

А. Бакланов

*Департамент науки и инноваций  
Всемирной метеорологической организации (ВМО)*

## **БЕСШОВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ: ОТ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ К ИНТЕГРИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ ГОРОДСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ, КЛИМАТА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Новое поколение интегрированных моделей динамики и состава атмосферы основано на подходе бесшовного моделирования системы Земли (ESM) для перехода от отдельных компонентов модели к бесшовным моделям гидрометеорология-состав атмосферы-окружающая среда для решения проблем в областях погоды, климата и охраны окружающей среды, интересы которых, приложения и проблемы теперь пересекаются. Этот подход рассматривает несколько аспектов бесшовного соединения и интеграции, которые обсуждаются и демонстрируются в презентации:

- Временные масштабы: от секунд и прогнозов текущей погоды до сезонных и климатических шкал времени;
- Пространственные масштабы: от уличного каньона до глобального масштаба (up- and downscaling);
- Процессы: физические, химические, биологические, социальные;
- Компоненты земной системы: атмосфера, гидросфера, лито- и педосфера, экосистемы/биосфера;
- Различные типы наблюдений и инструменты моделирования: слияние наблюдений и моделей, обработка и ассимиляция данных, верификация моделей;
- Связь со здоровьем и социальными последствиями, воздействием, оценкой, услугами и конечными пользователями.

Современная бесшовная унифицированная система моделирования, которая позволяет единой платформе работать в полном спектре масштабов, представляет собой существенный прогресс как в науке, так и в вычислительной эффективности.

Глобальные проблемы, такие как быстрая урбанизация, пандемии, изменение климата, ухудшение состояния окружающей среды, требуют пересмотра нынешнего понимания и традиционных методов. Новая повестка дня ООН в области городов и цель в области устойчивого развития (ЦУР) № 11, сосредоточенная на устойчивом развитии городов, в частности климатической и экологической устойчивости городов, требует совместных междисциплинарных усилий, комплексных исследований и разработки новых интегрированных моделей и методов высокого разрешения.

В презентации рассматривается новая концепция «умных» и устойчивых городов в области климата и окружающей среды и анализируется современная эволюция исследований и разработок от конкретных систем прогнозирования качества воздуха и погоды в городах до комплексных систем

интегрированного моделирования для устойчивых городов. В нем представлен обзор и анализ результатов ряда ключевых международных проектов с участием или под руководством автора (например, WMO GURME и IUS, CityIPCC, FUMAPEX, MEGAPOLI, EuMetChem, MarcoPolo, PEECH) и демонстрируются преимущества этого подхода на примерах отдельных мегаполисов и развития интегрированной системы моделирования Enviro-HIRLAM. Обсуждаются основные пробелы, проблемы, приложения и достижения, основные тенденции и потребности в исследованиях для дальнейшего развития таких систем. Цель состоит в создании городских интегрированных систем, отвечающих особым потребностям городов, за счет сочетания плотных сетей наблюдений, комплексных прогнозов с высоким разрешением, систем раннего предупреждения о множественных опасностях, реагирования при стихийных бедствиях и климатического обслуживания. Такой подход дает городам инструменты, необходимые для сокращения выбросов, создания процветающих и устойчивых сообществ и реализации ЦУР.

A. Baklanov

*Science and Innovation Department, World Meteorological Organization (WMO)*

## **SEAMLESS PREDICTION: FROM EARTH SYSTEM TO INTEGRATED URBAN HYDROMETEOROLOGY, CLIMATE AND ENVIRONMENT SYSTEMS**

The new generation of integrated atmospheric dynamics and composition models is based on the seamless Earth System Modelling (ESM) approach to evolve from separate model components to seamless meteorology-composition-environment models to address challenges in weather, climate, and atmospheric composition fields whose interests, applications, and challenges are now overlapping. This approach considers several dimensions of the seamless coupling, discussed and demonstrated in the presentation:

- Time scales: from seconds and nowcasting to decadal (climate) time-scale;
- Spatial scales: from street-level to global scale (downscaling and upscaling);
- Processes: physical, chemical, biological, social;
- Earth system elements/environments/components: atmosphere, hydrosphere, lithosphere/pedosphere, ecosystems/biosphere;
- Different types of observations and modelling as tools: observations-model fusion, data processing and assimilation, validation and verification;
- Links with health and social consequences, impact, assessment, and services and end-users.

A modern seamless unified modelling system that allows a single platform to operate over the full scale (i.e., across-scale) will represent a substantial advancement in both the science and the computational efficiency.

Global challenges, such as rapid urbanization, pandemics, climate change, environmental degradation, require a review of the current understanding and revision of traditional methods. The New UN Urban Agenda and Sustainable Development Goal (SDG) #11, focusing on urban resilience, climate and environment sustainability of smart cities, require joint multidisciplinary efforts, complex research studies, development of new integrated models and methods.

The presentation is considering the novel concept/strategy of climate and environment smart and sustainable cities and analyzing a modern evolution in research and development from specific urban air quality and weather prediction systems to multi-hazard and integrated urban weather, environment and climate systems and services. It provides an overview and analysis of results of a number of world-wide key international projects (e.g., WMO GURME and IUS, CityIPCC, FUMAPEX, MEGAPOLI, EuMetChem, MarcoPolo, SURF) and demonstrate advantages of this approach on examples of specific urban studies and development of the Enviro-HIRLAM integrated modelling system. It discusses main gaps, challenges, applications and advances, main trends and research needs in further developments of integrated modeling systems for sustainable cities. The aim is to build urban integrated systems that meet the special needs of cities through a combination of dense observation networks, high-resolution forecasts, multi-hazard early warning systems, disaster management plans and climate services. This

approach gives cities the tools they need to reduce emissions, build thriving and resilient communities and implement the SDGs.

## References:

Baklanov, A. and Y. Zhang (2020) Advances in air quality modeling and forecasting, *Global Transitions*, 2, 261-270, <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.11.001> .

Baklanov, A., B Cárdenas, T-C Lee, S Leroyer, V Masson, L T Molina, T Müller, C Ren, F R Vogel, J A Voogt (2020) Integrated urban services: experience from four cities on different continents, *Urban Climate*, 32, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100610>

Grimmond, S., V. Bouchet, L.T. Molina, A. Baklanov, et al., (2020) Integrated urban hydrometeorological, climate & environmental services: Concept, methodology and key messages, *Urban Climate*, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100623>

Nuterman, R., Mahura, A., Baklanov, A., Amstrup, B., and Zakey, A. (2021) Downscaling system for modelling of atmospheric composition on regional, urban and street scales, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2020-1308>

Creutzig, F, S Lohrey, X Bai, A Baklanov, R Dawson, S Dhakal, WF Lamb (2019) Upscaling urban data science for global climate solutions. *Global Sustainability* 2, e2, <https://doi.org/10.1017/sus.2018.16>

Baklanov, A., D. Brunner, G. Carmichael, J. Flemming, S. Freitas, M. Gauss, O. Hov, R. Mathur, K. Schlünzen, C. Seigneur, and B. Vogel, 2017: Key issues for seamless integrated chemistry-meteorology modeling. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2285-2292, doi:10.1175/BAMS-D-15-00166.1.

Baklanov, A., C.S.B. Grimmond, D. Carlson, D. Terblanche, X. Tang, V. Bouchet, B. Lee, G. Langendijk, R.K. Kolli, A. Hovsepyan, 2017: From urban meteorology, climate and environment research to integrated city services. *Urban Climate*, 23, 330–341, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.004>

Baklanov, A., Korsholm, U. S., Nuterman, R., Mahura, A., Nielsen, K. P., Sass, B. H., Rasmussen, A., Zakey, A., Kaas, E., Kurganskiy, A., Sørensen, B., and González-Aparicio, I. (2017) The Enviro-HIRLAM online integrated meteorology–chemistry modelling system: strategy, methodology, developments, and applications (v. 7.2), *Geosci. Model Dev.*, 10, 2971-2999, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2971-2017>

Baklanov, A., L.T. Molina, M. Gauss (2016) Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment*, 126, 235–249. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.11.059

WWOSC Book: Seamless Prediction of the Earth System: from Minutes to Months, (G Brunet, S Jones, PM Ruti Eds.), (WMO-No. 1156), Geneva, 2015 (Chapters 12 and 18), [http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_1156\\_en.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1156_en.pdf)

Bocquet, M., Elbern, H., Eskes, H., Hirtl, M., Žabkar, R., Carmichael, G. R., Flemming, J., Inness, A., Pagowski, M., Pérez Camaño, J. L., Saide, P. E., San Jose, R., Sofiev, M., Vira, J., Baklanov, A., Carnevale, C., Grell, G., and Seigneur, C., 2015: Data assimilation in atmospheric chemistry models: current status and future prospects for coupled chemistry meteorology models, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 5325-5358, doi:10.5194/acp-15-5325-2015

Baklanov, A., Schlünzen, K., Suppan, P., Baldasano, J., Brunner, D., Aksoyoglu, S., Carmichael, G., Douros, J., Flemming, J., Forkel, R., Galmarini, S., Gauss, M., Grell, G., Hirtl, M., Joffre, S., Jorba, O., Kaas, E., Kaasik, M., Kallos, G., Kong, X., Korsholm, U., Kurganskiy, A., Kushta, J., Lohmann, U., Mahura, A., Manders-Groot, A., Maurizi, A., Moussiopoulos, N., Rao, S. T., Savage, N., Seigneur, C., Sokhi, R. S., Solazzo, E., Solomos, S., Sørensen, B., Tsegas, G., Vignati, E., Vogel, B., and Zhang, Y. (2014) Online coupled regional meteorology chemistry models in Europe: current status and prospects, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 317–398, <https://doi.org/10.5194/acp-14-317-2014>

Baklanov A., B. Grisogono, R. Bornstein, L. Mahrt, S. Zilitinkevich, P. Taylor, S.E. Larsen, M.W. Rotach, H. J. S. Fernando (2011): The Nature, Theory, and Modeling of Atmospheric Planetary Boundary Layers. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92, 123–128. doi: 10.1175/2010BAMS2797.1

Grell, G. & A. Baklanov, 2011: Integrated modelling for forecasting weather and air quality: A call for fully coupled approaches. *Atmos. Environ.*, 45, 6845–6851, doi:10.1016/j.atmosenv.2011.01.017.

Baklanov, A., A. Mahura, R. Sokhi, 2011: Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models, Springer Book, 242 p., DOI 10.1007/978-3-642-13980-2

Baklanov A., 2010: Chemical Weather Forecasting: A New Concept of Integrated Modelling. *Advances in Science and Research*, 4, 23-27.

Baklanov, A., S. Grimmond, A. Mahura, M. Athanassiadou, 2009: Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas. Springer Book, 2009, 184 p.

Baklanov, A. and R. Nuterman, 2009: Multi-scale atmospheric environment modelling for urban areas. *Advances in Science and Research*, 3, 53-57.

Baklanov A., P. Mestayer, A. Clappier, S. Zilitinkevich, S. Joffre, A. Mahura, N.W. Nielsen, 2008: Towards improving the simulation of meteorological fields in urban areas through updated/advanced surface fluxes description. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 523-543.

Baklanov A., O. Hänninen, L. H. Slørdal, J. Kukkonen, J. H. Sørensen, N. Bjergene, B. Fay, S. Finardi, S. C. Hoe, M. Jantunen, A. Karppinen, A. Rasmussen, A. Skouloudis, R. S. Sokhi, V. Ødegaard, 2006: Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 855–874.