

Степаненко С.Н., д.ф.-м.н., Тарнопольский А.Г., д.г.н. (Одесский государственный экологический университет), Украина

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ПОГОДЫ В УКРАИНЕ**

*В огляді наведений погляд авторів на шляхи розвитку методів короткочасних прогнозів погоди для України. Наведені аргументи щодо пріоритетного розвитку та впровадження статистичних методів та моделей мезомасштабних атмосферних процесів в проблемі регіонального короткочасного прогнозу погоди. Описується досвід використання моделі атмосферного примежового шару, що розроблена в Одеському екологічному університеті, для локального прогнозу погоди в Російському гідрометеорологічному центрі. Наведені пропозиції щодо організації в Україні робіт по впровадженню моделей локального прогнозу погоди.*

Основу современных численных методов прогноза погоды составляют гидродинамические модели прогноза. В последние десятилетия во всем мире в этом направлении достигнут значительный прогресс. Это стало возможным благодаря разработке более совершенных и реалистических моделей, бурному развитию вычислительной техники, а также существенному увеличению объема исходных метеорологических данных. Улучшение качества прогнозов происходит в двух направлениях. Во-первых, повышается оправдываемость краткосрочного прогноза, во-вторых, увеличивается его заблаговременность с приемлемой надежностью [1,2,6].

### **Разработка региональных мезомасштабных моделей – путь повышения качества прогноза**

Следует отметить, что большинство крупномасштабных прогностических моделей описывают атмосферные процессы с недостаточным для локального прогноза пространственным разрешением (горизонтальный шаг сетки составляет около 300 км). С помощью таких моделей можно прогнозировать некоторое осредненное состояние погоды или, как иногда говорят, ее фон. Но на фоне крупномасштабных синоптических процессов в атмосфере развиваются процессы меньших масштабов, из которых наибольший интерес представляют процессы подсиноптического масштаба и мезомасштаба. Эти процессы вносят существенный вклад в формирование погоды в отдельных областях и пунктах.

Поэтому для Украины разработка и внедрение в оперативную практику мезомасштабного численного прогноза является основным направлением повышения качества прогнозов погоды [8]. Задача решается на основе полной системы уравнений в гидростатическом и негидростатическом приближениях. В качестве исходной информации наряду с данными сети метеорологических станций и пунктов радиозондирования используются также наблюдения локальной сети повышенной плотности для ограниченной прогностической области. Переход к региональным прогностическим моделям требует более точного учета особенностей рельефа местности, неоднородностей подстилающей поверхности (например, суша–море), неадиабатических притоков тепла. Возникающие при этом трудности связаны с заданием граничных условий на боковых границах области расчета, описанием взаимодействия крупно– и мезомасштабных процессов, созданием эффективной численной схемы решения системы уравнений гидротермодинамики с высоким уровнем турбулентного замыкания. На базе мезомасштабных и локальных моделей рассчитывается детализированный прогноз погоды (шаг по горизонтали – несколько км), включающий облачность, осадки, экстремальные температуры, локальные ветры. Подобные исследования следует относить к приоритетным.

Как следует из вышеизложенного, дальнейшее развитие методов анализа и прогноза погоды в условиях Украины логически связано с разработкой и внедрением модели локального гидродинамического прогноза погоды. Это определяется, по крайней мере, двумя обстоятельствами. Во–первых, существующая иерархия метеорологических центров Всемирной службы погоды включает Мировые метеорологические центры (ММЦ), Региональные метеорологические центры (РМЦ) и Национальные метеорологические центры (НМЦ). В области прогнозирования погоды ММЦ и РМЦ ответственны за прогнозы глобального и полусферного масштаба на срок до 10 суток. Обязанностью же НМЦ является обеспечение потребителей дополнительной прогностической информацией, получаемой с помощью соответствующих прогностических методик на основе прогностической продукции ММЦ и РМЦ. Инструментом, который может существенно расширить и приблизить к потребителю прогностическую продукцию ММЦ и РМЦ, и являются модели локального прогноза (МЛП).

Во–вторых, дальнейшее улучшение качества локальных прогнозов связано с более точным учетом влияния местных, мезомасштабных особенностей развития атмосферных процессов в рассматриваемом режиме. Несмотря на очень высокий уровень развития существующих глобальных и полусферных прогностических систем, необходимы более высокое пространственное разрешение и более тщательный учет тех

конкретных физических процессов, которые являются важными для данного географического района (и в то же время не являются приоритетными для крупномасштабных прогностических систем). С помощью МЛП можно получить детализированные краткосрочные прогнозы погоды.

Заслуживает внимания еще один аспект этой проблемы. В настоящее время имеется острая необходимость в детализированном мезомасштабном прогнозе состояния нижнего слоя атмосферы для целей экологического мониторинга воздушного бассейна Украины. Для этих задач также может использоваться прогностическая продукция МЛП.

### ***Мезомасштабное прогнозирование как синтез модели АПС и полусферной прогностической модели***

В Одесском государственном экологическом университете (ОГЭКУ) в течение многих лет проводятся фундаментальные исследования по физике атмосферного пограничного слоя (АПС) [3,4,7, 9,10, 11]. Здесь разработана иерархия гидродинамических моделей АПС и предложена схема параметризации эффектов АПС в оперативной прогностической модели Российского гидрометцентра (Москва).

В [3,7,9] изложены теоретические основы гидродинамической модели АПС. В них описана система уравнений трехмерной нестационарной модели, включающей осредненные уравнения гидротермодинамики, уравнения баланса кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации, соотношения Колмогорова и Смагоринского для вертикального и горизонтального коэффициентов турбулентности. Численное решение замкнутой системы при заданных граничных и начальных условиях используется для расчетов детальных вертикальных профилей метеорологических величин (ветер, влажность, температура) и характеристик турбулентности по данным объективного анализа и прогноза в узлах регулярной сетки.

Разработанная учеными ОГЭКУ схема мезомасштабного прогнозирования погоды на основе сочетания модели АПС и полусферной прогностической модели эффективно используется в Российском гидрометцентре [4]. Практическая реализация указанной схемы выполняется в следующей последовательности:

- \* выполняется объективный анализ и прогноз по полным уравнениям гидротермодинамики с параметрическим учетом эффектов пограничного слоя;
- \* данные объективного анализа дополняются наблюдениями локальной сети для выбранной ограниченной области;
- \* по модели АПС осуществляются диагностические расчеты характеристик пограничного слоя по ограниченной территории;

\* по выходной информации прогностической гидродинамической модели и модели АПС восстанавливаются прогностические поля метеорологических величин и характеристик турбулентности в нижнем слое атмосферы (до 1,5 км) с высоким пространственным разрешением (по горизонтали  $7,5 \times 7,5 \text{ км}^2$  и по вертикали 21 уровень).

Модель атмосферного пограничного слоя ОГЭКУ [3] применена для расчетов оперативных гидродинамических прогнозов в г. Москве с заблаговременностью 48ч. Успешность прогнозов ветра, температуры, влажности, облачности и осадков, согласно решению Центральной методической комиссии по гидродинамическим прогнозам Росгидрометцентра, является наиболее высокой среди всех автоматизированных методик. Поэтому предложенный метод внедрен в практику Гидрометцентра России [4].

В настоящее время ОГЭКУ совместно с Гидрометцентром Черного и Азовского морей (ГМЦ ЧАМ) разрабатывает метод детализированного прогноза скорости ветра в нижнем слое атмосферы с использованием данных объективного анализа Британской метеорологической службы и описанной выше модели АПС [3,9].

Таким образом, модель АПС, разработанная в Одесском экологическом университете, может рассматриваться как вариант гидродинамической интерполяции прогностической продукции глобальных и полусферных моделей с целью получения детализированного прогноза состояния нижнего слоя атмосферы. Эта интерполяция имеет важное прикладное значение и, в частности, может быть использована в задаче экологического мониторинга [7].

### ***Применение методов математической статистики в задаче локального прогноза погоды***

Задача детерминированного прогностического расчета метеорологических величин в АПС содержит неразрешимые до сих пор трудности. Точность прогнозов, полученных с помощью гидродинамических моделей, во многом зависит от того, насколько правильно удалось описать физические процессы соответствующими уравнениями, а также от способа их решения. Упрощения, допускаемые при конструировании соответствующих уравнений, а также при их решении, приводят к различным ошибкам прогноза. Кроме того, по-видимому, существуют и такие процессы, влияющие на погоду, которые в настоящее время невозможно описать с помощью уравнений, а о некоторых процессах мы вообще ничего не знаем и даже не подозреваем их существование [5].

Из синоптической практики известны случаи, когда при достаточно удачном гидродинамическом (фоновом) прогнозе в силу каких-то местных особенностей локальный прогноз (для данного пункта) оказался не оправдавшимся. При таких условиях применение для прогноза статистических методов может оказаться весьма полезным.

В последние годы в зарубежной синоптической практике при локальном прогнозе явлений и элементов погоды, помимо давно применяемой концепции «идеального» прогноза (**PP** – *perfect prognosis*), когда корреляция находится на диагностическом материале, а затем используется на прогностических данных, широко внедряется в оперативную работу методика **MOS** (*model output statistics*). В ней для прогноза элементов погоды применяются статистические связи, найденные только по прогностическим данным. Некоторые статистические прогностические модели строятся на основе совместного использования систем **PP** и **MOS**. При этом выходные данные полусферной или региональной гидродинамической модели используются для описания ожидаемого фона, на котором будут развиваться процессы, параметры которых рассчитываются статистическим путем. Таким образом, локальные прогностические модели, построенные на основе эмпирико-статистических связей, позволяют существенно улучшить прогнозирование метеорологических величин и явлений погоды по небольшим территориям (например, в городе).

### **Выводы и предложения**

К сожалению, Гидрометслужба Украины значительно отстает от европейских стран в деле использования современных программно-технологических линий автоматизированного мезомасштабного прогноза погоды. Метеорологическая служба слабо оснащена современной компьютерной техникой. Хотя работы некоторых ученых Украины (и, в частности, ОГЭКУ) в области мезомасштабного прогнозирования отвечают мировому уровню фундаментальных исследований, их результаты недостаточно активно используются в оперативной практике.

Настольная книга синоптиков – «*Руководство по краткосрочным прогнозам погоды*» [5] не отражает специфику работы метеорологической службы и не учитывает физико-географические и климатические особенности Украины. Осуществляемые в различных прогностических подразделениях мероприятия по автоматизации рабочего места синоптика требуют научно-методического сопровождения из единого центра, чтобы избежать внедрение старых и плохо зарекомендовавших себя методик и технологий.

В связи с вышеизложенным предлагается в ближайшее время выполнить следующие мероприятия:

- \* придать Украинскому гидрометцентру (УкрГМЦ) статус научно–исследовательского института с целью объединения в одной организации ученых в области численных методов прогноза погоды и инженеров–синоптиков, выполняющих оперативную прогностическую работу (по опыту Российского гидрометцентра);
- \* создать при Украинском научно–исследовательском институте (УкрНИГМИ) и УкрГМЦ научно–технический совет по численным методам анализа и прогноза с целью объединения усилий ученых и практиков, работающих в Киеве, Одессе, Севастополе и других городах Украины;
- \* УкрГМЦ совместно с УкрНИГМИ и ОГЭКУ адаптировать к условиям Украины современную гидродинамическую модель с мезомасштабным уровнем пространственного разрешения и внедрить ее в оперативную практику;
- \* УкрНИГМИ совместно с УкрГМЦ и ОГЭКУ провести инвентаризацию применяемых в практической работе синоптиков численных эмпирико–статистических методов прогноза и разработать план создания локальных прогностических моделей для разных районов Украины (с привлечением местных специалистов);
- \* внедрить в работу УкрГМЦ и ГМЦ ЧАМ разработанную в ОГЭКУ схему мезомасштабного прогноза на базе сочетания полусферной модели и модели АПС;
- \* активизировать мероприятия по созданию автоматизированного рабочего места синоптика во всех прогностических подразделениях Гидрометцентра Украины;
- \* подготовить новый вариант Руководства по краткосрочным прогнозам погоды и сборник методических указаний для инженеров–синоптиков;
- \* возобновить в ОГЭКУ функционирование курсов повышения квалификации инженеров–синоптиков с уклоном – статистическая интерпретация гидродинамических прогнозов;
- \* предоставить возможность заинтересованным преподавателям ОГЭКУ проходить стажировку в УкрГМЦ или ГМЦ ЧАМ;
- \* УкрГМЦ, УкрНИГМИ и ОГЭКУ подготовить и провести научно–практическую конференцию «Современные методы и проблемы анализа и прогноза погоды в Украине»;
- \* с целью улучшения издательской деятельности в области гидрометеорологии в Украине рассмотреть вопросы учреждения ежемесячного научно–технического журнала «Метеорология и гидрология Украины»;

Финансовое обеспечение перечисленных мероприятий должно осуществляться за счет бюджетных и внебюджетных средств, различных грантов и международного сотрудничества.

Авторы благодарны проф. Шнайдману В.А., материалы которого были использованы при составлении настоящего обзора.

## Литература

1. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 376 с.
2. Бенгтсон Л. Прогнозы на средние сроки в Европейском центре прогнозов погоды на средние сроки (ЕЦППС). В кн.: Динамика погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 18–64.
3. Беркович Л.В., Тарнопольский А.Г., Шнайдман В.А. Гидродинамическая модель атмосферного и океанического пограничных слоев// Метеорология и гидрология. – 1997. – № 7. – С. 40–52
4. Беркович Л.В., Тарнопольский А.Г., Шнайдман В.А. Опыт восстановления внутренней структуры атмосферного пограничного слоя по оперативной метеорологической информации// Метеорология и гидрология. – 1998. – № 7. – С 31–42.
5. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 703 с.
6. Русин И.Н. Современные методы метеорологических прогнозов. – Л.: ЛГМИ, 1987. – 96 с.
7. Степаненко С.Н. Динамика турбулентно-циркуляционных и диффузионных процессов в нижнем слое атмосферы над Украиной. – Одесса, Маяк, 1998, 286 с.
8. Степаненко С.Н. Математическое моделирование мезомасштабных процессов и явлений в атмосфере. – Одесса, Бахва, 2001, 290 с.
9. Тарнопольский А.Г., Шнайдман В.А. Моделирование геофизического пограничного слоя// Доповіді НАН України. – 1993. – № 9. – С. 105–112.
10. Shnaidman V.A., Tarnopolsky A.G., Berkovich L.V. The method of atmospheric boundary layer structure prediction// Research activities in atmospheric and oceanic modelling. – 1997. – Rep. No. 25, WMO/TD – No. 792. – P. 5.38–5.39.

11. Shnaidman V.A., Tarnopolsky A.G., Berkovich L.V. The analysis and prediction of ABL parameters with the operative meteorological information// Research activities in atmospheric and oceanic modelling. – 1998. – Rep. No. 27, WMO/TD – No. 865. – P. 5.54–5.55.

*Матеріали Першої міжнародної конференції "Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища" Одеса 24-25.09. 2002. Ч. I. - ОДЕКУ, 2003. с. 171 - 177*