

Иванов Сергей Васильевич

д.геогр.н., в.н.с. научно-исследовательской части

Одесского Государственного Экологического Университета (ОДЕКУ)

Паламарчук Юлия Олеговна

к.геогр.н., PhD., Researcher

Finish Meteorological Institute (FMI)

Рубан Игорь Георгиевич

к.ф.-м.н., доц. кафедры океанологии

Одесского Государственного Экологического Университета (ОДЕКУ)

**ТЕХНОЛОГИЯ ЧИСЛЕННОГО ОПИСАНИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ HARMONIE ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ**

В эпоху широкомасштабной индустриализации всех отраслей экономики и повсеместного внедрения информационных технологий, охватившей цивилизованную часть планеты в последние десятилетия, проявилась парадоксальная ситуация. Общество стало в большей степени зависеть от состояния окружающей среды и погодных условий. Это, в свою очередь, стимулировало интенсивное развитие науки об атмосфере с привлечением последних достижений в области прикладной математики, программирования и вычислительных комплексов. Однако, реализация подобных задач оказалась не под силу отдельным странам, что привело к формированию консорциумов по созданию моделирующих систем атмосферы. Организованный десятилетия ранее Европейский Центр Среднесрочных Прогнозов Погоды (ЕЦСПП) сегодня объединяет 34 страны (<http://www.ecmwf.int/>). Центр стал Мировым лидером в области численных прогнозов погоды, архивации материалов о состоянии атмосферы и подстилающей поверхности, а также располагает самым мощным

среди гражданских организаций вычислительным комплексом HPCFS (High Performance Computing Facility System) (<http://www.ecmwf.int/en/computing>).

ОДЕКУ, как участник международных проектов *EuMetChem*, *AQMEII* и *NATO SPS* по атмосфере, получил доступ к вышеуказанным Европейским ресурсам для проведения научных исследований. Выход на *HPCFS* осуществляется по линии интернета через систему паролей. Численные эксперименты формируются в рабочей области *ECGATE* на кластере *IBM P5 p575*, собственно численные расчеты по атмосферной модели выполняются в области *C2a* на кластере компьютеров *IBM POWER7 775*, а результаты хранятся на кластере *S2a*. Работа на едином вычислительном центре решающим образом оптимизирует процесс расчетов. Исходные версии атмосферных моделей размещаются в репозитории. Все обновления моделей администрируются персоналом центра после согласования и взаимной верификации групп разработчиков. Для всех пользователей репозиторий доступен только для чтения. Каждый исследователь имеет возможность копировать в свою рабочую область необходимую для последующих изменений часть кода или скрипты, используя при этом оставшиеся неизменными составляющие модели непосредственно из репозитория.

Региональная конвективно-разрешающая модель *Harmonie* (hirlam.org), используемая в исследованиях ОДЕКУ, представляет собой программный комплекс из более чем десяти тысяч подпрограмм и скриптов, состыкованный с метеорологическим архивом *MARS* (*Meteorological Archival and Retrieval System*). Последний факт обеспечивает непосредственное извлечение атмосферных полей для задания краевых условий. Блок ассимиляции данных содержит несколько подходов; *3D*- и *4D*- вариационный, ансамбль фильтра Кальмана, цифровой фильтр, которые выбираются пользователем. Модель включает несколько комплексов физической параметризации (*AROME*, *ALARO*, *ECMWF*), подмодель подстилающей поверхности *SURFEX*, негидростатическое ядро *ALADIN* с двух-

уровенной по времени полу-явной полу-лагранжевой схемой дискретизации эластичных уравнений, гибридную вертикальную систему координат.

Модель *Harmonie* может использоваться как для научно-исследовательских целей, так и для выполнения оперативных прогностических расчетов физического и химического состояния атмосферы задачах мониторинга окружающей среды. Основные результаты проведенных исследований сводятся к следующему:

- Разработана информационная модель кодировки и управления радарными наблюдениями, основанная на формате HDF5. Модель является Европейским стандартом второго поколения для формата обмена данными метеорологических радаров различных производителей (<http://eumetnet.eu/activities/observations-programme/current-activities/opera/>) [1]. Ассимиляция радарных измерений позволила повысить точность (~10%) количественного краткосрочного прогноза осадков.

- Адаптированы модельные области высокого разрешения (1 и 2.5 км) над территорией Украины и Черного моря для выполнения оперативных прогнозов по обеспечению навигации и предупреждения об опасных погодных условиях.

- Численные эксперименты показали прямой эффект аэрозолей на физические характеристики атмосферы, в частности, на вертикальное распределение коротковолновой радиации и осадков на поверхности. Определено влияние аэрозолей в зависимости от их типа. Поступающая солнечная радиация поглощается более интенсивно континентальными аэрозолями по сравнению с морскими в пределах пограничного слоя. Высокие концентрации аэрозолей приводят к изменению интенсивности осадков и смещению во времени их выпадения [2, 3, 4].

- Разрабатывается система мониторинга и численного прогноза переноса атмосферных примесей и трансформации загрязняющих веществ после природных катастроф (пожаров) и аварий на промышленных объектах.

1. Паламарчук Ю.О., Иванов С.В., Рубан И.Г. Алгоритм цифрового представления осадков в атмосфере на основе радарных измерений. *Укр. гідрометеорол. ж.*, 2016, **18**, 40-47.

2. Паламарчук Ю.О. Атмосферные аэрозоли: источники, влияние на физическую погоду, моделирование. *Фізична географія та геоморфологія*. 2015, **2 (78)**, 137-145.

3. Palamarchuk, I., Ivanov, S., Ruban, I., and Pavlova, H. Influence of aerosols on atmospheric variables in the harmonie model. *J Atmospheric Research*, 2016, **169**, 539–546.

4. Palamarchuk J., Ivanov S., Kaas E., Nuterman R., Mahura A. HARMONIE Case Study: Aerosol Impact on Atmospheric Meso-scale Circulation for Nordic Countries. *DMI Sci.Report 15-02*, 2015, ISBN:978-97-7478-659-7, 23p, <http://www.dmi.dk/dmi/sr15-02.pdf>