

**В Гидрометцентре России продолжается работа по разработке и совершенствованию системы трёхмерного вариационного усвоения данных, о которой наш бюллетень рассказывал полтора года назад.**

О текущем состоянии дел, новых результатах и перспективах новой системы трёхмерного вариационного усвоения данных нам вновь согласился рассказать один из авторов этой работы, заведующий Лабораторией усвоения данных метеорологических наблюдений Гидрометцентра России, канд. физ.-мат. наук Михаил Давыдович Цырульников



М.Д.Цырульников

**Авторы системы:** М.Д.Цырульников, П.И.Свиренко, М.Е.Горбунов, В.Е.Горин, А.Л.Ордин, Д.Р.Гайфулин и И.Б.Мамай.

**Назначение системы:** восстановление геофизических полей в регулярной сетке точек (полей анализа) по данным разнородных наблюдений. Использование полученных полей для инициализации численных прогнозов, а также климатических (реанализ) и диагностических исследований.

**Область применения:** Метеорологические поля на глобальном и региональном масштабах. Океанографические поля. Потенциально: поля химических примесей в атмосфере, а также атмосферные поля на других планетах.

**Название системы:** АЗФ (АЗФ) – анализ с помощью 3-мерных фильтров. Эти фильтры лежат в основе ключевого компонента системы – предложенной и разработанной нами схемы пространственных ковариаций.

**Входная информация:**

- 1) Разнородные наблюдения: традиционные контактные, новые спутниковые, радиолокационные и другие дистанционные;
- 2) Поля так называемого первого приближения – в худшем случае, соответствующие климатические средние; в лучшем случае, поля численного краткосрочного прогноза, стартовавшего с предыдущего анализа (в режиме циклического усвоения данных).

**Спутниковые наблюдения:** в настоящее время вклад спутниковых наблюдений в точность полей анализа и прогноза погоды превысил вклад традиционных синоптических и аэрологических наблюдений. Поэтому эффективности усвоения спутниковых наблюдений уделяется особое внимание. При этом трудности усвоения спутниковых данных состоят в сложности и нелинейности их зависимости от атмосферных полей, а также возможной взаимной коррелированности их ошибок. В настоящее время мы (научная группа разработчиков) усваиваем следующие типы спутниковых наблюдений: (1) наблюдения ветра по движению облаков и полям влажности, (2) т.н. скаттерометрические наблюдения приводного ветра (по измерениям отражённого сигнала спутникового радиолокатора от взволнованной поверхности моря), (3) наблюдения уходящей радиации системы «Земля-атмосфера» и (4) т.н. радиозатменные наблюдения, измеряющие рефракцию радиолуча в атмосфере и связанные с полями температуры и влажности.

**«Принцип действия» системы:**

Вкратце, разработанная технология усвоения данных работает в атмосфере следующим образом.

1) Данные различных усваиваемых наблюдений, в настоящее время, контактных (синоптических, аэрологических и самолётных) и спутниковых – принимаются в Главном Радиометцентре Росгидромета (сейчас он называется «Авиаметтелетком») по метеорологической сети глобальной телесвязи (ГСТ) или интернету и направляются в Гидрометцентр. Дополнительно, данные регионального покрытия с меньшей задержкой мы получаем из НИЦ «Планета». Сейчас суточный объём данных наблюдений – около 5 Гб и этот объём быстро растёт год от года.

2) В Гидрометцентре полученные данные сортируются по типам, датам, «раскладываются» по директориям временного хранения общего пользования, а также архивируются (А.Ю.Недачина).

3) Автономно работающие программы первичной обработки регулярно (для глобального усвоения - каждые 30 минут) раскодируют свежую порцию наблюдений и формируют т.н. «файлы для анализа», которые содержат уже только ту информацию, которая необходима для дальнейшего усвоения.

4) Регулярно (для глобального усвоения – каждые 6 часов в сроки 2.20, 8.20, 14.20 и 20.20) стартует программа формирования полей первого приближения из полей 6-часовых численных прогнозов НСЕРП или отечественной прогностической модели. Программа восполняет некоторые поля (в частности, геопотенциал при работе с прогностической моделью) и формирует несколько наборов полей со сдвигом по времени внутри «окна усвоения» (+2 или +- 3 часа).

5) По окончании программы формирования полей первого приближения стартуют программы формирования т.н. «инноваций» - отклонений наблюдений (из «файлов для анализа») от первого приближения. Каждая из таких программ работает со своим типом наблюдений. При вычислении «инноваций» происходит пространственно-временная интерполяция полей первого приближения на точки наблюдений, а для спутниковых наблюдений ещё и применение так называемых операторов наблюдений. Оператор наблюдений для измерений, например, уходящей радиации, включает интегрирование модели переноса излучения в атмосфере (для этих целей используется здесь модель RTTOV). Другой пример весьма сложного оператора наблюдений доставляют радиозатменные наблюдения – мы используем методологию и технологию, разработанную членом нашей команды М.Е.Горбуновым (ИФА РАН и Гидрометцентр России).

6) Наконец, стартует собственно анализ – интерполяция и преобразования «инноваций» в точках наблюдений в поля так называемого инкремента анализа – отклонения анализа от первого приближения – в регулярной сетке точек. Анализ оптимально объединяет информацию из первого приближения и наблюдений. Для обеспечения такой оптимальности (в вероятностном смысле слова) необходима модель пространственных ковариаций полей ошибок первого приближения, которую была предложена и разработана в нашей лаборатории.

7) «Финальный аккорд» - добавление инкремента анализа к первому приближению с формированием собственно уже полей анализа.

**Оригинальность методики:** Система трёхмерного вариационного усвоения полностью (от идеи до программного кода), кроме радиационной модели RTTOV, разработана и создана её авторами и по нескольким ключевым параметрам не имеет прямых аналогов в мировой практике. Главный отличительный элемент – лежащая в её основе оригинальная схема пространственных ковариаций на основе трёхмерных фильтров, пригодная для работы в режиме гибридного вариационно-ансамблевого усвоения. Также оригинальна методика и технология обработки данных радиозатменных наблюдений.

**Унификация.** Важнейшим элементом разрабатываемой технологии является её унификация – нам неизвестны примеры других систем в мире, которые бы, как у нас, работали на глобальном и региональном масштабах в атмосфере, а также и в океане. Такая унификация позволяет более эффективно использовать имеющиеся у нас весьма ограниченные ресурсы, но это достигается ценой некоторого «утяжеления» системы. Так, в настоящее время, программный код системы состоит более чем из 1000 (!) подпрограмм на Фортране и Си, состоящих из 300 тыс. строк исходного кода.

**Текущее состояние:** Система трёхмерного усвоения в атмосфере на глобальном масштабе с первым приближением – полями 6-часового прогноза NCEP – с 2012 г. внедрена в оперативную практику в Гидрометцентре России. Разрешение анализа по широте–долготе 0.5 градуса. Диапазон высот – от 0.5 гПа (~60 км) до 1075 гПа. Анализируемые поля: геопотенциал, температура, давление, компоненты ветра, влажность.

Система циклического усвоения в глобальном океане, созданная А.А. Зеленько, Ю.Д. Реснянским, М.Д. Цырульниковым, Б.С. Струковым и П.И. Свиренко и использующая разработанную нами систему трёхмерного вариационного усвоения, также работает оперативно в Гидрометцентре России с 2006 г. Анализируемые поля: температура и солёность воды на ряде глубин в регулярной широтно-долготной сетке.

Разработаны и действуют схемы глобального циклического усвоения данных в атмосфере с отечественными прогностическими моделями ПЛАВ (полу-лагранжева модель) и СМА

(спектральная модель). Создана схема регионального усвоения данных с моделью COSMO, проходящая в настоящее время авторские испытания для регионов Сочи и Сибири.

**Ближайшие планы:** Создание технологии эффективного усвоения радиолокационных наблюдений о радиальном ветре (в первую очередь) и об отражаемости (позже). Внедрение схем циклического атмосферного усвоения в оперативную практику.

**Планы на перспективу 2 – 4 года:** Создание гибридной вариационно-ансамблевой системы усвоения данных. Такие гибриды считаются в настоящее время наиболее перспективными и предназначены для объединения достоинств как вариационных, так и ансамблевых (ансамблевый фильтр Калмана) схем усвоения данных.

Включение большего числа новых спутниковых наблюдений (в частности, данных наземных приёмников сигналов радионавигационных систем об интегральной влажности атмосферы).

#### **Сравнение с ведущими метеоцентрами мира:**

Аналогичные системы трёхмерного вариационного усвоения используются сейчас оперативно в Метеорологической службе Германии (DWD), и лишь недавно в США (NCEP) был осуществлён переход от трёхмерного вариационного усвоения к гибриднему усвоению.

В Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), в Британском Метеорологическом департаменте (MetOffice) и в Японии применяются более совершенные системы четырёхмерного усвоения данных. В тоже время, в некоторых центрах рассматривается возможность отказа, в дальнейшем, от весьма сложных схем четырёхмерного усвоения данных в пользу более «лёгких» и более приспособленных для массивно параллельных компьютеров будущего гибридных схем.

После создания системы гибридного усвоения Гидрометцентр России рассчитывает «встать в один ряд» со всеми перечисленными ведущими метеорологическими центрами.

#### **Публикации авторов:**

##### Усвоение в атмосфере:

М.Д. Цырульников, П.И. Свиренко, В.Е. Горин, М.Е. Горбунов, Е.Г. Климова. Разработка схемы трёхмерного вариационного усвоения данных в Гидрометцентре России. – «80 лет Гидрометцентру России» (сборник научных трудов), М., Триада ЛТД, 2010, с.21-35.

М.Д.Цырульников, П.И.Свиренко, В.Е.Горин, М.Е.Горбунов, А.Л.Ордин, А.Н.Багров. Новая технология объективного анализа на основе схемы 3D-VAR. Информационный Сборник №39 Росгидромета «Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов». Москва, 2012, с. 6-14.

##### О спутниковых наблюдениях:

Gorin V.E. and Tsyruльников M.D. Estimation of multivariate observation-error statistics for AMSU-A data. – *Monthly Weather Review*, 2011, v. 139, 3765-3780.

##### Усвоение в океане:

А.А. Зеленько, Ю.Д. Реснянский, М.Д. Цырульников, Б.С. Струков, П.И. Свиренко. Мониторинг крупномасштабной структуры гидрофизических полей океана. – Юбилейный сборник научных трудов памяти Линейкина.

##### О структуре ковариаций полей ошибок первого приближения в океане:

Ю.Д. Реснянский, М.Д. Цырульников, Б.С. Струков, А.А. Зеленько. Статистическая структура пространственной изменчивости термохалинных полей океана по данным профильных наблюдений системы ARGO за 2005-2007 гг. – *Океанология*, 2010, т. 50, № 2, с. 165-183.

*Редакция бюллетеня благодарит М.Д. Цырульникова за подготовку данного материала ■*