

Executive Summary

in English, and also in Arabic, Chinese, French, German, Japanese, Russian and Spanish

This book is the final output from the Hydrology 2020 Working Group, which comprised 12 young hydrological and water resources specialists from around the world. The Group was established by the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) in 2001 with the primary goal of identifying future scientific directions in hydrology and how these relate to addressing the water challenges that are expected to prevail by 2020. By that time it is predicted that 40% of the world's population (over three billion people) will live in areas where water resources are catastrophically low, even under a sustainable development scenario. Integrated water resources management is therefore critical for future development and ensuring the health and welfare of individuals and ecosystems around the world. The science of hydrology underpins effective water resources management by providing estimates of the quantity and quality of available water resources and predicting the effects of global change on these.

Bottlenecks and challenges to progress in hydrological science may be categorized as scientific (incomplete understanding of processes, limitations in modelling, lack of data quantity and quality, scale incompatibility); technological (lack of appropriate sensors, lack of useful data management infrastructure); and organizational (disconnect between policy makers and scientific strategy, lack of coordination and testing standards, lack of public awareness, difficulties in technology transfer and capacity building). The hydrological cycle involves various processes working at different temporal and spatial scales. Many gaps still exist in process understanding, in particular the coupling and feedbacks between atmospheric–biological–geochemical and hydrological processes. Appropriate long-term, short-term, microscale and macro-scale observations are critical for defining and predicting the behaviour of the relevant hydrological processes. There is still great difficulty in the accurate quantification of water fluxes and their controlling parameters, but new approaches involving non-destructive and *in situ* measurements will improve our existing observation networks. Data fusion represents a partial solution to addressing current challenges associated with inadequate data collection, but the full solution rests with developing new approaches and technologies. To maximize the utility and transferability of hydrological data, guidance and standards for data collection and management should be developed and applied to multi-scale observatories in a variety of settings. Modelling is a key area in hydrology for predicting the response of basins, especially ungauged basins, to land use and climate changes. Future efforts in modelling should focus on appropriate field measurements for model parameterization, quantification of model uncertainty and development of new regionalization techniques.

We are at a point in the evolution of hydrology where many of the complex problems that exist can only be solved with improved political and organizational support, with more funds committed over the long term to technological development, research and monitoring, and with an emphasis on coupled scientific approaches. Interdisciplinary research within and between hydrology and other disciplines, including social, political and economic sciences, is essential. Increased efforts should be directed towards capacity building and professional training in hydrology, particularly in developing countries. This should be accompanied by improved communications between scientists and policymakers to ensure that hydrological expertise is translated into actions that address water challenges. To help make progress on these issues we recommend the establishment of a *global hydrological intergovernmental organising mechanism* the main task of which would be to strengthen coordination and cooperation among existing international organizations in the fields of water resources management and hydrology. The report discusses the nature of the proposed mechanism and presents a number of other recommendations in its various chapters that we hope will spur a debate on the role of hydrology, hydrologists and water resources managers in solving the global water challenges.

الخلاصة

يمثل هذا الكتاب الطبعة النهائية الصادرة من فريق العمل "هيدرولوجي 2020"، والذي يتكون من إثناعشر خبيراً في مجال الهيدرولوجيا ومصادر المياه من مختلف دول العالم. إنطلق هذا الفريق من الجمعية الدولية لعلوم الهيدرولوجيا عام 2001، حيث أن من أهم الأهداف الرئيسية لهذا الفريق تحديد الملامح المستقلة لطرق العلمية في مجال الهيدرولوجيا وكيفية ربطها بالتحديات المتوقعة بحلول عام 2020 م. حيث يتوقع في هذا الوقت ما نسبته 40 % من سكان العالم (أي حوالي 3 بليون نسمة) سيعيشون في مناطق شحيحة المصادر بالمياه وذات وضع مأساوي أقل من خط التنمية المستدامة. لهذا فإن إدارة مصادر المياه مهمة جداً في تحديد مستقبل التنمية وتأمين الوضع الصحي والرخاء للسكان إلى جانب الوضع البيئي في دول العالم. يلعب علم الهيدرولوجيا دوراً أساسياً في تعزيز وتفعيل إدارة مصادر المياه من حيث إعطاء تقديرات عن كمية ونوعية مصادر المياه المتوفرة وإمكانية تأثيرها بالتغير العالمي.

يمكن تصنيف التحديات التي تواجهه تقدم الهيدرولوجيا لثلاث جمادات: علمية (صعوبة القدرة على فهم العمليات الهيدرولوجية، حدود النماذج الرياضية المستخدمة، قلة كمية ونوعية المعلومات، وعدم توافق مقاييس المعلومات المستخدمة)، تكنولوجية (قلة المستشعرات المناسبة وأيضاً البنية التحتية لإدارة المعلومات)، وتنظيمية (عدم التنسيق بين صانعي القرار والإستراتيجيات العلمية، غياب التسويق والتجارب القبالية، قلة الوعي العام، وصعوبات نقل التكنولوجيا). تحتوي الدورة الهيدرولوجية على عدة عمليات تعمل على مقاييس وقنية ومكانية مختلفة. العديد من هذه العمليات لا زالت بها بعض الفрагادات التي تحتاج إلى كثير من الفهم، لاسيما التبادل بين العمليات الجوية - البيولوجية - الكيميائية - والعمليات الهيدرولوجية. لذلك فإن عمليات الرصد والمشاهدة قصيرة وطويلة الأمد ذات مقاييس دقيقة وكبيرة تعتبر ضرورية لفهم وتعريف وتوقع سلوك هذه العمليات ذات الصلة بالعمليات الهيدرولوجية. لا تزال هناك صعوبة كبيرة في تحديد تدفق المياه والعوامل المسبيبة له، ولكن مع وجود الطرق الحديثة البناءة والقياسات الميدانية يمكن تحسين شبكات الرصد والمراقبة. يعتبر دمج المعلومات (Data fusion) حل جزئياً للتحديات المتعلقة بجمع المعلومات، ولكن الحل الكامل يعتمد على تطوير الطرق العلمية والتكنولوجية. لكي يتم تحقيق أكبر قدر ممكن من استخدام ونقل المعلومات الهيدرولوجية، لابد من تطوير آلية الإرشاد والمواصفات اللازمة لجمع المعلومات وإدارتها وكذلك تطبيقها بمقاييس وضوابط مختلفة.محاكاة الطبيعة بالنماذج الرياضية (Modelling) يعتبر عالماً مهماً في التنبؤ بما يحدث في الأحوالات المائية (خاصة الغير مجهزة بمحطات قياس) وعلاقتها بتغيير استخدام الأرض وكذلك التغير المناخي. من هنا، يجب التركيز في النماذج الرياضية المستقلة (Modelling) على القياسات الميدانية المناسبة من حيث العاملية والكمية لمقدار الشك (Uncertainty) وأيضاً تطوير التقنيات المكانية.

نشهد حالياً ثورة في الهيدرولوجيا حيث أن الكثير من المشاكل الموجودة لا يمكن حلها إلا بدعم سياسي ونظامي متتطور مع الدعم المالي طويلاً الأمد لتنمية التكنولوجيا والبحث والمراقبة إلى جانب التركيز على الطرق العلمية المترابطة إن البحث العلمي المتعدد التخصصات في الهيدرولوجيا ومع التخصصات الأخرى كالعلوم الإنسانية والسياسية والإقتصادية ضروري جداً. لذلك يجب توجيه زيادة الجهود في التدريب الفني في الهيدرولوجيا خاصة في الدول النامية. كل ذلك يجب أن يكون مصحوباً باتصال متتطور بين العلماء وصانعي القرار للتأكد من أن الخبرات الهيدرولوجية يتم ترجمتها للواقع في تحديد ودراسة التحديات المائية. ولتحقيق ذلك، نقترح إنشاء آلية تنظيم شبه حكومية *للهيدرولوجيا العالمية*، حيث تقوم بتنمية التنسيق والتعاون بين المنظمات الدولية في مجالات مصادر المياه والهيدرولوجيا. يناقش هذا التقرير طبيعة الآلية المقترحة وكذلك العديد من الإقتراحات في فضوله المختلفة والتي نتمنى أن تدفع وتحث على مناقشة دور الهيدرولوجيا والهيدرولوجيين وأيضاً مسؤولي مصادر المياه في حل تحديات المياه العالمية.

摘要

本书是国际水文科协2020工作组的最终报告。该工作组由国际水文科协 (International Association of Hydrological Sciences, IAHS) 于2001年成立。它由来自世界各地12名年轻的水文和水资源专家组成。该工作组的主要目标是指明未来水文科学的发展方向及其2020年的水文科学如何为解决全球水危机做出贡献。据估计到2020年，即使在可持续发展的情景下，全世界将有40%的人口（超过30亿人口）生活在水资源亏缺的地区。所以，综合水资源管理对未来经济发展，人民健康，生态良性循环等都极其重要。水文科学不仅为水资源管理提供水量和水质信息，而且可以预测全球变化对区域水文情势的影响。

目前水文科学发展的“瓶颈”和挑战可以分为三大类：科学研究（对水文过程的不完全了解，模型的局限，水量和水质数据的缺乏，尺度的不一致等），现有技术（缺乏适宜的探测仪，缺乏数据管理的基础设施等），和组织管理（管理者和科学家缺乏有机的联系，缺乏协调和标准，宣传力度不够，技术转化和能力建设的困难等）。水文循环过程涉及到许许多多不同时空尺度的过程。对这些过程的了解还存在着许多未知因素，例如，大气-生物-地球化学过程和水文过程的相互影响及反馈机制。长期和短期，宏观和微观相互结合的观测都对理解水文过程至关重要。目前，虽然精确量化水气通量和它们的控制参数还非常困难，但是新的不破坏水文过程的野外站点观测将改善现存的观测网络。虽然数据整合将部分解决当前数据观测不足的问题，但是对水文数据问题的彻底解决仍然依赖于新的方法和技术。为了最大限度的使用和交换水文数据，应当建立数据采集的方法和标准，并且应该在多种不同的时空尺度和自然条件下采集数据。模型是水文科学一种重要的研究手段，它可以预测流域对气候变化和土地利用变化的响应，特别是在无观测资料的地区。今后水文模型的研究方向是利用野外观测资料确定模型参数，量化模型的不确定性，和发展新的区域化技术。

当前水文科学正处在一个这样发展阶段：许多复杂的问题只有得到更好的政治和管理支持，更多的资金支持长期的技术发展，研究和观测，更多的科学集成才可以解决。水文科学和别的学科（例如社会学，政治学，经济学）的相互交叉对水文科学至关重要。能力建设和专业人员培训，特别在发展中国家，应该加大投入。科学家和决策者应该更好的沟通，使水文学家能够参与到政策的制定与实施过程中来解决水危机问题。为了在这些问题上取得进步和增强水文团体的作用，我们推荐成立全球水文政府间组织机构。它的主要任务是加强现有涉及到水资源

管理和水文学的国际组织之间的协调和合作。本报告讨论了设想机构的性质，在每个章节都提出了一系列的建议，我们希望由此展开水文学，水文学家，和水资源管理者在解决全球水危机问题中作用的讨论。

Résumé

Ce livre est le rapport final du groupe de travail “Hydrology 2020”, qui comprenait douze jeunes spécialistes de l’hydrologie et des ressources en eau du monde entier. Le groupe a été constitué en 2001 par l’Association Internationale des Sciences Hydrologiques (AISH) avec pour mission première d’identifier les directions futures de recherche en hydrologie et leur lien avec les réponses qui seront apportées aux défis liés à l’eau prévus pour 2020. A cet horizon, on estime que 40% de la population mondiale (soit plus de trois milliards de personnes) vivra dans des régions aux ressources en eau extrêmement faibles, même sous l’hypothèse d’un scénario de développement durable. Aussi, une gestion intégrée des ressources en eau est-elle critique pour permettre le développement futur et assurer la santé et le bien-être des individus et écosystèmes du monde entier. Les sciences hydrologiques permettent une gestion effective des ressources en eau en fournissant des estimations quantitatives et qualitatives des quantités d’eau disponibles et en prévoyant les effets d’un changement global sur celles-ci.

Les obstacles et les défis pour progresser dans les sciences hydrologiques sont à la fois scientifiques (compréhension incomplète des processus, limites de la modélisation, faiblesses de la qualité et/ou de la quantité des données, incompatibilités d’échelle), technologiques (absence de capteurs appropriés, d’infrastructures utiles à la gestion des données) et organisationnels (incohérences entre décisions politiques et stratégies scientifiques, manque de coordination et de tests standards, absence de sensibilisation du grand public, difficultés dans le transfert de technologie et le renforcement des moyens humains et financiers). Le cycle hydrologique met en jeu de multiples processus intervenant à différentes échelles de temps et d’espace. De nombreuses zones d’ombre existent encore dans la compréhension des processus, en particulier dans le couplage et les rétro-actions entre les processus atmosphériques, biologiques, chimiques d’une part, hydrologiques d’autre part. Des observations appropriées à court et long terme, à micro et macro-échelle, sont critiques pour définir et prévoir le fonctionnement des processus hydrologiques prédominants. La quantification précise des flux d’eau et des paramètres les contrôlant reste encore problématique, mais de nouvelles approches utilisant des mesures non-destructives et *in situ* amélioreront les réseaux d’observations existants. La fusion de données représente une solution partielle aux défis actuels liés à la collecte inadaptée des données, mais une solution complète passera par le développement de nouvelles approches et technologies. Afin d’optimiser l’utilité et les possibilités de transfert des données hydrologiques, des guides et des normes pour la constitution et la gestion des jeux de données devront être conçus et appliqués à des observations multi-échelles dans différents contextes. La modélisation est un outil-clef en hydrologie pour prévoir la réponse de bassins versants (en particulier des bassins non jaugés) à l’action de l’homme et aux changements climatiques.

Les efforts futurs en modélisation devront porter sur des mesures terrain appropriées pour la paramétrisation des modèles, la quantification de l'incertitude de modélisation et le développement de nouvelles techniques de régionalisation.

Nous avons atteint un point dans l'évolution de l'hydrologie où de nombreux problèmes existants ne peuvent être résolus que grâce à un soutien politique et organisationnel plus marqué, à des fonds assurés sur le long terme pour le financement du développement technique, de la recherche et des mesures et à un renforcement des approches scientifiques couplées. La recherche interdisciplinaire au sein de l'hydrologie et avec les autres disciplines, telles que les sciences sociales, politiques et économiques, est essentielle. Des efforts soutenus doivent porter sur le renforcement des moyens humains et financiers et la formation professionnelle en hydrologie, en particulier dans les pays en voie de développement. Cela devrait s'accompagner d'une amélioration de la communication entre scientifiques et décideurs afin de s'assurer que l'expertise hydrologique se traduise en actions concrètes répondant aux défis liés à l'eau. Afin de progresser dans la résolution de ces problèmes, nous recommandons la mise en place d'un mécanisme d'organisation hydrologique global et intergouvernemental dont le principal objectif serait de renforcer la coordination et la coopération entre les organisations internationales existant dans le domaine de la gestion des ressources en eau et de l'hydrologie. Ce rapport traite de la nature du mécanisme proposé et présente un certain nombre de recommandations au fil des différents chapitres; nous espérons qu'elles susciteront un débat sur le rôle de l'hydrologie, des hydrologues et des gestionnaires des ressources en eau pour relever les défis globaux liés à l'eau.

Zusammenfassung

Das vorliegende Buch beinhaltet die Ergebnisse der Working Group Hydrology 2020, jener internationalen Arbeitsgruppe, welche aus zwölf jungen, internationalen Experten im Bereich Hydrologie und Wasserressourcenmanagement besteht. Diese Arbeitsgruppe wurde 2001 von der IAHS (International Association of Hydrological Sciences) mit dem Ziel ins Leben gerufen, die zukünftigen wissenschaftlichen Strömungen zu identifizieren, die den Herausforderungen beim Umgang mit den Wasserressourcen im Jahr 2020 am besten gerechtwerden. Sogar wenn man eine nachhaltige Entwicklung der globalen Ressourcen annimmt, ist davon auszugehen, dass zu diesem Zeitpunkt 40% der Weltbevölkerung (das sind mehr als 3 Milliarden Menschen) in Regionen mit äußerst knappen Wasserressourcen leben werden. Es ist daher heute schon evident, dass intergriertes Management der vorhandenen Wasserressourcen ein Schlüsselfaktor bei der weltweiten Erhaltung und nachhaltigen Entwicklung des Gesundheitszustands einzelner Individuen bis zu ganzen Ökosystemen ist. In der wissenschaftlichen Forschung im Bereich der Hydrologie kommt dabei der Abschätzung der zukünftigen Qualität und Quantität des zur Verfügung stehenden Wassers und Prognosen zur Auswirkung des globalen Klimawandels auf die vorhandenen Wasserressourcen eine besondere Bedeutung zu, um eine effizientere Nutzung der Ressource Wasser zu ermöglichen.

In diesem Zusammenhang stellen insbesondere wissenschaftliche (unvollständiges Verständnis über einzelne hydrologische Prozesse, Skaleninvarianz, Einschränkungen bei Modellanwendungen sowie Mangel an quantitativen und qualitativen Daten), technologische (Mangel an geeigneter Sensorik und adäquater Infrastruktur zum Datenmanagement) sowie organisatorische Mängel (Abkopplung politischer Entscheidungen von wissenschaftlichen Strategien und Erkenntnissen, mangelnde öffentliche Wahrnehmung der Probleme, fehlende Koordination und standardisierte Verfahren sowie unzureichender Technologietransfer und Ausbildung) die wesentlichen Herausforderungen und Hindernisse bei der weiteren Entwicklung der hydrologischen Forschung dar. Die Prozesse, welche den hydrologischen Kreislauf bestimmen, laufen auf unterschiedlichsten räumlichen und zeitlichen Skalen ab. Allerdings werden diese Prozesse noch nicht vollständig verstanden, insbesondere dort, wo es sich um Wechselbeziehungen und Rückkopplungen zwischen hydrologischen und atmosphärischen/biologischen/chemischen Prozessen handelt. Für die Beschreibung und Vorhersage bestimmter hydrologischer Prozesse sind daher ausreichende kurz- und langfristige Beobachtungen auf mikro- und makro Ebene essentiell. Nach wie vor ist die quantitative Beschreibung von Wasserflüssen und deren zugrundeliegenden Prozessen und Parametern nicht ausreichend genau möglich, allerdings ist davon auszugehen, dass durch neue Ansätze, wie nicht-destructive oder in situ Messungen, bestehende Beobachtungsnetze nachhaltig verbessern werden können. Datenfusion bietet dabei

nur teilweise eine Lösung, um die vorherrschende, inadäquate Datenerfassung zu verbessern. Erst durch die Entwicklung und Anwendung neuer Ansätze und Technologien wird eine ganzheitliche Lösung dieses Problems erreichbar sein. Um zukünftig hydrologische Daten bestmöglich nutz- und übertragbar zu machen, sollten Anleitungen und Standards bei der Datensammlung und – verwaltung erstellt werden und bei unterschiedlichen Randbedingungen angewendet werden. Zu den Hauptschwerpunkten in der Hydrologie zählen Vorhersagemodelle auf Einzugsgebietsebene und deren Verhalten unter geänderten Landnutzungs- und klimatischen Bedingungen, insbesondere in jenen Einzugsgebieten, wo keine Beobachtungen vorliegen. Daher sollten zukünftige Entwicklungen in der Modellierung vor allem Feldmessungen zur Modellparameterisierung, die Quantifizierung von Modellunsicherheiten und die Entwicklung neuer Regionalisierungsansätze umfassen.

Zum jetzigen Zeitpunkt bezüglich der Entwicklung der Hydrologie werden viele der komplexen, hydrologischen Probleme nur zu lösen sein, sofern die entsprechende politische und organisatorische Unterstützung vorliegt, sofern langfristig mehr Mittel für technische Entwicklung, Forschung und Monitoring bereit gestellt werden und sofern gekoppelte wissenschaftliche Ansätze verstärkt verfolgt werden. Daher kommt auch der interdisziplinären Forschung innerhalb der Hydrologie und im Spannungsfeld zu anderen Disziplinen wie Sozial-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften eine wesentliche Bedeutung zu. Insbesondere in Entwicklungsländern sollten folglich verstärkte Maßnahmen zur Ausbildung sowie zur Fort- und Weiterbildung ergriffen werden. Schließlich sollte eine verstärkte Kommunikation zwischen Wissenschaftern und politischen Entscheidungsträgern dazu beitragen, dass die im Bereich der Hydrologie vorhandene Expertise auch tatsächlich in konkrete Maßnahmen umgesetzt wird. Um hierbei Fortschritte zu erzielen, empfehlen wir einen globalen, hydrologischen und zwischenstaatlichen Organisationsmechanismus zu installieren, welcher hauptsächlich dazu dient, die Koordination und Zusammenarbeit der bestehenden internationalen Organisationen im Bereich der Wasserressourcenplanung und der Hydrology zu stärken. Der vorliegende Bericht stellt in seinen einzelnen Kapiteln Empfehlungen vor, von denen wir hoffen, dass sie die Diskussionen über die Rolle, welche Hydrologie im allgemeinen und Hydrologen und Ressourcenmanager im besondern bei dem nachhaltigen Management der globalen Herausforderungen im Bereich Wasser einnehmen sollten, stimulieren.

概要

この本は世界中から集まった12人の若い水文学や水資源の専門家達による「2020年の水文学ワーキンググループ」の最終成果です。このグループは水文学の将来の科学的な方向性と、それを2020年までに世界を席捲すると予想されている水問題への取り組みにどう結びつけていくかの道筋を明らかにすることを主な目標として、国際水文学学会（IAHS）によって2001年に設けられました。持続可能な発展シナリオに従ったとしても、2020年には世界人口の40%以上(30億人以上)の人々が、水資源が壊滅的に足りない地域に住むことになると予想されています。従って、将来の発展や人々の健康や福祉、そして世界中の生態系が損なわれないようにするために統合的な水資源マネジメントが必要不可欠です。水文学は、こうした効率的な水資源マネジメントを実現するための基礎として、利用可能な水資源の量や質、そしてグローバルな変動が水資源に及ぼす影響に関する推定を提供してくれる学問です。

水文学を発展させるために克服すべき課題は、科学的課題（プロセスに関する不完全な理解、モデル化の限界、量的および質的に不十分なデータ、スケール依存性）、技術的課題（適切なセンサーが足りないこと、便利に使えるデータ管理設備がないこと）、そして組織的課題（政策立案者と科学的な戦略の乖離、標準規格の調整や試験体制の欠落、世間の関心の不足、技術移転や能力開発の困難さ）にわけることができるでしょう。水文循環にはいろいろな時間的、空間的スケールで機能している様々なプロセスが含まれています。プロセスの理解にあたってはまだまだ不明な点が多く、特に、大気—生物—地球化学的プロセスと水文プロセスとの連動や相互作用について理解を深める必要があります。重要な水文プロセスの挙動を明らかにし、予測するためには、長期や短期、ミクロスケールやマクロスケールの適切な観測が不可欠です。水フラックスやその挙動を決めているパラメータを厳密に定量化するのは現在でも非常に困難ですが、非破壊試験や現地観測などを含む新たな方法により、現在の観測体制を良くしていくことができるでしょう。データの収集が不十分である問題への取り組みとして、データの統合化は部分的な問題解決につながりますが、根本的な解決のためにはやはり新たな方法と技術革新が必要です。水文データが最大限広く有効に利用されるようにするために、データ収集とデータマネジメントに関する指針と基準が必要で、様々な状況における多様なスケールの観測に適用されねばなりません。水文学において、河川流域、とくに、観測が少ないかまったく観測がないような流域が、土地利用変化や気候変動に対してどのよ

うに応答するかを予測する重要な研究領域はモデリングです。モデルのパラメータ化に即した現地観測、モデルの不確実性の定量化、そして地域特性の表現に関する新たな手法の開発などに今後のモデリング研究は力を傾注すべきです。

共同研究に重点を置いた技術開発や研究、そして観測・モニタリングに長期間携わることができるような政策的・組織的な支援がないと、現実社会の複雑な水問題の多くは解決できない、という発展段階に水文学はきています。共同研究としては、水文学という分野内、また、社会学や政治学、経済学を含む他の学問分野との学際的な研究が重要です。また、特に途上国においては、水文学に関する能力開発と専門的訓練にもっと力が注がれるべきです。そのためには、科学者と政策立案者との間のコミュニケーションがもっと密になり、水文学に関する専門的知識が水問題への実際の取り組みに役立つ、ということを理解してもらう必要があります。こうした問題の解決へ向けて、水資源マネジメントや水文学に関する既存の国際機関の間の連携や協力を推進する役割を持った『世界的に水文学を組織する政府間機関』の設置を我々は提案しています。このレポートでは、さまざまな章で数多くの推奨や提案がなされています。それらによって、グローバルな水問題解決へ向けての水文学や水文学者、そして水資源マネジメント責任者の役割に関する議論に拍車がかかることを我々は心から期待しています。

РЕЗЮМЕ

Книга представляет собой окончательный отчет Рабочей Группы «Гидрология 2020», в которую вошли 12 молодых специалистов по гидрологии и водным ресурсам со всего мира. Группа была организована Международной Ассоциацией Гидрологических Наук в 2001 г.; ее главная цель – определение будущих научных направлений в области гидрологии, наиболее тесно соприкасающихся с глобальной водной проблемой, которая, как ожидают, будет преобладать к 2020 году. К тому времени, согласно прогнозам, 40% населения Земного шара (свыше 3 млрд. человек) будет жить в условиях критической ситуации с водными ресурсами даже при сценарии устойчивого развития. Поэтому интегрированное управление водными ресурсами является основополагающим фактором для будущего развития и обеспечения здоровья и благосостояния людей и экосистем по всему миру. Гидрология как наука является основой для эффективного управления водными ресурсами, обеспечивая надежную оценку количества имеющихся водных ресурсов и прогнозируя влияние глобальных климатических и антропогенных изменений на водные ресурсы.

Будущие проблемные вопросы в гидрологии можно классифицировать на: научные (неполное понимание процессов, ограничения в моделировании, отсутствие данных о количестве и качестве, несовместимость масштабов); технологические (отсутствие соответствующих приборов и оборудования, отсутствие рациональной инфраструктуры организации получения и хранения данных); и организационные (отсутствие связи между теми, кто определяет политику и научную стратегию, отсутствие координации и тестирования стандартов, отсутствие информации в обществе). Гидрологический цикл включает в себя различные процессы, протекающие в разных пространственно-временных масштабах. Существует много проблем в понимании взаимных связей между атмосферно-био-геохимическими и гидрологическими процессами. Долгосрочные, краткосрочные, микро- и макромасштабные наблюдения являются основой для определения и прогноза соответствующих гидрологических процессов. Существует большая трудность точного количественного определения потоков воды и параметров, их контролирующих. Однако новые подходы, включающие как дистанционные, так и измерения *in situ*, позволяют усовершенствовать существующие в мире сети наблюдений.

Комплексное использование данных представляет собой лишь частичное решение современных гидрологических проблем; полное решение возможно при разработке новых подходов и технологий. Для максимального использования и передачи гидрологических данных необходима разработка руководящих принципов и стандартов по сбору и контролю данных и их применению в комплексных исследованиях в различных вариантах. Моделирование является ключевой областью в гидрологии для прогнозирования процессов, происходящих в пределах водосборов, особенно это касается неизученных бассейнов. Будущие попытки в моделировании следует сконцентрировать на соответствующих полевых измерениях для параметризации модели, для количественного уточнения неопределенности модели и разработки новой техники районирования.

В настоящее время гидрологическая наука находится на стыке многочисленных сложных проблем, которые могут быть разрешены при более совершенной политической и организационной поддержке, при более полном финансировании долгосрочных технологических разработок, мониторинга и научных исследований по различным направлениям гидрологической науки. Необходимы междисциплинарные исследования при изучении гидрологических проблем, включая социальные, политические и экономические науки. Более серьезные усилия следует направить на профессиональную подготовку в области гидрологии, особенно в развивающихся странах. Эти усилия должны сопровождаться более тесным сотрудничеством между учеными и политиками с целью обеспечения гидрологическими обоснованиями любых проводимых мероприятий, связанных с водой. Для решения всех этих проблем мы рекомендуем организовать *глобальный гидрологический межправительственный организационный механизм*, главная цель которого будет заключаться в координации и содействии более тесного сотрудничества среди существующих международных организаций в области гидрологии и управления водными ресурсами. Настоящий отчет освещает наиболее актуальные гидрологические проблемы и дает ряд рекомендаций, которые, как мы надеемся, вызовут интерес и дискуссию среди гидрологов и специалистов по управлению водными ресурсами при решении глобальных водных проблем.

Resumen

Este libro surge como producto final del Grupo de Trabajo “Hydrology 2020”, el cual estaba compuesto por doce jóvenes de todo el mundo, especialistas en hidrología y recursos hídricos. El grupo fue creado en el año 2001 por la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (International Association of Hydrological Sciences, IAHS), con el objetivo principal de definir las líneas de investigación a seguir, y relacionarlas con los problemas hidrológicos previstos para el año 2020. Se estima que para dicha fecha el 40% de la población mundial (más de tres billones de personas) vivirá en zonas del planeta en donde la escasez de agua será catastrófica, incluso bajo un escenario de desarrollo sostenible. El manejo integrado de los recursos hídricos resulta entonces de suma importancia para asegurar las condiciones de salud y bienestar, y en general de desarrollo, de todos los individuos y ecosistemas del mundo. La hidrología ayuda a manejar los recursos hídricos de manera eficaz, al proporcionar estimaciones de la cantidad y calidad de agua disponible y al predecir los efectos de los cambios globales sobre dichos recursos.

Los problemas y obstáculos en el avance de la hidrología se pueden categorizar como científicos (entendimiento incompleto de los procesos, limitaciones en modelización, insuficiencia en la cantidad y calidad de datos, incompatibilidad de escalas), tecnológicos (falta de sensores apropiados y de infraestructuras eficaces para el manejo de datos) y organizativos (desconexión entre los políticos y las estrategias científicas, falta de coordinación y evaluación de estándares, falta de conciencia pública, dificultades en la transferencia de tecnología y en la capacitación). El ciclo hidrológico comprende múltiples procesos que ocurren a diferentes escalas temporales y espaciales. Aún existen muchos vacíos, en particular sobre la comprensión de las relaciones entre los procesos atmosféricos-biológicos-geoquímicos y los hidrológicos. Para conocer y predecir el comportamiento de los procesos hidrológicos relevantes, es esencial realizar observaciones apropiadas a corto y largo plazo, como también a micro y macro escala. Todavía sigue siendo muy difícil cuantificar con exactitud los flujos de agua y los parámetros que los controlan, pero nuevos métodos que incluyen mediciones *in situ* no destructivas, mejorarán las ya existentes redes de observación. El agrupamiento de datos puede ser una solución parcial de los problemas actuales relacionados con su toma inadecuada, pero la solución completa se encuentra en el desarrollo de nuevos métodos y tecnologías. Para maximizar la utilidad y transferencia de los datos hidrológicos se deberían elaborar guías y protocolos para la recolección y el manejo de dichos datos con el fin de aplicarlos a diferentes escalas y bajo diferentes condiciones. La modelización de procesos es un tema clave en hidrología para la predicción del comportamiento de las cuencas, especialmente de las que no han sido monitoreadas, frente a los cambios en el uso del suelo y el clima. Futuros esfuerzos se deberían concentrar en la parametrización de los modelos mediante una toma fiable de

datos de campo, en la cuantificación de su grado de incertidumbre y en el desarrollo de nuevas técnicas de regionalización.

Llegamos a un punto en la evolución de la hidrología, en donde muchos de los problemas complejos que existen sólo pueden resolverse con un mejor apoyo político y organizativo, con mayor cantidad de fondos dedicados al desarrollo tecnológico, investigación y monitoreo a largo plazo, y con especial énfasis en los enfoques científicos interconectados. Es esencial realizar investigaciones interdisciplinarias dentro y entre la hidrología y otras disciplinas, incluyendo las ciencias sociales, políticas y económicas. También se deberían aumentar los esfuerzos en la capacitación y el entrenamiento de profesionales en hidrología, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Todo esto debería ir acompañado por una mejor comunicación entre científicos y políticos, para asegurar que el conocimiento de los expertos se materialice en acciones que ayuden a resolver los problemas del agua. Para ayudar en el progreso de estos temas, recomendamos el establecimiento de un *mecanismo organizativo hidrológico intergubernamental global*, cuya tarea principal sería fortalecer la coordinación y cooperación entre organizaciones internacionales existentes en los campos de la hidrología y del manejo de recursos hídricos. Este informe discute la naturaleza de este mecanismo y presenta varias recomendaciones dentro de cada capítulo, que esperamos generen debate en cuanto al papel de la hidrología, de los hidrólogos y de los manejadores de recursos hídricos para enfrentar el desafío que supone el manejo global del agua.

Foreword

There is much evidence to show that progress in this world is not achieved by establishing institutions or through the application of rules and regulations, however worthy they might be, but by the initiative and hard work of individuals. Certainly, this is true for the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) and its activities, which depend so much on the commitment and enthusiasm of its individual members. It is clear that the future of the Association will be in the hands of its younger members and so it is particularly important to maintain their enthusiasm and to involve them in setting out a vision of the future in which they can see a role for themselves.

This is not easy to achieve through the established mechanisms of the Association and so another route was sought some 22 years ago when IAHS established a working group of young hydrologists to consider and report on the prospects for hydrology through to the end of the 20th century. Their report was completed and published in 1987 under the title: *Hydrology 2000*.

In the late 1990s, as the start of the new millennium approached, the idea was launched to establish a similar group and in July 2001 the Hydrology 2020 Working Group was set up with a membership representative of all branches of the hydrological sciences and all regions of the world. They were charged with looking into the potential and opportunities of hydrological sciences in the foreseeable future.

Quite rightly, they have not spent too much time looking back over their shoulders at what was written in 1987, but have focused on what lies ahead and in doing so they have adopted a much broader view than their predecessors. They have addressed a wider range of topics and have taken the initiative of making more explicit recommendations on many of the subjects that they have considered.

One thing that has been retained, however, is the independence given to those concerned. Both then and now, the working groups have written their own reports and drawn their own conclusions. On more than one occasion, but particularly in Foz do Iguaçu in April 2005, they presented their findings for discussion by the wider IAHS community. While they have surely considered the comments offered by us older hydrologists, no-one has been looking over their shoulders or filtering what they have written and so this report is entirely theirs. This is as it should be because the future of hydrology itself is in their hands and those of their colleagues.

It is my pleasant duty, on behalf of the Association, to thank the members of the Hydrology 2020 Working Group for all the work they have put into this report. In particular, we owe a considerable debt of gratitude to Taikan Oki for his enthusiasm and untiring efforts as chair of the Group over the past four years.

Finally, may I suggest that the greatest compliment we can pay to the members of the Hydrology 2020 Working Group for the efforts they have expended on our behalf

would be to use their report as a basis for a continuing debate on the future of the hydrological sciences. They were not expected to concentrate so much on providing accurate predictions of future developments, but to create enthusiasm for future challenges. Some will agree with their analyses, others may not. Some will endorse their recommendations, while others may offer alternative proposals. The important thing, however, is to open and maintain a constructive debate on the future. This is important, not only as a basis for planning the activities of IAHS, but for promoting the further development of the hydrological sciences themselves—looking over our shoulders from time to time, but focussing always on the challenging road ahead.

*Arthur J. Askew
IAHS President, 2003–2009*

Contents

Executive Summary	v
Foreword <i>by Arthur Askew</i>	xxi
Preface <i>by Taikan Oki</i>	xxvii
The Hydrology 2020 Working Group Members	xxx
Acknowledgements	xxxi
1 Introduction	
Kate Heal, Johan Kuylenstierna & Stefan Uhlenbrook	
1.1 Uniqueness of Hydrology	1
1.2 What We Feel has Changed Since the Hydrology 2000 Group's Report	2
1.3 The Aim and Scope of This Book	2
1.4 The Structure of This Book	4
2 World Water Resources, Water Use and Water Management	
Jeanna Balonishnikova, Kate Heal, Guobin Fu, Harouna Karambiri & Taikan Oki	
2.1 Introduction	5
2.2 The Importance of Global Hydrology	6
2.2.1 Hydrology as an important part of Earth System Science	6
2.2.2 Global hydrological observations	6
2.2.3 Climate change awareness and global hydrology	8
2.2.4 Global hydrology for world water resources assessment	8
2.2.5 Virtual water trade	9
2.3 Renewable Water Resources: Areal Distribution and Dynamics in Time	12
2.3.1 Assessment methodology	12
2.3.2 Water resources of the continents and natural-economic regions of the world	13
2.4 Modern and Future Trends of Freshwater Use in the World	14
2.4.1. Methodology for prediction of water use in the nearest future	15
2.4.2. New water use scenarios	16
2.4.3. Past, current and future trends in world water use using the Conventional and Sustainable Development Scenarios	17
2.5 Water Resources and Water Use	20
2.5.1 Load on water resources	20
2.5.2 Water availability per capita	21
2.6 Groundwater and River Runoff	22
2.7 Measures to Redress the Balance Between Water Resource Availability and Use	24
2.8 Land Degradation and Soil Erosion	26
2.9 Water Resources Management	28
2.9.1 The development and nature of water resources management	30
2.9.2 New trends in water resources management	33
2.9.3 Hydrology for better water resources management	36
2.10 Conclusions	37

3 Hydrology and Water Resources Management for Sustainable Development in the 21st Century

Johan Kuylenstierna, Kate Heal & Harouna Karambiri

3.1 Introduction	39
3.2 Water Resources Issues in the 21st Century	40
3.2.1 Water as a natural resource and service provider	40
3.2.2 Increased pressure on water resources in an increasingly complex world	41
3.2.3 Science, policy development and water resources management	42
3.3 Water and Societal Challenges	43
3.3.1 Water and poverty	43
3.3.2 Water and health issues	45
3.3.3 Water and wider socio-economic development issues	46
3.3.4 Water, land management and food production	47
3.3.5 Water and environmental sustainability	48
3.3.6 Water and the urban–rural nexus	49
3.3.7 Water pollution and water quality	49
3.3.8 Water and human rights	51
3.3.9 Water and security: the politics of water	52
3.4 Linking Science, Water Resources Management and Policy Processes	53
3.4.1 The global policy perspective	54
3.4.2 Linking water management with poverty reduction and socio-economic development	56
3.4.3 National-level water policy	56
3.4.4 The scientific mandate – should it include policy making?	57
3.4.5 Understanding policy-making processes and evaluations is crucial	58
3.4.6 Science in a bigger context – areas of effective intervention	59
3.4.7 Setting objectives and targets as indicators of progress	61
3.4.8 Understanding stakeholder interests and improving dialogue	61
3.5 Science Needs to Support the Further Development of Water Management	62
Paradigm Shifts – Some Examples	
3.5.1 Integrated water resources management	62
3.5.2 The river basin as a management unit in a political setting: striving for hydrosolidarity	63
3.6 Bridging the Communication Gap: Twinning Science and Policy-Making Processes	64
3.7 Conclusions and Recommendations for Future Actions	66

4 Hydrological Measurement

Caterina Valeo, Pierre Etchevers, Stewart Franks, Kate Heal, Susan Hubbard, Harouna Karambiri, Taikan Oki & Stefan Uhlenbrook

4.1. Introduction	69
4.2 Precipitation	71
4.2.1 Ground-based measurement techniques	72
4.2.2 Remote sensing of precipitation	73
4.3 Interception and Evapotranspiration	74
4.3.1 Interception	74
4.3.2 Depression storage	75
4.3.3 Evapotranspiration	76

4.4 Surface Moisture, Runoff and Discharge	79
4.4.1 Infiltration and soil moisture	79
4.4.2 Ground-based soil moisture measurements	80
4.4.3 Remote sensing for estimating soil moisture	81
4.4.4 Identifying flow pathways, runoff components and water age using tracers	82
4.4.5 Surface discharge	84
4.5 Quantification of Parameters Affecting Groundwater	85
4.6 The Cryosphere: Snow and Ice	86
4.6.1 Monitoring snowpack mass balance	86
4.6.2 Snow accumulation and distribution	88
4.6.3 Water routing in the snowpack	89
4.6.4 Modelling snowpack energy and mass balance	89
4.6.5 Snow surface energy fluxes	92
4.6.6 Snow–vegetation interactions	92
4.6.7 Future outlook for hydrology of the cryosphere	92
4.7 Measurement for Water Quality	93
4.8 Measurement for Land Erosion	95
4.9 Emerging Techniques for Hydrological Monitoring	96
4.9.1 Microsensors and networked infrastructure	96
4.9.2 Tracers and hydrogeophysical approaches	97
4.9.3 Future of remote sensing	97
4.9.4 Future of water quality monitoring	100
4.10 Data Collection Systems and Standards	101
4.11 Concluding Remarks	102
5 Hydrological Simulation Modelling	
Stewart W. Franks, Stefan Uhlenbrook & Pierre Etchevers	
5.1 Modelling Objectives	105
5.2 Different Modelling Philosophies	106
5.3 Uncertainty in Hydrological Modelling	107
5.3.1 Data uncertainty	107
5.3.2 Model structure uncertainty	108
5.3.3 Parameter uncertainty	109
5.4 Model Parameterization	110
5.4.1 Model calibration	110
5.4.2 Model verification	111
5.5 Internal States and the Issue of Commensurability	113
5.5.1 Examples of commensurability	113
5.5.2 Commensurability and interpretative models	116
5.6 Uncertainty Estimation	116
5.6.1 Current approaches to uncertainty estimation	117
5.6.2 Alternative approaches to uncertainty estimation	119
5.7 Application to Ungauged Basins	120
5.8 Concluding Remarks and Future Challenges	121
6 Intersection of Hydrology and Other Disciplines	
Kate Heal, Caterina Valeo, Taikan Oki & Susan Hubbard	
6.1 Global Change and Hydrological Cycles	123

6.2 Water and Urban Systems	124
6.2.1 Urban water supply	126
6.2.2 Urban wastewater disposal	127
6.2.3 Urban storm water management	127
6.2.4 Modelling urban systems	128
6.2.5 Freedom from flooding	130
6.2.6 Urban water in integrated basin management	131
6.3 Water and Agriculture	132
6.4 Ecohydrology/Hydroecology	133
6.5 Water and Energy	138
6.6 Conclusions and Forward Look	138
7 Hydrological Challenges: Scientific, Technological and Organizational Bottlenecks	
Susan Hubbard, Caterina Valeo & Stefan Uhlenbrook	
7.1 Scientific Challenges	141
7.1.1 Hydrological processes at the basin scale	142
7.1.2 Coupled hydrological–ecological–climate and human systems	143
7.1.3 Crosscutting problems	144
7.1.4 Steps to overcome scientific bottlenecks in hydrology	145
7.2 Technology and Infrastructure	147
7.2.1 Measurement and sampling approaches	147
7.2.2 Data access and database issues	148
7.2.3 Steps to overcome technology and infrastructure bottlenecks in hydrology	148
7.3 Organizational Capacity	150
7.3.1 Need for a global intergovernmental coordination mechanism for hydrological science and water resources	150
7.3.2 Steps to overcome organizational bottlenecks in hydrology	152
7.4 Summary	154
8 Key Messages, Recommendations and Concluding Remarks	
Stefan Uhlenbrook, Stewart Franks, Kate Heal, Susan Hubbard, Harouna Karambiri, Taikan Oki & Caterina Valeo	155
References	159
Appendices	171
A1 Former IAHS President John Rodda's Email Note	171
A2 Members' Commissions and Biographies	172
A3 Meeting Summaries	175
A4 Hydrology 2020 Working Group Flyer (disseminated June 2002)	178
A5 Supplementary Tables to Chapter 2	180
Index	187

Preface

It was just after the 2nd World Water Forum had been held in The Hague, and the Millennium Development Goals of the United Nations had been adopted by the General Assembly. The World Summit on Sustainable Development in Johannesburg, South Africa, and the 3rd World Water Forum in Kyoto had been planned, but had not been announced publicly. It was the end of October 2000 when an International Symposium “Can Science and Society Save the Water Crisis in the 21st Century?” was held in Tokyo. There were many reports detailing serious situations concerning water in the world, and several research programmes and operational initiatives to tackle these water issues were announced at the Symposium. As I participated in and listened to the discussion at the Symposium I was surprised that all the speakers emphasized the importance of contributions from social scientists, policy makers and mediators, and that no input was anticipated from hydrologists or engineers to solve the world water issues, even though most of the participants had hydrological or engineering backgrounds. Many of the international participants at the Symposium were strongly involved in the administration of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS), and one of them was Dr John Rodda, the IAHS president at that time. He came up with the idea to establish a Hydrology 2020 Working Group (H2020) under IAHS in response to my persistent question: “is it really true that hydrological science can contribute little to solving the world water issues?”

There was an earlier working group, the Hydrology 2000 Working Group, also under IAHS, which reported their view of hydrology in 2000 as IAHS publication no. 171 (the “Red Book” series of IAHS) entitled: *Hydrology in 2000*.

To form H2020, the nine commissions of IAHS were asked to nominate two young hydrologists under the age of 35, and the World Meteorological Organization (WMO), and United Nations Education, Science, and Culture Organization (UNESCO) were asked to nominate one each as well (see Appendix 1). The final selection was made taking account of gender and geographical location (see Appendix 2 for member affiliations and biographies). The members were expected to meet each other for the first time at the VIth General Assembly of IAHS in the summer of 2001. However, only three of the H2020 members could come to the meeting at Maastricht, in The Netherlands. Therefore, in practice, the first meeting of the group was held in January, 2002, at The University of Edinburgh, Scotland, UK, and, in addition to H2020 members becoming acquainted, the Mission Statement of H2020 was formulated. Summaries of each of the Group’s meetings are contained in Appendix 3.

The second meeting was held in conjunction with the Kovacs meeting of IAHS, UNESCO-IHP and WMO, at the headquarters of UNESCO in Paris, France, in June 2002. H2020 members were asked to be the rapporteurs of each theme of IHP V in the Kovacs meeting, at which a flyer detailing the Group’s activities was disseminated (see

Appendix 4), and the framework for the Group's next meeting was discussed in the H2020 meeting.

The third meeting was held at the General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)/IAHS at Sapporo, Japan, in July 2003. An intermediate report was presented, and an open workshop to discuss the report was held in the Assembly, followed by an H2020 meeting to set the framework of the final report.

The fourth meeting was held in Calgary, Canada, in October 2004. It was originally planned for December but was brought forward in order to meet the publication deadline so that the final report of H2020 could be made available at the IAHS Scientific Assembly in 2005. However, it was found that the draft prepared for the fourth meeting in Calgary could be much improved with some revisions, and hence, the H2020 group decided to delay the publishing schedule.

The fifth meeting was held at the VIIth IAHS Scientific Assembly in Foz do Iguaçu, Brazil, in April 2005. The penultimate draft of the report "Hydrology in 2020" was introduced at a workshop, and the vision, the roadmap, and the key messages of the report were discussed with general participants of the Assembly.

The sixth meeting held in Stockholm during the World Water Week in August 2005 was the final editorial meeting for the group. All the report contents were examined and discussed, and the working group members reflected on some of the review comments given on the draft report presented in April 2005.

It took longer than expected to complete this report by the Hydrology 2020 Working Group of IAHS. This was in part because the Group could only have meetings annually due to the lack of robust financial support for their travel. As it turned out, we felt that we should have met more frequently, at least twice a year, to maintain our motivation. Giving a higher priority to drafting the report also means having longer meetings (more than three days) so that there is a productive opportunity for writing, just as the Hydrology 2000 Working Group did 20 years ago. Nowadays the early 30s is a very crucial and stressful age for researchers, and it was impossible to find a time slot among the H2020 members for a meeting longer than three days.

Nevertheless, we are proud of this report: *Hydrology 2020: An Integrating Science to Meet Water Challenges*. There are already several documents reviewing the latest achievements of hydrological science and outlining the prospects for the discipline. However, we believe this report is unique and valuable to the research community, particularly for young hydrologists, and also for all the stakeholders concerned with world water issues. We have tried to illustrate the capability that hydrological science will, and should have in 2020, and what we should start doing now in order to achieve this.

We are sure that this report will be a milestone capturing the state of the art in hydrological science at the beginning of 21st Century, and a chart for young hydrologists (including us) to explore the new frontiers in hydrology. We are also certain that it will be a guide for those involved with developing and implementing water policies. We are aware of the expectations of us from more senior generations to lead hydrological science in the coming few decades. As Dr Rodda mentioned in his message (see Appendix 1), “it is a valuable investment for the future of hydrology”, and we would like to bring an end to the expectation. In a sense, this report is something like a resolution for us, and we will be judged in roughly 15 years. We will be very happy if hydrological science is further advanced and its capability for solving practical problems in society is even more enhanced in 2020.

*Taikan Oki, Chair of H2020
on behalf of the Hydrology 2020 Working Group members
12 December 2005*

Hydrology 2020 Working Group

Taikan Oki

Hydrology 2020 Working Group Chair
The University of Tokyo
Tokyo, Japan
taikan@iis.u-tokyo.ac.jp

Jeanna Balonishnikova

State Hydrological Institute
St. Petersburg, Russia
ishiklom@zb3627.spb.edu

Wolfgang Diernhofer

Management of Trust Funds,
Vienna, Austria
w.diernhofer@kommunalkredit.at

Pierre Etchevers

Météo France Centre d'Étude de la Neige
Saint Martin d'Hères, France
pierre.etchevers@meteo.fr

Stewart W. Franks

University of Newcastle
New South Wales, Australia
stewart.franks@newcastle.edu.au

Guobin Fu

CSIRO Land and Water
Wembley, Western Australia
guobin.fu@csiro.au

Kate Heal

The University of Edinburgh
Scotland, United Kingdom
k.heal@ed.ac.uk

Susan S. Hubbard

Lawrence Berkeley National Laboratory
Berkeley, CA, USA
sshubbard@lbl.gov

Harouna Karambiri

Groupe des Ecoles EIER-ETSHER
Ouagadougou, Burkina Faso
harouna.karambiri@eieretsher.org
karambirih@yahoo.com

Johan Kuylenstierna

Stockholm International Water Institute SIWI
Stockholm, Sweden
johan.kuylenstierna@siwi.org

Stefan Uhlenbrook

UNESCO-IHE Institute of Water Education
Delft, The Netherlands
s.uhlenbrook@unesco-ihe.org

Caterina Valeo

University of Calgary
Calgary, Canada
valeo@ucalgary.ca

Acknowledgements

The Hydrology 2020 Group is grateful for the support of IAHS throughout the process of producing this report, especially John Rodda and Pierre Hubert for setting up the group and facilitating support for meetings and for the invitation to participate in the Kovacs Colloquium in Paris in 2002. Cate Gardner of IAHS Press was very helpful in the final editing process and Keith Beven provided useful feedback on Chapter 5. It would not have been possible for the group to meet so frequently and to discuss the ideas contained within this report without the support of the special coordination funds for promoting science and technology of the Japan Cabinet Office, Core Research for Evolutional Science and Technology (CREST), the Japan Science and Technology Corporation (JST), and the Research Institute for Humanity and Nature (RIHN).

We also thank the following organizations and people who contributed in various ways to the production of this report:

- the Universities of Edinburgh and Calgary, UNESCO, and Stockholm International Water Institute for providing facilities for our meetings;
- the young Japanese hydrologists for hosting a stimulating meeting at Toya Lake, Japan;
- UK and Canadian hydrologists who participated in discussion of some of the early ideas of the group;
- the British Hydrological Society (BHS) and the Royal Society for support for Kate Heal;
- the Earth Science Division of the Lawrence Berkeley National Laboratory for some travel support for Susan Hubbard;
- WMO for supporting the participation of Johan Kuylenstierna;
- Gerard White for production of the figures;
- the International Hydrological Programme (IHP) of UNESCO for support of Harouna Karambiri;
- the German IHP/HWRP secretariat Bundesanstalt fuer Gewaesserkunde, Koblenz, Germany, for support of Stefan Uhlenbrook;
- Ghazi Ali Al-Rawas, Isabel Soria Garcia, Juan Gonzalez-Benitez, Fabrice Gouriveau, and Martha Lucia Gouriveau for translations of the Executive Summary.

And finally we are grateful to our husbands/wives and children for cheerfully forbearing the time that we spent away from home over the past four years in the production of this report.

