

## MONITORING OF THE EARTH'S HYDROSPHERE

V. A. SEMYONOV

*The water envelope of the Earth, called Hydrosphere is of considerable importance for existence of the biosphere and the man. Current methods of observation of the hydrosphere components in the atmosphere, in the World Ocean, at surface of the Earth and within water bodies as well as monitoring of water bodies pollution are described.*

**Водная оболочка Земли – гидросфера играет важнейшую роль в существовании биосферы и человека. В статье приводится описание организации и современных методов наблюдений за компонентами гидросферы в атмосфере, Мировом океане, на поверхности суши и ее водных объектах, а также за загрязнением водных объектов.**

## МОНИТОРИНГ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

В. А. СЕМЕНОВ

Калужский государственный педагогический университет  
им. К.Э. Циолковского

### ВВЕДЕНИЕ

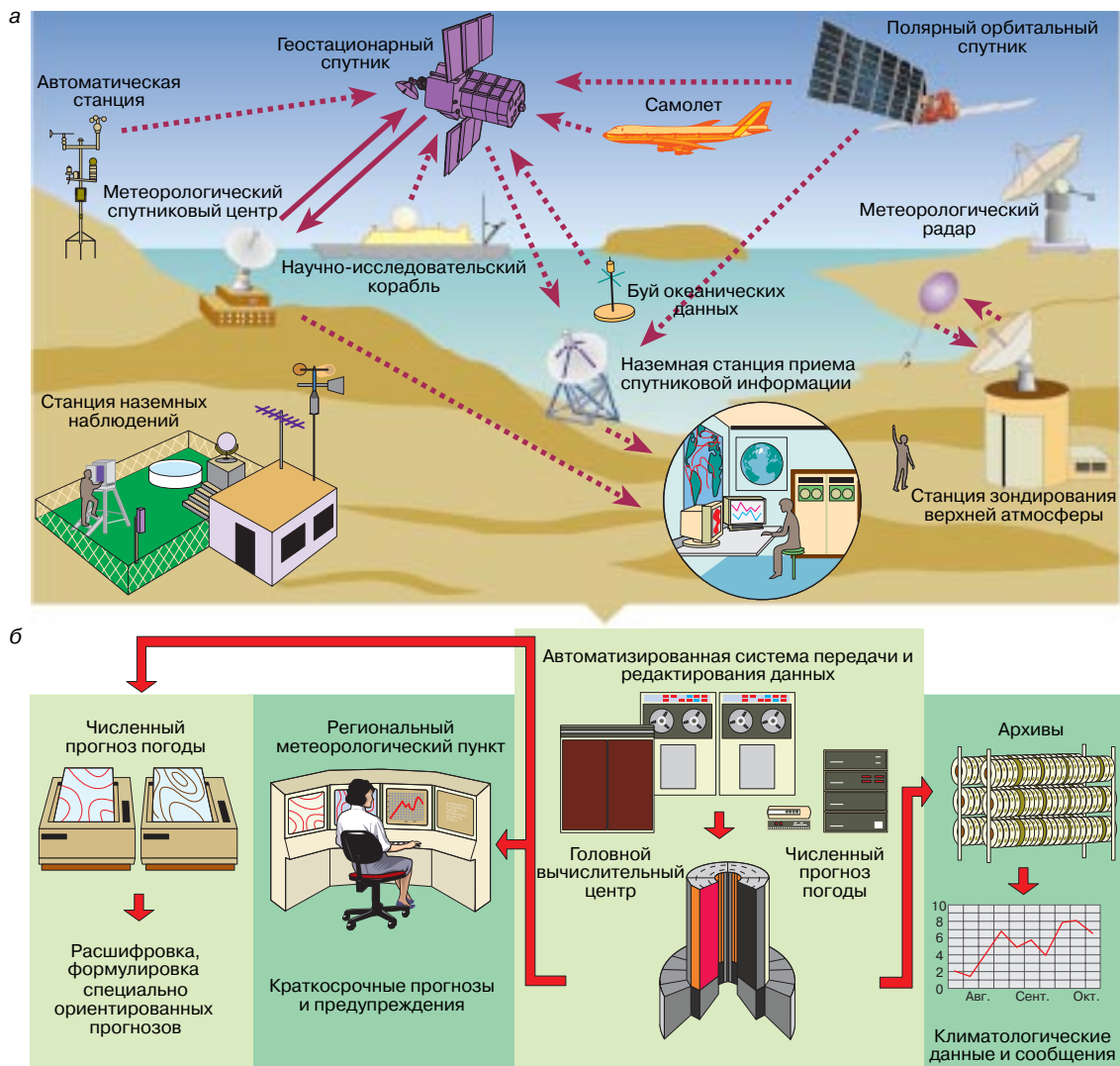
Гидросфера – водная оболочка земного шара, расположенная в нижней части атмосферы, на поверхности земной коры и в ее толще, представляющая совокупность океанов, морей и водных объектов суши (рек, озер, болот, подземных вод, снежного покрова и ледников). По своим границам гидросфера совпадает с биосферой в понимании В.И. Вернадского. Исключительная роль воды в жизни человека и всего живого на Земле обуславливает большое и постоянно возрастающее внимание к изучению гидросферы и режиму водных объектов.

Содержание и перенос влаги в атмосфере, гидрологический и гидрохимический режим океанов и морей, рек и озер, искусственных водоемов, подземных вод, колебания баланса массы льда и стока воды с ледников, колебания размеров снежников в горах и изменения запасов воды в сезонном снежном покрове, колебания запасов воды в почве и испарения с ее поверхности (включая транспирацию растительностью) изучаются наземными средствами наблюдений, радиолокацией, зондированием атмосферы летательными аппаратами, в том числе из космоса.

Информация о состоянии гидросферы и ее объектов широко используется в сельском хозяйстве, транспорте, энергетике, строительстве, водоснабжении, в предупреждении о стихийных бедствиях (наводнениях, засухах, селевых потоках и сходе снежных лавин) и опасной для человека, водных и околосводных экосистем степени загрязнения объектов гидросферы. Организация наблюдений, передачи, обработки, хранения и распространения информации требует научного обоснования, а результаты наблюдений служат основанием для глобальных и локальных обобщений по гидрологическому и экологическому состоянию водных объектов.

### СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КОЛИЧЕСТВЕННЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ В ГИДРОСФЕРЕ

Наблюдения за состоянием гидросферы являются частью общей системы наблюдений за окружающей природной средой (рис. 1). Основная работа по организации и осуществлению наблюдений, сбора и обработки информации о состоянии гидросферы выполняется национальными метеорологическими, гидрологическими, геологическими службами



**Рис. 1.** Диаграмма системы наблюдений (а), сбора и обработки (б) данных наблюдений за состоянием гидросферы Земли (из сб. "Технология сбора и передачи метеорологических данных". М.: ВМО, 1995)

и водохозяйственными организациями стран земного шара.

Начало создания национальных служб и международного сотрудничества в изучении гидросферы относится к середине XIX века, когда в 1853 году была разработана программа проведения метеорологических наблюдений в океанах с целью повышения безопасности жизни на море. В результате прогресса, достигнутого в различных научных областях, в XX веке были разработаны и быстро усовершенствовались методы наблюдений за компонентами гидросферы в атмосфере, океанах и водных объектах суши. Были приняты меры по обмену данными наблюдений между службами. По мере совершенство-

вания средств телесвязи такой обмен становится более быстрым и надежным.

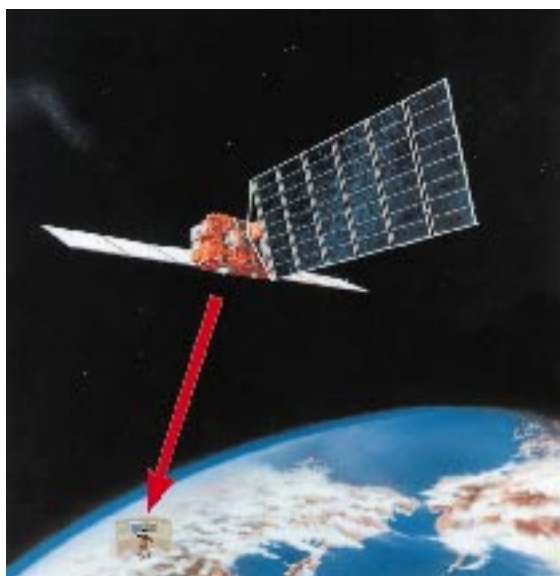
Разработки в области использования спутников и компьютерной технологии привели к созданию в 1963 году под эгидой Всемирной метеорологической организации (ВМО) комплексной всемирной оперативной системы, названной Всемирной службой погоды, которая включает глобальную систему телесвязи и глобальную систему обработки данных. Создана также глобальная система сбора океанографических данных.

В настоящее время на земном шаре действуют около 9 тыс. станций на суше, производящих наблюдения за влажностью воздуха, облачностью, количеством выпадающих атмосферных осадков (из

них 350 автоматизированы или частично автоматизированы). Около 700 морских судов производят наблюдения за различными параметрами состояния вод Мирового океана (температура, соленость и минеральный состав вод, направление течений). Эти данные дополняются наблюдениями с коммерческих самолетов (около 10 тыс. сводок в сутки). Передают информацию и 300 заякоренных буев или фиксированных платформ, работающих как автоматические морские станции, и около 600 буев, дрейфующих с океанскими течениями.

Огромный прогресс в области метеорологических спутников и автоматизированных наблюдательных систем за последние три десятилетия позволяет иметь в любой момент времени на орбите вокруг Земли четыре-пять оснащенных приборами полярно-орбитальных спутника с оборудованием автоматической передачи дважды в сутки изображений облачности над всей поверхностью Земли. Они проводят также глобальные наблюдения за влажностью воздуха, температурой поверхности моря и суши, распределением снежного и ледового покрова (рис. 2). Вторая система геостационарных или геосинхронных спутников, находящихся над экватором и вращающихся с той же скоростью, что и Земля, является таким образом стационарной по отношению к ней и непрерывно предоставляет метеорологическую информацию по тем же районам.

Наблюдения и анализ ежедневного состояния гидросферы применяются для принятия экономических и социальных решений, предсказания стихийных и экологических бедствий. Но для достижения лучшего понимания изменения состояния



**Рис. 2.** Спутниковая система наблюдений за гидросферой Земли

окружающей среды и ресурсов пресной воды необходимы дополнительные сведения о ее перемещении на поверхности Земли, о запасах в поверхностных водоемах и водоносных слоях почвы и геологических пород (почвогрунтах). Это является задачей гидрологических и геологических служб, водохозяйственных организаций стран мира.

Измерения речного стока и наблюдения за колебаниями уровня воды в озерах и водоносных пластах почвогрунтов проводятся на регулярной основе в некоторых пунктах с начала XX века, но наибольшее развитие стационарная сеть получила в середине XX века. В настоящее время действуют около 60 тыс. водомерных постов и станций. Но и до сих пор на некоторых, даже больших и важных в хозяйственном отношении реках измерение стока еще не производится. Это объясняется большой трудоемкостью измерений скорости и расхода воды (объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени).

### МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И РАСХОДА ВОДЫ

Наиболее широкое распространение для измерения скорости потока, которая в сочетании с оценкой площади поперечного сечения потока промерами является основой для оценки расхода воды, получили гидрометрические вертушки различных типов (рис. 3). Для уменьшения трудоемкости изме-



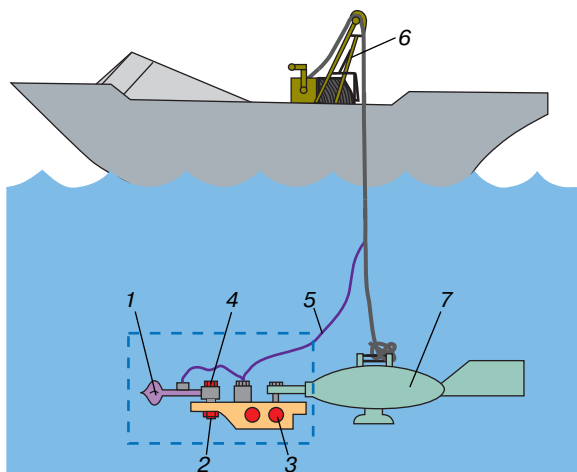
**Рис. 3.** Гидрометрическая вертушка

рений и обработки данных в последние годы разработаны автоматизированные системы измерения скорости и расхода воды контролируемого потока с движущегося судна с использованием кроме вертушки гидроакустического оборудования. В основе этого метода лежит эффект Доплера, который проявляется в смещении частоты отраженной от движущегося объекта электромагнитной волны на так называемую частоту Доплера:

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \sin \theta,$$

где  $v$  – скорость объекта,  $\lambda$  – длина волны,  $\theta$  – угол падения электромагнитной волны.

Работа по измерению расходов воды заключается в пересечении реки судном по заранее выбранному направлению, в оценке скорости течения воды и скорости судна, учете угла измерения скорости течения по отношению к поперечному сечению и измерению глубины реки (рис. 4). Эти сведения собирают и обрабатывают в компьютере на судне. Наиболее целесообразно использование этого метода на больших реках, где измерения скорости вертушкой не только особенно трудоемки, но и сопряжены с опасностью. Международный опыт организации стационарных наземных и радиолокационных наблюдений за другими объектами гидросферы наиболее полно изложен в [1].



**Рис. 4.** Схема измерения расхода воды и блока датчиков [2]: 1 – гидрометрическая вертушка, 2 – гидроакустическая антенна измерителя глубины потока, 3 – гидроакустические антенны измерителя скорости движения судна, 4 – гидроакустическая антенна измерителя скорости звука в воде, 5 – кабель, 6 – лебедка, 7 – груз

## ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приземные и наземные наблюдения, аэрологическое зондирование и систематические глобальные спутниковые измерения все же не обеспечивают всей необходимой информации для изучения механизмов, лежащих в основе природных процессов взаимодействия компонентов гидросферы от формирования облаков и их воздействия на перенос солнечной радиации до океанической циркуляции, которая реагирует на малые изменения в потоках между поверхностью океана и атмосферой. Это во многом определяет динамику климата, изменения влагопереноса с океанов на сушу. Для того чтобы ко-

личественно определить взаимодействие между глобальной циркуляцией атмосферы, переносами воды и энергии, мировой океанической циркуляцией и морскими льдами, влажностью поверхности суши и гидрологическим режимом водных объектов суши, осуществляются национальные и международные проекты комплексных стационарных и экспедиционных исследований.

Учитывая недостаточность информации о Мировом океане и взаимодействии океана и атмосферы, наибольшее количество экспедиций осуществлено в океаны и моря. Так, за 25 лет, с 1970 по 1994 год, научно-исследовательскими судами (НИС) России проведены экспедиционные наблюдения по 54 проектам исследований Мирового океана, из них 13 международных проектов. В рамках этих проектов выполнено более 1100 рейсов НИС (без рейсов во внутренние и окраинные моря России). Накопленные в результате экспедиций массивы данных наблюдений содержат информацию, позволившую уточнить знания о природе, причинно-следственных связях, механизмах возникновения, развития и затухания гидрометеорологических, физико-химических, биологических и геологических процессов, протекающих на поверхности и в толще вод океана, в атмосфере над ним и на морском дне.

Существенному расширению знаний о распределении и режиме горных ледников, материковых оледенений Антарктиды и арктических островов, о ресурсах пресной воды на Земле и режиме водных объектов суши способствуют международные программы ЮНЕСКО, проводимые с 1957 года с уточнениями целей и состава научных исследований на каждое десятилетие. Одним из значительных результатов работы по этим программам является открытие в 1995 году российскими учеными реликтового озера под ледовым панцирем Антарктиды.

## МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД СУШИ

Проблема загрязнения вод суши (рек, озер, водохранилищ, подземных вод) тесно связана с проблемой обеспеченности пресной водой, поэтому наблюдениям и контролю за уровнем загрязнения водных объектов уделяется особое внимание. Служба контроля за уровнем загрязнения пресных вод является частью национальных систем мониторинга загрязнения окружающей среды [2, 3]. Основная цель службы наблюдений и контроля за уровнем загрязнения вод суши заключается в получении информации о качестве вод, необходимой для осуществления мероприятий как по охране вод, так и по рациональному использованию водных ресурсов. Служба решает задачи контроля за уровнем загрязнения вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям и задачи изучения динамики загрязняющих веществ для прогнозов загрязнения водных объектов. Важная задача мониторинга – изучение процессов самоочищения водных объектов и



накопления загрязняющих веществ в донных отложениях и изучение закономерностей выноса веществ в водоемы (моря, озера, водохранилища).

Основными объектами при выборе пунктов наблюдений за уровнем загрязнения поверхностных вод суши являются места сброса хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, в том числе подогретых вод от ТЭС, ГРЭС, АЭС. Районами повышенного внимания экологи считают также крупные нерестилища и зимовья ценных пород рыб, устьевые зоны рек.

Система мониторинга поверхностных вод призвана обеспечивать получение надежной информации о состоянии водного объекта в любой его точке и в любой момент времени. Наряду с увеличением густоты сети наблюдений это достигается комплексным гидродинамическим и химико-биологическим моделированием процессов массообмена, аккумуляции, трансформации и миграции загрязняющих веществ в водных объектах, изучением взаимосвязи поверхностных и подземных вод, изучением динамики состава органических веществ в процессе химико-биологических превращений.

Например, 30-летний комплексный мониторинг различных природных сред Байкала позволил определить устойчивые изменения гидрохимических показателей притоков озера, рост отрицательного влияния на прибрежные зоны озера (водную толщу и донные отложения) Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, Байкальско-Амурской железнодорожной магистрали, портов. Особенно сильное воздействие практической деятельности человека на экосистему Байкала наблюдалось в 60–80-е годы. Большую опасность для экосистем озера представляют малопредсказуемые изменения гидробиологических характеристик водоема: Байкал начал испытывать вторжение новых видов гидробионтов (организмов, обитающих в водной среде), существенные изменения произошли и в составе донных отложений.

Среди загрязняющих веществ, попадающих в притоки и озера, особую опасность представляют серосодержащие вещества, остротоксичные хлорорганические соединения (хлорфенолы, диоксины), тяжелые металлы. Все это свидетельствует о большой вероятности продолжения ухудшения состояния экосистемы Байкала в недалеком будущем.

Часто зонами наибольшей биологической продуктивности водных объектов являются устьевые участки рек (нижнее течение и дельта). Но в этих же зонах контакта речных вод и вод водоприемника (море, озеро, водохранилище) происходит наибольшее накопление всех загрязняющих веществ, смытых реками с их бассейнов. Поэтому они становятся зонами наибольшего экологического неблагополучия. Например, комплексный мониторинг Невской губы позволил выделить экологически опасные зоны водной системы на границе вода–дно. Загрязне-

ние донных отложений играет негативную роль в изменении качества воды, особенно в маловодные годы.

## МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЕЙ

Организация загрязнения морских водоемов имеет особенности и требуется для решения таких основных задач, как: 1) контроль за уровнем загрязнения вод и донных отложений по физическим, химическим и гидробиологическим показателям, особенно в курортно-оздоровительных и рыбохозяйственных зонах; 2) изучение баланса загрязняющих веществ в морях и их отдельных частях (заливах) с учетом процессов, происходящих на границе раздела атмосфера–вода, разложения и трансформации загрязняющих веществ и накопления их в донных отложениях; 3) изучение закономерностей пространственных и временных изменений концентраций загрязняющих веществ, установление связи этих изменений с естественными циркуляционными процессами в морях, с гидрометеорологическим режимом и особенностями хозяйственной деятельности [3].

Комплексность мониторинга требует определения некоторых гидрометеорологических параметров, таких, как температура воды, скорость и направление ветра, осадки, атмосферное давление, влажность воздуха. Система наблюдений основывается на создании сети локальных пунктов наблюдений (станций), расположение которых позволяет определять зоны распространения загрязнений. Кроме того, часть сети должна совпадать со станциями многолетних наблюдений, действующих на морях. Распределение станций опирается на знание гидрохимического и гидрометеорологического режимов и рельефа дна в данном районе.

Особую тревогу вызывают участвовавшие появление на поверхности морей и океанов нефтяных пленок, которые нарушают энерго- и газообмен между океаном и атмосферой, а также накопление тяжелых металлов, например ртути, в Балтийском море и прибрежных районах Японии.

## СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Используются различные системы передачи данных от пунктов наблюдений: ручная – полуавтоматическая (по радио или телефонному запросу), временная автоматическая (запрограммированная на передачу по телефону или радио), автоматический индикатор (передача по телефону или радио при изменении параметра на определенную величину), автоматическая (передача по кабелю, телефону или радио сигналов с преобразованием и записью измеряемого параметра), полностью автоматическая (с удаленных станций, оборудованных радиопередатчиком), а также по почте. Автоматические системы передачи находят все более широкое применение.

## ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ОБОБЩЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Большие объемы собираемой информации и требования к сокращению сроков ее предоставления потребителям обуславливают необходимость использования для ее обработки и обобщения современной электронной техники. Наиболее общая схема автоматизированной обработки, хранения и обобщения информации о состоянии гидросферы представлена на рис. 1, б.

Особенности построения систем и компьютерных технологий обработки данных зависят от методики наблюдений за различными параметрами гидросферы, от оперативности передачи и обобщения информации, технических возможностей национальных служб, природных особенностей территорий. Учет этих особенностей при сборе и обработке данных гидрологических наблюдений на реках отражен, например, в монографии, подготовленной российскими и болгарскими специалистами [4].

Для хранения и автоматизации обобщения информации создаются специальные банки данных. В странах с небольшой по площади территорией принято создавать единые банки для всех компонентов гидросферы или два-три банка, собирающие информацию по атмосферным компонентам гидросферы, водным объектам суши, Мирового океана (включая окраинные и внутренние моря, морские устья рек).

Большое количество информации и значительная протяженность территории России обусловили необходимость создания распределенной по видам информации и территории банков данных. Например, в созданной единой системе государственного водного кадастра России при научно-исследовательских институтах созданы банки данных "Реки и каналы", "Озера и водохранилища", "Моря и морские устья рек", "Качество поверхностных вод", "Подземные воды", "Использование вод", "Ледники". Создаются также центральные банки данных по атмосферным осадкам, снежному покрову и снежникам в горах, по влагозапасам в почве и испарению с суши, подземным водам, а также интегральные банки по компонентам гидросферы в территориальных центрах по гидрометеорологии.

Использование единых требований к форматам хранения данных и создания программных средств облегчает управление базами данных, обобщение и распространение информации среди многочисленных потребителей. Для систематизации, анализа и выдачи по запросам пользователей разнообразных данных перспективно использование единых гео-

информационных систем, реализуемых на персональных компьютерах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный мониторинг состояния гидросферы Земли основывается на использовании новейших достижений науки и техники. При оборудовании наблюдательных наземных платформ и автоматических станций в Мировом океане, радарных станций и летательных аппаратов в атмосфере для измерения и первичной обработки данных широко используются микропроцессоры. В процессе мониторинга загрязнения природных вод вырабатываются количественные подходы к определению ключевых переменных и параметров, необходимых для понимания факторов, определяющих изменения в водной среде. Обработка и обобщение информации, поступающей со стационарной сети наземных и приземных наблюдений, со спутников Земли, экспедиционных исследований Мирового океана и труднодоступных районов земной суши, осуществляются с использованием электронных вычислительных машин и на основе архивов создаваемых банков данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грани гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 535 с.
2. Израэль Ю.А. и др. Осуществление в СССР системы мониторинга загрязнения природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 117 с.
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
4. Семенов В.А., Герасимов С. и др. Автоматизация обработки гидрологических данных по режиму рек. М.: Гидрометеиздат, 1988. 213 с.

\* \* \*

Вениамин Александрович Семенов, доктор географических наук, профессор Калужского государственного педагогического университета им. К.Э. Циолковского, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. Автор и соавтор 10 научных и научно-справочных монографий, учебных пособий, 130 научных статей по методам оценки водных ресурсов и их изменений под влиянием климата и хозяйственной деятельности, автоматизации сбора и обработки гидрологической информации, создания банков данных.