

В.А. Кузьмин, А.В. Дикинис

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ, НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЧИСЛЕННЫХ
ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ
ПРОГНОЗИРОВАНИИ СТОКА**

V.A. Kuzmin, A.V. Dikinis

**INTEGRATED USAGE OF REMOTELY SENSED DATA, SURFACE
OBSERVATIONS, AND NWP OUTPUT IN THE AUTOMATED STREAM FLOW
FORECASTING**

Рассмотрены ключевые аспекты технологии комплексного использования данных спутниковых, радарных и наземных наблюдений, а также выходных данных гидродинамических моделей погоды, позволяющей повышать точность и увеличивать заблаговременность прогнозов речного стока, выпускаемых в автоматизированном режиме, за счет повышения пространственно-временной дискретности наземных наблюдений за осадками. Особое внимание уделено особенностям использования радарных наблюдений за осадками в гидрологическом прогнозировании.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спутник, метеорологический радар, датчик, гидрологическое моделирование, автоматическое прогнозирование стока, пространственно-временная дискретность наблюдений, осадки, усвоение данных.

Key aspects of a technique of the integrated usage of remotely sensed satellite and radar data, in situ data, and NWP output data are considered. This approach allows proving accuracy and extending lead time of the stream flow forecasts based on enhanced spatiotemporal resolution of surface (in situ) observations. Special attention is paid to peculiarities of applying radar data in hydrologic prediction.

Key words: remote sensing, satellite, weather radar, sensor, hydrologic modeling, automated runoff forecasting, spatiotemporal resolution of observations, precipitation, data assimilation.

Общие сведения

Российская Федерация, к сожалению, до сих пор отличается сравнительно низкой пространственно-временной дискретностью наземных метеорологических наблюдений. Сеть наземных наблюдений Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета) не соответствует современным требованиям по информационному обеспечению экономики страны и безопасности населения. В 1990-е годы количество постов, имеющих в распоряжении Росгидромета, сократилось более чем на 30 %. При этом 85 % средств наблюдений выработали свои 2-3-кратные сроки эксплуатации. К 2020 г. Росгидромет планирует открытие новых автоматических гидрологических комплексов, около 30 автоматизированных центров сбора информации, 8 аналитических лабораторий и т.д. [1], но это составляет менее 50 % от рекомендованного Всемирной Метеорологической Организацией

(ВМО) уровня [2, 3]. По численности средств дистанционного зондирования атмосферы и гидросферы РФ уступает США (в среднем в 12 раз), Японии (в 28 раз), Австралии (в 17 раз) и Западной Европе (в 15 раз). Средняя плотность наземных гидрометеорологических наблюдений в РФ составляет 1 пост на 10,5 тыс. км², что в 3 раза ниже рекомендованного ВМО уровня и в 70 раз меньше плотности наблюдений в Великобритании (где плотность наблюдений считается достаточной для моделирования опасных гидрометеорологических явлений).

Применяемые в стране технологии контроля, мониторинга и прогнозирования экологических и гидрометеорологических процессов и явлений нуждаются в безотлагательном обновлении научно-технической и технологической базы. В частности, необходимо срочное воссоздание отечественной космической метеорологической группировки, поскольку подписанное в 2006 г. соглашение между NOAA (США) и EUMETSAT (ЕС) подразумевает ограничение доступа третьих стран, включая и Россию, к оперативным данным метеонаблюдений из космоса[1].

К сожалению, подобная ситуация характерна и для сети радарных наблюдений за перемещением облачных масс и выпадением осадков из них, позволяющих обеспечивать «вход» прогностических гидрологических моделей с распределенными параметрами с пространственной дискретностью менее 1 км и временной – в несколько минут. В частности, число ныне применяемых в РФ метеорадаров почти вдвое меньше, чем число радаров, успешно используемых для целей оперативного гидрологического прогнозирования в меньшей по площади Австралии(рисунок 1) [4, 5].

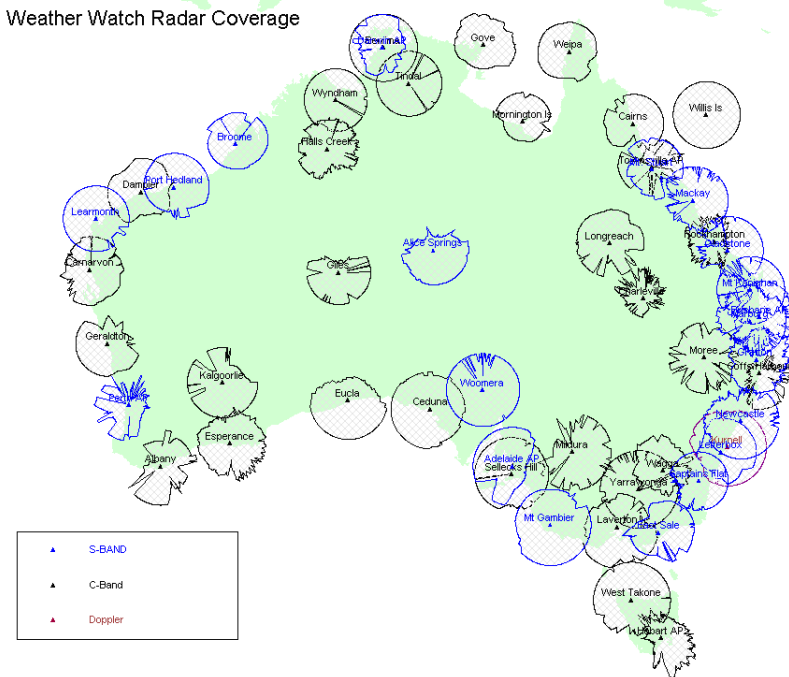


Рис. 1 – Схема расположения метеорадаров в Австралии [4]

Важно подчеркнуть, что сама по себе закупка и установка радаров не решает проблемы обеспечения качественного «входа» гидрологических моделей, используемых в автоматизированных системах прогнозирования (АСП) стока. Для этого, помимо программного обеспечения, поставляемого вместе с радаром, необходимо обеспечить эффективное функционирование подсистем усвоения радарных данных, их обработки и архивирования, цифровой модели рельефа для рассматриваемого водосбора, а также подсистемы параметризации (калибровки) гидрологических моделей для всех его пикселей или элементарных водосборов [4, 5], а также ряд вспомогательных технологических процессов, обеспечивающих взаимодействие всех подсистем АСП.

Современные технологии дистанционного зондирования (ДЗ) открывают широкие возможности для повышения точности и заблаговременности прогнозов речного стока [1-8]. Данные ДЗ не заменяют наземных наблюдений, но позволяют решать новые задачи в области гидрологического прогнозирования. В частности, данные спутниковых, авиационных или радарных наблюдений можно использовать для повышения пространственно-временной дискретности гидрометеорологических наблюдений. Кроме того, весьма перспективным представляется комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и «выхода» гидродинамических моделей погоды, позволяющее значительно повысить точность и заблаговременность прогнозов стока, что особенно важно для регионов с низкой пространственно-временной дискретностью наземных наблюдений [2-5].

На наш взгляд, наиболее интересными с точки зрения дальнейшего развития технологий автоматизированного гидрологического прогнозирования представляются следующие информационные и научно-технические продукты:

- спутниковые данные о перемещении облачных полей и типе облаков, получаемые в видимом диапазоне, позволяющие оценить риск выпадения сильных осадков [9];
- данные спутникового микроволнового зондирования о размерах дождевых капель или частиц льда на верхней поверхности облаков, позволяющие оценить интенсивность ожидаемых осадков [10];
- спутниковые данные о протяженности снежного покрова, получаемые в видимом диапазоне и позволяющие оценить динамику снеготаяния, что важно при прогнозировании весенних половодий [2];
- методы стыковки гидродинамических моделей погоды и данных спутникового зондирования, позволяющие повысить заблаговременность фоновых прогнозов стока до 10 суток [4, 5, 11, 12];
- данные спутникового зондирования почвенной влаги, которые можно использовать для оценивания рисков лесных пожаров, засух и наводнений [13];
- спутниковые данные о слое выпавших осадков (в качестве примера можно привести данные об осадках, полученные при помощи датчика «SpecialSensorMicrowaveImager» (SSM/I), используемого в рамках программы DMSP американского военного ведомства с пространственным разрешением 1,25 градуса);
- данные об интенсивности и объеме (слое) выпавших осадков в радиусе около 200 км, получаемые с наземных радаров с дискретностью 10 минут и позволяющие значительно расширить возможности наукастинга [12];

- разнообразные датчики, позволяющие проводить автоматические метеорологические наблюдения [14];
- методы автоматической передачи, обработки и архивирования данных [2, 5]
- методы текущей рекалибровки и постобработки прогнозов в режиме, близком к реальному времени [15] и др.

Список не упомянутых здесь метеорологических данных, используемых при прогнозировании речного стока в автоматизированном режиме, представлен в таблице 1. Наиболее важные гидрологические данные, получаемые при помощи спутникового зондирования, представлены в таблице 2. В таблице 3 представлены виды (диапазоны) дистанционного зондирования, применяемые для определения влажности верхнего слоя почвы; такие данные исключительно важны для оценивания предшествующего увлажнения при прогнозировании паводков и половодий.

Очевидно, что современные технологии сбора, передачи, обработки и архивирования данных дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли, наземных наблюдений и выходных данных моделей погоды, равно как и имеющиеся процессорные ресурсы, значительно упрощают процедуру прогнозирования стока и позволяют за короткий срок выпускать прогнозы для большого числа водосборов в полностью или частично автоматизированном режиме.

Данная работа, продолжает серию публикаций по автоматизированному прогнозированию стока. Она посвящена одной из важнейших составляющих комплексного использования данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и «выхода» гидродинамических моделей погоды для автоматизированного прогнозирования речного стока при помощи АСП – использованию радарных данных об осадках, поскольку этот вид информации в настоящее время в оперативной деятельности прогностических подразделений Росгидромета практически не используется [1] или используется в предэксплуатационном режиме. В последующих публикациях будут рассмотрены вопросы, связанные с использованием спутниковых данных и данных, получаемых с автоматических датчиков, при автоматизированном прогнозировании стока.

Радарные наблюдения за осадками

Факторы, влияющие на точность радарных наблюдений

Метеорологические радары позволяют проводить наблюдения за местоположением и передвижением облачных полей, вызывающих осадки. Кроме того, с их помощью можно получать данные об интенсивности и объеме (слое) осадков [6, 8, 9, 11]. При использовании радара для гидрологических целей эффективная дальность его действия обычно составляет 40–200 км [2, 4, 5, 8, 9] в зависимости от таких характеристик радиолокатора, как излучение антенны, выходная мощность, чувствительность приемника. Гидрологической дальностью радара считается максимальная дальность, на которой связь между интенсивностью отраженного излучения и интенсивностью дождя остается обоснованной. Эффект ослабления луча наиболее сильно проявляется при использовании коротковолновых радаров, однако длинноволновые радары обнаруживают слабый дождь или снег менее эффективно. Для наблюдений за осадками применяют доплеровские радары, а также радары, работающие в Si C-диапазонах [2, 5]. Рассмотрим основные факторы, определяющие точность радарных наблюдений [2, 5, 6, 8].

- *Длина волны.* Применение S-диапазона, как это делается в США, устраняет проблемы, связанные с ослаблением радиолокационного сигнала при прохождении его через осадки. Применение C-диапазона приводит не только к повышению чувствительности, но и к возникновению проблемы ослабления сигнала. Кроме того, C-диапазонные системы почти в 2 раза дешевле, чем S-диапазонные при тех же эксплуатационных характеристиках.
- *Помехи от земной поверхности.* Радиолокационный луч может сталкиваться с различными объектами на поверхности земли. Помехи можно ошибочно принять за осадки. Радары обычно располагаются таким образом, чтобы уменьшить эхо от объектов, но полностью избежать его невозможно, поэтому для учета помех следует использовать, например, обработку доплеровских сигналов с перемещением карты помех.
- *Ширина и дальность распространения радиолокационного луча.* На расстоянии 100-160 км ширина радиолуча может достигать нескольких километров. Поэтому получают не единичное значение наблюдаемого элемента в точке, а значение, усредненное для большого пространственного объема. Важно подчеркнуть, что пространственное распределение дождя, получаемое с помощью радара, обычно более точно передает конфигурацию изогий ливня, чем данные наземных наблюдений [2, 8].

Таблица 1

Метеорологические данные, необходимые для прогнозирования стока в автоматизированном режиме

Вид данных	Задержка	Пространственная дискретность	Временная дискретность
Суточные осадки на водосборе	< 1ч	12,5 км	1 ч
Минимальная и максимальная температура воздуха за сутки	< 1ч	12,5 км	1 ч
Метеоданные с автоматических станций (температура воздуха, скорость и направление ветра, влажность воздуха)	< 1ч	Точечные данные	1ч или 1 мин
Выходные данные гидродинамических моделей (осадки, испарение, интенсивность снеготаяния, температура воздуха, скорость и направление ветра, влажность воздуха)	< 1ч	12,5 км	1 ч
Индекс NDVI	<24 ч	1км	7 сут
Атмосферное давление на поверхности Земли	< 1ч	12,5 км	1 ч
Температура на поверхности Земли	< 1ч	12,5 км	1 ч
Скорость и направление ветра для каждого пикселя или элементарного водосбора	< 1ч	12,5 км	1 ч
Точка росы	< 1ч	12,5 км	1 ч
Испаряемость	< 1ч	12,5 км	1 ч
Облачность	< 1ч	12,5 км	1 ч

Продолжение таблицы 1

Вид данных	Задержка	Пространственная дискретность	Временная дискретность
Длинноволновая нисходящая радиация	< 1ч	12,5 км	1 ч
Коротковолновая нисходящая радиация	< 1ч	12,5 км	1 ч
Радарные данные о слое осадков, выпавших на водосбор за последний час	15мин	1 км	1 ч

- *Атмосферное и антенное ослабление сигнала.* Микроволны ослабляются в атмосферных газах, облаках и осадках. Ослабление радиоволн является результатом действия двух факторов – поглощения и рассеивания. Для радаров, работающих на более длинных волнах, ослаблением можно пренебречь.
- *Преломление и множественное рассеяние радиолокационного луча.* Радиолокационные волны проходят через пространство, обладающее эффектом преломления, который обуславливает криволинейность их траектории. Средний радиус их кривизны составляет примерно 4/3 среднего радиуса Земли. Вследствие неравномерного распределения влаги по вертикали может произойти добавочное рефракционное искривление радиолуча. В результате возникает явление, которое часто называют явлением волновода или захвата радиолокационного луча; оно либо вызывает обратное искривление луча в сторону земной поверхности, либо искривляет луч вверх, причем захватываются осадки на расстоянии 80–120 км [2].

Таблица 2

Гидрологические данные, получаемые при помощи спутникового зондирования [5]

Гидрологическая характеристика	Вид зондирования	Частота определения	Spatial Resolution
Влажность верхнего слоя почвы (2-5 см)	Пассивное микроволновое	1-3 сут	50 км
	Активное микроволновое	3 сут, 30 сут	3 км, 10 м
	Тепловое инфракрасное	1 ч, 1 сут, 15 сут	60 м, 1 км, 4 км
Температура подстилающей поверхности	Тепловое инфракрасное	1 ч, 1 сут, 15 сут	60 м, 1 км, 4 км
Протяженность снежного покрова	Видимое / Тепловое инфракрасное	1 ч, 1 сут, 15 сут	30-60 м, 500 м-1 км, 4 км
Водный эквивалент снега	Пассивное микроволновое	1-3 сут	50 км
Водный эквивалент снега	Активное микроволновое	3 сут, 30 сут	10 м
Изменение запаса воды в водохранилище	Изменение гравитации	30 сут	1,000 км
Полное испарение	Тепловое инфракрасное	1 ч, 1 сут, 15 сут	60 м, 1 км, 4 км

- *Вертикальная скорость.* Вертикальная скорость осадков в системах с глубокой конвекцией может обусловить появление радиолокационного эхо, которое, в свою очередь, может привести к искажению соотношения между количеством осадков R и отражаемостью Z по сравнению со значением, определенном для спокойного воздуха. При нисходящих движениях воздуха со скоростью 8 м/с значение отражаемости при данной интенсивности осадков может быть приблизительно на 3 дБ меньше, чем в спокойном воздухе, что приводит к занижению интенсивности осадков на 40%.
- *Вертикальный профиль отражаемости.* Главный фактор, вызывающий смещение радиолокационных оценок осадков, — это геометрические параметры вертикальных измерений метеорологических радаров. При увеличении расстояния радиолокационные измерения производятся на возрастающей высоте над земной поверхностью, поэтому радиолокационные измерения отражаемости в воздухе могут быть точными, но нерепрезентативными для условий вблизи от поверхности.
- *Снег и град.* Метеорадар способен измерять снегопад так же точно, как и дождь. Наличие града способны непосредственно распознавать лишь поляризационные радары (за исключением одинарного поляризационного).
- *Технология сканирования.* Для всех коммерческих радаров является стандартом конструкция электронного радиолокационного цифрового преобразователя, способного отбирать эхо-сигналы в количестве 80 приращений дальности на каждые 2° азимута. Время, необходимое на выборку и запись всей радиолокационной развертки, составляет от 1 до 4 минут, а количество слоев по высоте — от 8 до 14. Выбранная стратегия сканирования зависит от цели использования радиолокационных данных. Могут применяться два типа стратегии сканирования: сплошной и чередующийся. При сплошном сканировании радиолокационный луч быстро пробегает через всю высоту, после чего процедура повторяется. При чередующемся сканировании каждая последующая высота луча пропускается при первой последовательности сканирования, а пропущенные высоты исследуются во время второй очереди сканирования, которая следует сразу за первой. Радар с одинарной поляризацией можно использовать для измерения количества суточных осадков с точностью близкой к 10%. Такой уровень точности близок к тому, который обеспечивается осадкомером. Однако измерение количества осадков за промежуток времени менее суток более проблематичен — особенно, при использовании **С-диапазона** и более коротких волн, которым свойственно ослабление радиолокационного сигнала при конвективных осадках, что является серьезной проблемой. Часовые осадки из слоистых облаков над водосбором площадью около 100 км^2 можно измерить со средней точностью 20%, а сильные конвективные — с точностью 40% [2]. Такой точности радарных данных достаточно для фоновое прогнозирования стока, а для уточненного прогнозирования они должны пройти процедуру ассимиляции с использованием данных наземных наблюдений [14]. Более подробно проблема использования радарных данных для моделирования стока рассмотрена ниже.

Краткий обзор некоторых технологий в области радарных измерений осадков

Доплеровские радары (ДР). Для мгновенного измерения абсолютной скорости движения дождевых капель и направления их движения необходимо использовать радиолокационную установку с очень точной частотой передающего устройства и с приемной системой, чувствительной к изменению частоты в результате передвижения цели. Радары подобного типа называют когерентными или Доплеровскими, поскольку они используют широко известный эффект Доплера. ДР играют важную роль в исследовании атмосферы, однако до сих пор полностью не решена проблема интерпретации данных, поэтому данные, получаемые при помощи ДР, редко используются в оперативных прогностических системах. Кроме того, ДР значительно дороже традиционных радаров, требуют более высокой вычислительной мощности для обработки данных, а их эксплуатация значительно сложнее [2].

Многофункциональные исследовательские радары. Развитие аппаратного обеспечения многопараметрических радаров, с помощью которого измеряются свойства гидрометеоров, шло медленно, начиная с производства высокоскоростных переключателей, позволяющих осуществлять поочередную передачу вертикально и горизонтально поляризованного микроволнового излучения. Однако в последние годы ученые стали активно работать над другими видами поляризации, например, такими, как круговая, а также над изучением возможностей многопараметрических радаров для измерения осадков и разработкой аппаратного обеспечения. Многофункциональные исследовательские радары, например, CSU-CHILL, установленные в США и «Chilbolton» в Великобритании, позволили получить систему отладки, при помощи которой можно решить, какая основа поляризации наиболее эффективна, и выбрать тип гидрометеора.

Наземные радары используются более 20 лет, в большинстве случаев вместе с сетями дождемеров, которые используются для их калибровки. Оценки осадков, полученные с помощью радаров, более полезны, чем полученные осадкомером, поскольку они непрерывны во времени и пространстве и отражают площадь охвата. Но с их использованием связаны такие проблемы, как обратное рассеяние, ослабление, поглощение сигнала и помехи при его передаче. Особенно они проявляются в районах со сложными рельефом и, следовательно, сложными условиями калибровки сигнала. Радары широко используются как неофициальные средства первоначального предупреждения о приближающемся наводнении, использующие двигающиеся изображения, полученные с помощью штормовой системы, и лишь в нескольких странах мира полученные таким образом данные используются при оперативном прогнозировании стока [15]. Развитие прогностических моделей с распределенными параметрами (разработанных специально для использования радарных данных) в большинстве стран все еще находится на стадии разработки [2]. Возможность выпуска таких прогнозов в режиме реального времени или близком к реальному времени должна быть подтверждена путем оценивания эффективности такого подхода по сравнению с действующими моделями (с сосредоточенными параметрами).

В заключение отметим, что наибольших успехов в области оперативного прогнозирования стока и оценивания рисков наводнений на основе радарных данных об осадках добились США, Япония, Австралия, Румыния, а также Великобритания, Франция и другие западноевропейские страны.

Виды (диапазоны) дистанционного зондирования, применяемые для определения влажности верхнего слоя почвы

Диапазон ДЗ	Переменная	Достоинства	Недостатки	Источники шумов	Датчики
Видимый	Альbedo почвы	Простота, хорошее покрытие	Множество источников шумов	Двумерная функция распределения отражательной способности объектов, облачность, цвет почвы, растительность	AVHRR MODIS Landsat SPOT
Коротковолновый инфракрасный	Влажность почвы и растительности	Очень чувствителен по отношению к влажности почвы	Существенное влияние сигнала, отражающего влажность почвы	Облачность, растительный покров	MODIS ASTER
Тепловой инфракрасный	Температура поверхности	Высокое разрешение, широкая полоса захвата, хорошее покрытие, высокая частота наблюдений, физическая реалистичность	Ширина покрытия и частота наблюдений ограничены облачностью	Метеоусловия	IR-MSS AVHRR MODIS
Активный микроволновый	Коэффициент обратного рассеяния, диэлектрические характеристики	Низкий уровень атмосферных шумов, высокое разрешение	Ограниченная полоса захвата	Шероховатость и рельеф поверхности Земли, растительный покров	ERS-Scatterometer
Пассивный микроволновый	Яркость, температура почвы, диэлектрические характеристики	Низкий уровень атмосферных шумов, высокая проникаемость через слой растительности	Низкое разрешение, подверженность радиопомехам	Шероховатость поверхности Земли, растительность, температура, средства связи	SMMR AMSR-E SMOS Hydros

Обозначения датчиков:

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer

MODIS – MODerate resolution Imaging Spectroradiometer

Landsat – программаспутниковыхнаблюдений, проводимаяNASAиUSGS

SPOT – французская программа спутникового зондирования Земли

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

IR-MSS – Infrared Multispectral Scanner

ERS-Scatterometer – европейский радар, работающий в С-диапазоне с пространственным разрешением около 50 км

SMMR – scanning multichannel microwave radiometer

AMSR-E – Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth observing system

SMOS – SoilMoistureandOceanSalinity (европейская программа спутникового зондирования Земли)

Hydros – HYDROsphere State mission (программа NASA по спутниковому зондированию Земли)

Особенности применения радарных данных при автоматизированном прогнозировании стока

Некоторый опыт применения радарных данных для оперативного прогнозирования стока накоплен лишь в нескольких странах. На наш взгляд, наиболее интересные исследования в этой области выполнены американскими учеными, которые заключались в сопоставлении радарных данных об осадках с данными наземных наблюдений, получаемых на территории штата Оклахома с пространственной дискретностью 1 км (Oklahoma Mesonet). Эти исследования позволили перейти к использованию радарных данных для оперативного прогнозирования стока на основе модели «Сакраменто» с распределенными параметрами с временной дискретностью 1 час [7, 8].

В общем случае для автоматизированного прогнозирования стока на основе комплексного использования данных дистанционного зондирования (в частности, радарных), наземных наблюдений и «выхода» гидродинамических моделей погоды необходимо решить следующие задачи:

1. Обеспечение аппаратных и программных средств автоматической передачи, обработки и архивирования (в программно-реализованной базе данных) разнородных данных в режиме, близком к реальному времени, включая их усвоение, контроль качества, корректировку и ремасштабирование (приведение к единой пространственно-временной дискретности), а также протоколирование всех операций по преобразованию данных [2, 5, 14] и передачу окончательных массивов данных в АСП;
2. Обеспечение автоматической делинеации элементарных водосборов по цифровой модели рельефа в соответствии с установленной пространственно-временной дискретностью обработанных данных [2, 5];
3. Организацию автоматической калибровки гидрологических моделей с распределенными параметрами для каждого пикселя расчетной сетки или элементарного водосбора [15]. Важно подчеркнуть, что калибровка моделей с распределенными параметрами требует больших процессорных ресурсов и большего времени, чем калибровка моделей с сосредоточенными параметрами, поэтому применяемый метод калибровки должен быть экономичен с точки зрения использования процессорных ресурсов. Возможные способы калибровки моделей с распределенными параметрами будут рассмотрены в одной из последующих статей данного цикла;
4. Обеспечение стыковки различных метеорологических и гидрологических прогностических моделей [2, 5] с учетом установленной пространственно-временной дискретности;

5. Обеспечение индивидуального подхода к форме представления выпускаемых прогнозов (в зависимости от потребностей и пожеланий их потребителя). Способ представления прогнозов должен включать автоматическую идентификацию источников, типов и характеристик данных, использованных при выпуске каждого конкретного прогноза [2]. Это необходимо для того, чтобы потребитель мог самостоятельно судить о надежности прогнозируемых величин.

В заключение подчеркнем, что уровень автоматизации разрабатываемых в РФ и других странах технологий гидрологического прогнозирования неуклонно повышается, поэтому комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и «выхода» гидродинамических моделей погоды требует самого пристального внимания и дальнейшего развития. Этот подход обеспечивает непрерывность, высокую пространственно-временную дискретность и качество «выхода» гидрологических моделей и, следовательно, позволяет повысить точность и заблаговременность прогнозов стока, что особенно важно для регионов с низкой пространственно-временной дискретностью наземных наблюдений [2, 4, 5].

Как показывает опыт, приобретение и внедрение зарубежных технологий (включая рекомендованные ВМО) требует привлечения значительных ресурсов, но при этом не гарантирует успешного решения задачи модернизации и повышения эффективности работы гидрометеорологической службы [1]. Именно по этой причине перед нами стоит задача разработки всех элементов с учетом не только мировых трендов, но и экономических, физико-географических, информационных и социально-политических особенностей Российской Федерации, СНГ и других стран, заинтересованных во внедрении работоспособных прогностических систем. Только в этом случае мы сможем не только повысить эффективность гидрометеорологического обеспечения экономики нашей страны, но и усилить ее позиции на мировом рынке наукоемких гидрометеорологических технологий.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2.2 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П1103 от 02 июня 2010 г.) по направлению «География и гидрология суши».

Литература

1. Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учетом аспектов изменения климата). Материалы VI Метеорологического съезда, Санкт-Петербург, 2009 г., 77 с.
2. Guide to Hydrological Practices, Volume I, Hydrology – From Measurement to Hydrological Information, WMO-№ 168, Sixth edition, 2008.
3. World Meteorological Organization, 1983: Guide to Climatological Practices. Second edition, WMO-№ 100, Geneva.
4. *V. Kuzmin, A. Seed, J. Walker.* Australian Government Bureau of Meteorology forecast and real-time observational hydrometeorological data for hydrologic forecasting // eWater CRC Technical Report, eWater CRC, Canberra, 2007.
5. *D. Barrett, V. Kuzmin, J. Walker, T. McVicar, C. Draper.* Improved stream flow forecasting by coupling satellite observations, in situ data and catchment models using data assimilation methods // eWater CRC Technical Report, 2008, 77 p.
6. *Chumchean, S., A.W. Seed, and A. Sharma,* 2006. An Integrated Approach to Error Correction for Real-Time Radar-Rainfall Estimation. *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, 23(1), 67–79.

7. *M. Smith, V. Koren, Z. Zhang, S. Reed, D.-J. Seo, F. Moreda, V. Kuzmin, Z. Cui, R. Anderson.* NOAA/NWS Distributed Hydrologic Modeling Research and Development // NOAA Technical Report NWS 45, April, 2004.
8. *Z. Zhang, M. Smith, V. Koren, S. Reed, F. Moreda, V. Kuzmin, R. Anderson.* A study of the relationship between rainfall variability and the improvement of using a distributed model // Eds. Y. Chen, K. Takara, I. D. Cluckie, H. F. de Smedt, GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment, IAHS Publ. No. 289, 2004.
9. *Ebert, E.E. and Weymouth, G.T.,* 1999, Incorporating Satellite Observations of “NoRain” in an Australian Daily Rainfall Analysis, *J. Appl. Meteor.*, 38, 1, 44-56.
10. *Rosenfeld, D., and G. Gutman,* 1994: Retrieving microphysical properties near the tops of potential rain clouds by multi spectral analysis of AVHRR data. *Atmos. Res.*, 34, 259-283.
11. *Herman, A., V. Kumar, P. Arkin, and J. Kousky,* 1997, Objectively determined 10-day African rainfall estimates created for famine early warning systems, *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 10, 2147-2159.
12. *Wagner, W; Naeimi, V; Scipal, K; de Jeu, R; Martinez-Fernandez, J* (2007), Soil moisture from operational meteorological satellites/ *Hydrogeology Journal*, 15 (1): 121-131.
13. *D'Souza, G., Barrett, E. C. & Power, C. H.* (1990) Satellite rainfall estimation techniques using visible and infrared imagery. *Remote Sens. Rev.* 4(2), 379-410.
14. World Meteorological Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985: Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management. WMO-No. 634, Geneva.
15. *Kuzmin, V., Seo, D.-J., Koren, V.* Fast and efficient optimization of hydrologic model parameters using a priori estimates and stepwise line search // *Journal of Hydrology*, vol. 353, iss. 1–2, 2008, pp. 109–128.