зимние наводнения зачастую сопровождаются значительными хозяйственными ущербами и неблагоприятным воздействием на экосистемы, в частности из-за увеличения скоростей течения в пределах мест зимовки рыбного стада.

3. Использование водных ресурсов неизбежно связано с нарушением естественного режима водных объектов, что априори нежелательно с позиций сохранения окружающей среды. В то же время, нереально бороться за сохранение оптимального для природы естественного режима нельзя отказаться как от решения задач водоснабжения, коммунального хозяйства, промышленности и сельского хозяйства, особенно в пределах аридных зон, где без орошения сельскохозяйственное производство невозможно.

Все большее значение и понимание приобретает задача установления предельных допустимых изъятий воды и допустимого нарушения естественного режима водотоков и водоемов. Основой ее должны явиться зависимости между водным режимом и биологической продуктивностью сложившихся экосистем.

Вероятно, следует отказаться от попыток экономического обоснования величин предельно допустимых изъятий воды: опыт показывает, что обычно экономически оправданными оказываются столь большие изъятия воды из источников и столь серьезное нарушение их режима, при которых ставится под вопрос не только сохранение биологической продуктивности экосистем, но и само их существование. В обозримом будущем следует, вероятно, ориентироваться на экспертные оценки допустимого нарушения естественного режима водных объектов, широко используя метод аналогов, а при отсутствии апробированных решений в условиях той или иной конкретной ситуации-предпочтение должно отдаваться осторожным решениям, предупреждающим проявление недопустимого нарушения условий функционирования сложившихся экосистем - водных и околотоводных.

4. Исходная информация для принятия решений о допустимых вмешательствах в естественный режим водных объектов заключается в оценке вероятных изменений режима под влиянием тех или иных воз -

действий на норму стока и его изменчивость по годам и внутри года.

Предметом гидрологических прогнозов являются обычно календарные прогнозы речного стока: многолетние, сезонные и краткосрочные. Многолетние обычно опираются на так называемые солнечно-земные связи и при объективном рассмотрении оказываются недостоверными; это обуславливается недостаточной изученностью как закономерностей временных колебаний как самой солнечной активности (и спорности вопроса, что принимать за ее индекс), так и необходимых солнечно-земных связей. Статистический анализ временных рядов стока и других элементов водного баланса не дает оснований для утверждения о наличии значимых связей такого типа. Правда, следует отметить отсутствие статистических доказательств того, что этих связей нет. Во всяком случае, на данном этапе изученности в распоряжении практики отсутствуют сколь либо надежные методы календарного прогноза годового стока и приходится ограничиваться лишь его вероятностным предвидением: установлением типа и параметров безусловного и условных распределений вероятностей.

5. Обоснованию (уточнению) подлежат:

- стохастические модели колебания годового стока осадков и испарения в условиях стационарного режима;
- стохастические модели сезонного хода этих составляющих водного баланса (также в условиях стационарного режима);
- возможные нарушения режима стока, осадков и испарения под влиянием современных изменений климата и агролесомелиоративных условий на водосборе;
- стохастические модели экстремальных значений стока;
- стохастические модели колебаний уровня и солености внутренних водоемов (бессточных и проточных) в условиях нарушения режима притока;
- стохастические модели колебаний стока рек озерного питания.

Прямое отношение к гидрологическим прогнозам имеет количественное описание тех видов водопользования, величина которого зависит от погодных условий. В первую очередь речь идет об ирригационном водопользовании, годовая величина которого и сезонный ход могут существенно изменяться от года к году, особенно в зоне неустойчивого увлажнения (в аридной зоне эти колебания меньше, а в условиях резко засушливого пустынного климата ими зачастую можно пренебречь); возможно, следует учитывать стохастическую изменчивость и других видов водопользования - водоснабжение, работу гидроэлектростанций

и др. Исследования в этой области имеют крайне малый задел.

Наконец, нельзя не упомянуть вероятностных же прогнозов стока наносов, ледового материала, растворимых и консервативных примесей. В целом разработанность этого круга вопросов меньше, чем собственно речного стока.

6. Важным аспектом гидрологических прогнозов являются физические модели формирования стока и его продвижения по гидрографической сети. Но следует учитывать особенности этого подхода, которые ограничивают возможности его практического использования.

Физические модели в принципе являются наиболее правильным путем решения задач о возможном изменении режима стока под влиянием нарушения условий его формирования на водосборе и вследствие современных изменений климата. Однако, практическое использование этих моделей наталкивается практически на непреодолимые трудности, особенно при сколь либо существенной площади водосборного бассейна:

Во-первых, неоднородность почвенно-геологических условий, растительности, особенностей рельефа и распределения осадков по территории не позволяют заложить в модель необходимую исходную информацию с нужной степенью детальности; во-вторых, недостаточно изучены связи между изменением этих условий, в частности растительности, и характеристиками режима стока; в третьих, побуждающие сток процессы — осадки, испарение, степень влагонасыщения почвы и т.п. в предположительный период не поддаются календарному предвидению и допускают лишь вероятностное описание. По сумме этих соображений представляется, что следует увеличить внимание к использованию метода аналогов при решении такого рода задач.

Следует также предостеречь от увлечения физическими моделями для описания максимального стока, расчетная величина которого является исходной для расчета инженерных сооружений, в первую очередь гидротехнических. Если бы даже удалось создать достаточно достоверную модель, связывающую сток с обуславливающими факторами, применение ее не открывает путей для однозначной оценки расчетного максимального расхода воды: если же еще можно представить себе наличие оценок предельной интенсивности ливня, то его продолжительность и характер охвата ливнем территории водосборного бассейна в принципе допускают лишь вероятностное описание. При снеговых половодьях все составляющие, в том числе толщина снегового покрова, допускают лишь вероятностное описание. Таким образом, попытка детерминированного описания максимальных расходов воды лишь переносит применение ста-

статистических методов со стока на обуславливающие его факторы; конечное описание стока все равно будет носить вероятностный характер.

7. Для стохастических моделей годовых величин составляющих водного баланса, следует констатировать, что трехпараметрическое распределение вероятностей С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля (как безусловное) с достаточной гибкостью описывает обсуждаемые процессы; однако третий параметр распределения – асимметрию – приходится нормировать. Для годового стока достаточное приближение дает значение, равное удвоенному коэффициенту вариации, а для годовых величин осадков $1,5C_y$. Для максимальных расходов воды приходится идти на групповой анализ региональных материалов наблюдений за режимом рек, находящихся в однородных природных условиях.

Сложнее вопрос об условных распределениях вероятностей. Можно считать доказанным наличие положительной корреляции между последовательными значениями стока (до 0,4–0,5), что обуславливает "тенденцию к сохранению аномалий" – повышенную вероятность маловодного года после маловодного и многоводного после многоводного. Эта тенденция приводит к существенному увеличению повторяемости длительных серий маловодных и многоводных лет, особенно на реках аридной зоны. Характер затухания автокорреляционных функций близок к закономерностям, отвечающим простой цепи Маркова. Одна из модификаций (линейная корреляция между обеспеченностями стока смежных лет) оказалась, по проработкам Д.Я. Ратковича, приемлемым приближением для описания колебаний годовых величин стока; числовой параметр модели – коэффициент автокорреляции между смежными величинами – оказался зависящим от удельной водности реки в интервале значений от 0,1 до 0,5.

Указанные выше статистические закономерности колебаний годового стока в принципе справедливы для осадков и испарения, причем в рядах осадков корреляция проявляется слабее, чем в рядах стока, а в рядах годового испарения – сильнее.

Необходимо кратко остановиться на приобретающих большую актуальность прогнозах изменения стока и других составляющих водного баланса под влиянием современных изменений климата, в частности обусловленных глобальным потеплением. Для практических приложений недопустимо ограничиваться оценкой вероятных изменений нормы стока: влияние этого фактора на условия водообеспечения, на состав и режим эксплуатации водохозяйственных установок может оказаться даже меньшим, чем возможное влияние нарушения изменчивости стока.