

**ЮБИЛЕЙНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ИФА ИМ. А.М. ОБУХОВА РАН:
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА**

Репина И.А.^{1*}

¹⁾ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

*repina@ifaran.ru

**IAP RAS ANNIVERSARY CONFERENCE: RESULTS AND PROSPECTS OF ATMOSPHERIC
AND CLIMATE RESEARCH**

Repina I.A.^{1*}

¹⁾ *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia*

*repina@ifaran.ru

Цитирование: Репина И.А. 2026. Юбилейная конференция ИФА им. А.М. Обухова РАН: итоги и перспективы исследований атмосферы и климата. // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 17. № 2. С. 138-146.

Citation: Repina I.A. 2025. IAP RAS anniversary conference: results and prospects of atmospheric and climate research. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 17(1): 138-146.

DOI: 10.18822/edgcc707898

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор материалов юбилейной конференции «Физика атмосферы и климата», посвящённой 70-летию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ИФА РАН). Конференция состоялась 6-9 апреля 2026 года в Кисловодске и объединила более 200 учёных из России и Китая. Цель обзора – осветить ключевые научные итоги форума, включая развитие моделей Земной системы, диагностику климатических изменений, исследования турбулентности, парниковых газов и прикладные аспекты для курортного хозяйства, энергетики и транспорта.

В рамках конференции были представлены новые версии глобальных климатических моделей, участвующих в международных проектах CMIP7. Выявлены региональные особенности изменения гидротермических экстремумов в Сибири, деградации субаквальной мерзлоты в Арктике и трансформации биоклиматических условий курортов Кавказских Минеральных Вод. Значительное внимание уделено потокам парниковых газов: эмиссия метана из тундровых и болотных ландшафтов при деградации мерзлоты возрастает многократно. Показан высокий биоклиматический потенциал курортов КМВ, но отмечена их уязвимость к изменению климата и загрязнению воздуха.

В резолюции конференции участники подчеркнули необходимость дальнейшего развития отечественных климатических моделей, расширения сети экспериментальных станций (включая высокогорные и арктические) и усиления междисциплинарных исследований на стыке физики атмосферы, экологии, медицины и экономики. Отмечена важность передачи научных результатов в практическую плоскость для адаптации различных отраслей к изменяющемуся климату.

Ключевые слова: конференция «Физика атмосферы и климата», Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, состав и динамика атмосферы, климат, прикладные аспекты атмосферных исследований.

ABSTRACT

The A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS) celebrated its 70th anniversary in 2026. To mark this milestone, the Jubilee Conference “Physics of Atmosphere and Climate” was held from April 6 to 9, 2026, in the resort city of Kislovodsk, home to one of the institute’s scientific stations. Organized by IFA RAS, the Earth Sciences Division of RAS, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, and the Pyatigorsk Research Institute of Balneology, the conference brought together more than 200 scientists from Russia and China. The program included plenary lectures, four thematic sections, poster sessions, and round tables. This article provides an overview of the conference, summarizing key scientific results and future challenges.

The plenary session covered a broad range of topics. Central themes included observed climate changes, particularly the record global warming of 2023–2024 and increased weather variability in temperate latitudes. Presenters showcased the latest Earth system models (ARTS ESM, INM CM5/6) and decadal forecasting methods using hidden Markov models. Ocean atmosphere interactions, such as CO₂ fluxes over the Black Sea and the role of Arctic sea ice, were discussed. Atmospheric aerosols received considerable attention: optical properties of smoke and dust, black carbon, long range transport of arid particles to the Arctic, and air pollution in resort zones of the Caucasian Mineral Waters (CMW) region. Results from Russian satellite monitoring (Meteor M, Resurs P, Ionosfera M) and retrieval methods for ozone and aerosol profiles were presented. Fundamental topics included structural stability of vortices (Jupiter's Great Red Spot), laboratory modeling of quasi geostrophic flows, and probabilistic tornado risk assessment. The plenary concluded with reports on climate impacts on human health, bioclimatic potential of CMW resorts, and health risk projections up to 2050.

The first section, on turbulence and waves from the boundary layer to the upper atmosphere, presented experimental and theoretical studies across scales. Using three spatially separated sodars in the Rostov region, researchers identified two types of coherent vortex structures in the stably stratified boundary layer: stable Kelvin Helmholtz billows within the surface inversion and less stable structures in an elevated layer. For Arctic tundra (Samoylov Island), comparison of analytical footprint estimation with numerical modeling accounting for real orography showed that for easterly winds up to 30% of the turbulent signal may come from the water surface beyond the island. A database of turbulent energy exchange for urban landscapes in Moscow, Tomsk, and Beijing was created, filling a gap in the international Urban Plumber network. Nonlinear modeling of acoustic gravity wave propagation through critical levels showed that secondary waves with half or one third the primary wavelength are generated, and their amplitudes in the upper atmosphere can exceed those of primary waves. Analysis of sudden stratospheric warmings revealed that changes in wave activity are driven by inter wave interactions before the warming and by wave mean flow exchange during and after the event. Using GNSS networks, disturbances from the 2022 Hunga Tonga eruption were analyzed: at distances of 8–10 thousand km, waves in the upper atmosphere are recorded 40–50 minutes earlier than in the troposphere. For West Siberian mires, eddy covariance measurements showed that a ridge hollow bog absorbs 109 gC/m²/yr, while a pine sphagnum bog absorbs 88 gC/m²/yr; methane emissions from the forested bog are half those from the open bog. In tundra ecosystems of the Yamalo Nenets region, median methane fluxes range from near zero on dry polygon remnants to 7.1 mg CH₄•m⁻²•h⁻¹ on drained lake beds (khasyreys). Climate warming (+0.5°C/decade over 60 years) increases the active layer thickness of permafrost by 15–20 cm/decade, reduces lake area by 13.4% over 20 years, and multiplies methane emissions from khasyreys.

The second section, on climate system modelling, presented global Earth system model developments. New versions of ARTS ESM (evolved from INMCM) and PLAV models, participating in CMIP7, were introduced. For ARTS ESM L, equilibrium climate sensitivity has increased notably compared to CMIP6. The PLAV model (resolution ~10 km) has improved cloud radiation and aerosol radiation interactions, enhancing accuracy of precipitation and heat flux reproduction. A global atmosphere model with target resolution of 3–5 km is under development for convection permitting calculations. Analysis of large scale circulation patterns in CMIP6 models showed that winter Euro Atlantic regimes are best reproduced, but the positive NAO+ trend from reanalyses is not captured. For Siberia (1940–2025), positive drought trends were found in the Baikal region, Transbaikalia, and Southern Siberian mountains; extreme droughts reached 2–3 cases in the last 30 years, while extreme wetting has disappeared. By 2050 (SSP245, SSP585), further drying is expected. A study of El Niño generation by intraseasonal perturbations showed that in a future climate (SSP5 8.5), the Madden Julian Oscillation contribution weakens, while Rossby waves for central type events increase. Estimates of subaqueous permafrost degradation on the Arctic shelf indicate thaw rates up to 10 cm/year; on the outer Laptev Sea shelf and in the Barents Sea, complete permafrost disappearance is possible by 2100. The ARTS ESM with interactive carbon cycle reproduces historical carbon stock changes (1850–2021). Investigation of climate response reversibility to CO₂ emissions showed asymmetry: CO₂ removal does not fully reverse warming due to oceanic thermal hysteresis. For the Caucasus, dendrochronological and glacial data reconstructed climate fluctuations over 2000 years, with major glacier advances dated at 1.6, 0.7–0.8, 0.5, 0.25, and 0.16–0.14 thousand years ago; glaciers have retreated since the mid 19th century, with most significant warming in recent decades.

The third section focused on aerosols, trace gases, and greenhouse gas fluxes. For the West Siberian Arctic (Bely Island), black carbon concentrations show strong seasonality: winter emissions from oil and gas and heating dominate, summer from aging wildfire smoke. In Central Yakutia, maximum black carbon (up to 30 µg/m³) occurs during wildfires; summer 2025 values were anomalously low (<2 µg/m³). A correction method for aethalometer AE 33 absorption coefficient was developed using PSAP and nephelometer measurements. In the Pechora and Kara seas, new methane seeps were identified, most active in subaqueous permafrost zones. Hydroacoustic data from Buor Khaya Bay (Laptev Sea) recorded over 100 previously unknown shallow seeps. In the CMW resort region, comprehensive measurements showed strong inverse correlations of PM_{1.0} and PM_{2.5} with air temperature ($r = -0.90$ to -0.82) and direct correlations with relative humidity ($r = +0.91$ to $+0.83$), explaining the diurnal cycle. For Kislovodsk, the WRF Chimere model reproduced high surface ozone episodes; exceedance of the 8 hour standard (100 µg/m³) occurs from March to September, peaking in July–August. Using Russian satellites, methods were developed for retrieving vertical ozone profiles (IR), nitrogen dioxide (MAX DOAS, resolution 2.4 km allowing point source detection), and aerosol extinction (transformer based neural network). For Meteor M, a dynamic correction method based on validation with NDACC and TCCON networks was proposed.

The fourth section covered applied aspects: bioclimatic potential, energy, and transport. A comprehensive assessment of bioclimatic potential (BCP) of CMW resort cities (Kislovodsk, Yessentuki, Pyatigorsk, Zheleznovodsk) was performed. Kislovodsk had the highest BCP (2.56 points, “very high”), with 2147 sunshine hours per year; Yessentuki and Pyatigorsk had “high” BCP (2.15 and 2.03). However, observed climate change (rising temperatures, changing precipitation, increased blocking anticyclones) poses risks to recreation. For Svalbard, heat waves associated with blocking anticyclones were identified, most intense in July August 2024. An integrated health risk assessment up to 2050 for southern Russian resorts showed a slight increase in winter danger (especially for CMW under SSP245) and a slight summer decrease for the Black Sea coast. A method for modeling atmospheric icing on power lines using WRF ARW (resolution 1 km) was developed, with specialized parameterizations for glaze, rime, and wet snow. For the Russian Arctic, a geoinformation atlas of climate changes (1950–2064) was created, containing over 1000 digital maps to support transport infrastructure, including the projected Northern Latitudinal Railway. Test results of the domestic acoustic anemometer AMK 04 were presented. A simplified parameterization of turbulent heat exchange for a melting glacier surface was developed. An information system for monitoring the carbon balance of Arctic zone ecosystems was presented, containing over 10,000 spatial elements (forest inventory, peatlands, Landsat derived vegetation dynamics).

The conference demonstrated the high scientific level of research at IAP RAS and its partners. Key outcomes include new Earth system models participating in CMIP7, improved representation of circulation and extremes, though uncertainties in climate sensitivity remain. Diagnostics identified regional changes in Siberian hydrothermal extremes, Arctic subaqueous permafrost degradation, and transformation of resort bioclimatic conditions, confirming the anthropogenic role in recent warming. Unique urban turbulence databases were created, and methods for coherent structure analysis were advanced. Comprehensive studies of CMW resorts revealed high bioclimatic potential but vulnerability to climate and aerosol changes. New quantitative estimates of methane emissions from tundra and wetland landscapes showed that permafrost degradation multiplies CH₄ fluxes. The conference resolution stressed the need for further development of Russian climate models, expansion of experimental station networks (high mountain and Arctic), and strengthening interdisciplinary research at the interface of atmospheric physics, ecology, medicine, and economics. Particular emphasis was placed on transferring scientific results into practice for adaptation of resort management, energy, transport, and agriculture to a changing climate. The author thanks the program and organizing committees, all participants, and the company LABINSTRUMENTS for its support.

Keywords: Conference "Physics of the Atmosphere and Climate", A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences, atmospheric composition and dynamics, climate, applied aspects of atmospheric research.

ВВЕДЕНИЕ

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА РАН) – одно из ведущих научных учреждений России в области изучения атмосферных процессов и климатической системы Земли [Institut..., 2026]. Основанный в 1956 году выдающимся геофизиком и математиком Александром Михайловичем Обуховым, институт на протяжении семи десятилетий сохраняет статус флагмана отечественной и мировой атмосферной науки. Именно благодаря дальновидности и настойчивости академика А.М. Обухова Институт физики атмосферы смог стать центром притяжения для множества талантливых исследователей и основателей новых направлений в науках об атмосфере. Среди ярких фигур, работавших под руководством А.М. Обухова и оставивших глубокий след в истории института и в мировой науке, особенно выделяются имена академиков АН СССР и РАН Г.С. Голицына, А.С. Мони́на, И.И. Мохова, члена-корреспондента АН СССР В.И. Татарского, докторов наук А.С. Гурвича, В.И. Дианова-Клокова, В.И. Красовского, Г.В. Розенберга, Е.М. Фейгельсон, Г.М. Гречко, Н.Н. Шефова, В.И. Кляцкина, А.И. Семенова.

Неоценим вклад А.М. Обухова и его последователей в разработку ключевых понятий и представлений о структуре атмосферы, механизме её вращения и теплообмена, динамике атмосферы и распространения электромагнитных сигналов в условиях турбулентности. Работы советских и российских учёных – представителей Института физики атмосферы – получили заслуженное признание на международном уровне и легли в основу большинства современных численных моделей динамики атмосферы и климата.

В институте был разработан целый ряд прорывных направлений, повлиявших на современную физическую картину атмосферы и нашу способность понимать причину климатических изменений Земли. Так, были сформулированы базовые принципы описания атмосферы как сложной нелинейной системы, включающей обмен энергией и веществом с поверхностью Земли и океанов. Здесь впервые появились эффективные численные модели распространения звуковых и радиоволн, что дало мощный толчок развитию дистанционных наблюдений и способов передачи информации.

Юбилейная конференция «Физика атмосферы и климата», состоявшаяся 6-9 апреля 2026 года в живописном городе-курорте Кисловодске (Рис.), где находится научная станция института, стала не только торжественным событием, но и важнейшей научной площадкой для обсуждения самых актуальных проблем современной атмосферной физики и климатологии [The International Conference..., 2026]. Организаторами выступили ИФА им. А.М. Обухова РАН, Отделение наук о Земле РАН, Министерство науки и высшего образования РФ, а также Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии ФМБА России. Конференция проводилась при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, её партнёром выступила компания «ЛАБИНСТРУМЕНТЫ» – поставщик оборудования для мониторинга окружающей среды.

В работе конференции приняли участие более 200 учёных из России и Китая. Программа включала пленарные заседания, секционные доклады по четырём научным направлениям, стендовую сессию и круглые столы.



Рис. Участники конференции «Физика атмосферы и климата».

Fig. Participants of the conference "Physics of the Atmosphere and Climate".

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА

Пленарная секция

Пленарная секция конференции охватила широкий круг фундаментальных и прикладных проблем физики атмосферы и климата. В центре внимания оказались наблюдаемые климатические изменения, включая рекордное глобальное потепление 2023-2024 годов и увеличение изменчивости погоды («нервность погоды») в умеренных широтах. Представлены новейшие разработки в области моделирования Земной системы (ARTS-ESM, INM-CM5/6) и методы декадного прогнозирования, включая эмпирические подходы на основе скрытых марковских моделей. Рассматривались процессы взаимодействия океана и атмосферы (потoki CO₂ на поверхности Чёрного моря, влияние циклонов на течения) и роль морского льда в Арктике. Большое внимание уделено атмосферному аэрозолю – оптическим свойствам дымов и пыли, чёрному углероду, дальнему переносу аридных частиц в Арктику, а также загрязнению воздуха в курортных зонах КМВ. Представлены результаты спутникового мониторинга (российские серии «Метеор-М», «Ресурс-П», «Ионосфера-М») и методы восстановления профилей озона и аэрозоля. Среди фундаментальных тем – структурная устойчивость

вихрей (на примере Большого красного пятна Юпитера), лабораторное моделирование квазигеострофических течений, вероятностная оценка рисков от смерчей. Завершили пленарную программу доклады о влиянии климата и состава воздуха на здоровье человека, биоклиматическом потенциале курортов КМВ и прогнозе рисков до 2050 года.

Секция I. «Турбулентность и волны: от пограничного слоя до верхней атмосферы»

В секции динамики и турбулентности атмосферы были представлены экспериментальные и теоретические работы, охватывающие масштабы от десятков метров до планетарных волн.

С помощью трёх разнесённых содаров в Ростовской области выявлены два типа когерентных вихревых структур в устойчиво стратифицированном пограничном слое: устойчивые валы Кельвина – Гельмгольца внутри приземной инверсии (периоды до 5 минут, время жизни до 2 часов) и менее устойчивые структуры в приподнятом слое. Кросс-корреляционный анализ микробарографических измерений показал соответствие спектральных максимумов периодам структур на эхограммах. Для арктической тундры (остров Самойловский) сравнение аналитического метода оценки зоны охвата (футпринта) с численным моделированием, учитывающим реальную топографию, продемонстрировало, что при ветрах с востока до 30% измеряемого турбулентного сигнала может поступать с водной поверхности за пределами острова – эффект, не улавливаемый упрощёнными моделями. Создана база данных наблюдений за турбулентным энергообменом городских ландшафтов для Москвы, Томска и Пекина, включающая морфометрические характеристики застройки; это заполняет пробел в международной сети Urban Plumber.

Нелинейное моделирование распространения акустико-гравитационных волн через критические уровни среднего ветра показало, что вблизи критических уровней генерируются вторичные волны с горизонтальными длинами в 1/2 и 1/3 от первичной волны; их амплитуды в верхней атмосфере могут превышать амплитуды первичных волн в отсутствие критических уровней. Анализ внезапных стратосферных потеплений (на примере малого потепления января 2015 г.) выявил, что изменение волновой активности обусловлено межволновыми взаимодействиями до потепления и обменом стационарных планетарных волн со средним течением во время и после события. Показано, что стратосферные потепления вызывают деформацию высотной фронтальной зоны, проникновение стратосферного воздуха в тропосферу и формирование волн холода на поверхности с двухнедельным временным лагом. По данным ГНСС-сетей проанализированы возмущения от извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай (2022 г.): на расстояниях 8-10 тыс. км волны в верхней атмосфере регистрируются на 40-50 минут раньше, чем в тропосфере.

Ряд докладов был посвящён взаимодействию атмосферы с подстилающей поверхностью. Для болотных экосистем Западной Сибири (стационар Мухрино) по измерениям методом турбулентных пульсаций показано, что грядово-мочажинное болото поглощает 109 гС/м²/год, а облесённое сосново-сфагновое – 88 гС/м²/год; при этом эмиссия метана на облесённом болоте вдвое ниже, чем на открытом. Солнечная радиация является универсальным драйвером потоков СО₂ и явного тепла, тогда как температура воздуха регулирует эмиссию метана и потоки скрытого тепла. В тундровых экосистемах Тазовского района ЯНАО медианные потоки метана варьируют от –0,001 мг СН₄•м⁻²•ч⁻¹ на сухих останцах полигонов до 4,7 мг на обводнённых мочажинах и до 7,1 мг на увлажнённых хасырях (спущенных озёрах). Для озёр выявлена суточная динамика, определяемая температурой воздуха и придонного слоя воды (0,07-1,87 мг). Изменение климата в регионе (+0,5 °С/10 лет за 60 лет) приводит к росту мощности деятельного слоя мерзлоты на 15-20 см/10 лет, сокращению площади озёр на 13,4% за 20 лет и многократному усилению эмиссии метана на хасырях. Для моделирования этих процессов развиваются специализированные параметризации инфильтрации в мёрзлую почву и снеготаяния в лесу в рамках модели деятельного слоя суши TerM.

Секция II. «Климатическая система: модели, изменения и прогнозы»

В секции диагностики и моделирования климата были представлены результаты разработки глобальных моделей системы, анализа наблюдаемых климатических изменений и оценки предсказуемости на различных временных масштабах.

Представлены модели ARTS-ESM (эволюция семейства INMCM) и ПЛАВ, участвующие в проектах CMIP7 и WP-MIP. Для ARTS-ESM-L оценен эффективный и мгновенный радиационный форсинг для антропогенных воздействий (парниковые газы, аэрозоли, землепользование) по протоколам CMIP7; равновесная климатическая чувствительность новой версии заметно возросла по сравнению с CMIP6. Модель ПЛАВ с разрешением около 10 км усовершенствована в части облачно-радиационных и аэрозольно-радиационных связей, что повысило точность воспроизведения

среднегодовых осадков и потоков тепла на поверхности. Разрабатывается глобальная модель атмосферы с целевым разрешением 3-5 км на основе сетки «кубическая сфера», предназначенная для конвективно-разрешающих расчётов на графических ускорителях.

Анализ воспроизведения режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции (погодных режимов) в моделях CMIP6 показал, что лучше всего воспроизводятся зимние режимы Евро-Атлантики, однако положительный тренд повторяемости NAO+ по данным реанализов не воспроизводится моделями. Для Сибири за 1940-2025 гг. выявлен положительный тренд засухливости в Прибайкалье, Забайкалье и горах Южной Сибири; повторяемость экстремальных засух достигла 2-3 случаев за последние 30 лет, тогда как экстремальное переувлажнение практически исчезло. В будущем (до 2050 г.) по сценариям SSP245 и SSP585 ожидается дальнейшее увеличение засухливости в этих регионах. Исследование механизма генерации Эль-Ниньо внутрисезонными возмущениями (колебания Маддена – Джулиана, экваториальные волны Россби) показало, что в будущем климате (SSP5-8.5) вклад МЮ ослабляется, а роль волн Россби для событий центрального типа даже усиливается.

Оценки деградации субаквальной мерзлоты арктического шельфа по данным CMIP6 показывают, что темпы оттаивания достигают 10 см/год и зависят от выбранной модели придонной температуры воды; на внешнем шельфе моря Лаптевых и в Баренцевом море возможно полное исчезновение мерзлоты к концу XXI века. Модель ARTS-ESM с интерактивным углеродным циклом воспроизводит изменения запасов углерода в экосистемах суши и океана в исторический период 1850-2021 гг. Исследование линейности и обратимости климатического отклика на выбросы CO₂ (по протоколам ESM-FLAT10) показало наличие асимметрии: поглощение CO₂ из атмосферы не полностью обращает потепление из-за гистерезиса океанической тепловой инерции и углеродных обратных связей. Для Кавказа по дендрохронологическим и ледниковым данным реконструированы колебания климата за 2000 лет: основные стадии наступания ледников датируются 1,6; 0,7-0,8; 0,5; 0,25 и 0,16-0,14 тыс. лет назад, а с середины XIX века ледники отступают, причём потепление последних десятилетий стало наиболее заметным.

Секция III. «Аэрозоли, примеси и потоки парниковых газов в атмосфере»

Секция состава атмосферы и переноса примесей была посвящена экспериментальным и модельным исследованиям аэрозолей, чёрного углерода, метана, озона и диоксида азота.

Для западносибирского сектора Арктики (остров Белый) показано, что концентрации чёрного углерода имеют ярко выраженную сезонность: зимой доминируют выбросы нефтегазового комплекса и отопления, летом – стареющие дымы от сибирских лесных пожаров. В Центральной Якутии (станция «Спасская падь») максимальные концентрации чёрного углерода (до 30 мкг/м³) зафиксированы в периоды природных пожаров, а в 2025 году летние значения были аномально низкими (менее 2 мкг/м³). Разработана методика коррекции коэффициента поглощения аэталометра АЕ-33 с использованием одновременных измерений PSAP и нефелометра; получены поправочные коэффициенты многократного рассеяния для фоновой станции ZOTTO. Для микрочастиц в системе «атмосфера – снег – дорожная пыль – почвы – воды» выявлена ассоциация тяжелых металлов (Sb, Cd, Cu, W, Zn, Pb), накапливающихся во всех компонентах городской среды Москвы.

В тундре ЯНАО удельные потоки метана из хасыреев (4,6-5,6 мг CH₄•м⁻²•ч⁻¹) на порядок выше, чем из озёр (0,4 мг). За 60 лет потепление привело к росту мощности деятельного слоя мерзлоты, заболачиванию и сокращению площади озёр, что многократно усиливает эмиссию метана. В арктических морях (Печорское, Карское) выявлены новые метановые сипы, а наиболее активная дегазация связана с зонами субаквальной мерзлоты. По гидроакустическим данным в заливе Буор-Хая (море Лаптевых) зарегистрировано более 100 ранее неизвестных мелководных сипов; оценено количество метана, транспортируемого пузырьками из донных отложений в водную толщу и приводный слой атмосферы.

В курортном регионе Кавказских Минеральных Вод (Кисловодск, Ессентуки) проведены комплексные измерения аэрозольных частиц, озона и метеопараметров. В Ессентуках выявлены сильные обратные связи концентраций PM_{1.0} и PM_{2.5} с температурой воздуха ($r = -0,90 \dots -0,82$) и прямые связи с относительной влажностью ($r = +0,91 \dots +0,83$), что объясняет суточный ход с минимумом в дневные часы. Для Кисловодска с помощью модели WRF-Chimere воспроизведены эпизоды высоких концентраций приземного озона; превышение 8-часового норматива (100 мкг/м³) наблюдается с марта по сентябрь с максимумом в июле-августе. Анализ экстремальных осадков 27 июля 2018 года показал, что их причиной был фронтальный перенос холодного арктического воздуха по границе блокинга и дополнительный перенос влаги с Чёрного моря, а не локальная конвекция.

По данным российских спутников «Ресурс-П», «Метеор-М» № 2 и «Ионосфера-М» разработаны методики восстановления вертикальных профилей озона (по ИК-излучению), двуокиси азота (методом MAX-DOAS) и аэрозольной экстинкции (с использованием нейросетевой архитектуры на основе трансформера). Пространственное разрешение для NO₂ достигает 2,4 км, что позволяет выявлять точечные антропогенные источники. Для спутниковой серии «Метеор-М» показано, что дрейф качества измерений требует динамической коррекции; предложена методика такой коррекции на основе валидации с наземными сетями NDACC и TCCON.

Секция IV. «Прикладные аспекты: климат, рекреация и энергетика»

В секции прикладных аспектов были представлены работы, связывающие фундаментальные исследования с практическими задачами – от оценки биоклиматического потенциала курортов до прогнозирования обледенения линий электропередачи.

Для городов-курортов Кавказских Минеральных Вод (Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск, Железноводск) проведена комплексная оценка биоклиматического потенциала (БКП). Наивысший БКП (2,56 балла) отмечен для Кисловодска (высота 750-1060 м, 2147 часов солнечного сияния в год), что оценивается как «очень высокий»; Ессентуки и Пятигорск имеют «высокий» БКП (2,15 и 2,03 соответственно). Исследованы лечебные свойства климата – отсутствие резкой изменчивости гигротермических показателей, умеренно континентальный режим, высокая продолжительность солнечного сияния. Однако наблюдаемое изменение климата (рост температур, изменение режима осадков, увеличение частоты блокирующих антициклонов) создаёт риски для рекреационного потенциала. По данным метеостанций арх. Шпицберген выявлены волны тепла, связанные с формированием блокирующих антициклонов; наиболее интенсивная волна зафиксирована в июле-августе 2024 года. Для курортных районов юга России (КМВ, Сочи, Феодосия) выполнена интегральная оценка рисков здоровью от дальнего загрязнения атмосферы и изменения погодноклиматической комфортности до 2050 года. Ожидается незначительное усиление опасности зимой (особенно для КМВ по сценарию SSP245) и некоторое снижение летом для Черноморского побережья.

Разработана методика численного моделирования атмосферного обледенения на воздушных линиях электропередачи с использованием модели WRF-ARW (разрешение до 1 км). Для разных типов отложений (гололёд, зернистая изморозь, мокрый снег) применяются специализированные параметризации, учитывающие фазовый состав гидрометеоров и плотность потока переохлаждённых капель. Совместное применение ГИС-технологий и численного моделирования позволяет оценивать гололёдные нагрузки индивидуально для каждого объекта с учётом его конструктивных особенностей. Для Российской Арктики создан геоинформационный атлас климатических изменений (ретроспектива с 1950 г., прогноз до 2064 г.), содержащий более 1000 цифровых карт гидрометеорологических параметров, что необходимо для поддержки развития транспортной инфраструктуры (включая проектируемый Северный широтный ход).

Представлены результаты испытаний отечественного акустического анемометра АМК-04 в морских рейсах и на высокогорной станции; проведено сравнение с вихреразрешающим моделированием для городской застройки. Разработана упрощённая параметризация турбулентного теплообмена тающей поверхности ледника с атмосферой, позволяющая оценивать потоки тепла по скорости ветра и температуре воздуха без полного аэродинамического расчёта. Для спутниковой радиометрии исследованы поляризационные эффекты дождевой атмосферы в микроволновом диапазоне; показано, что третий параметр Стокса может служить индикатором наклона дождевых капель. Для лазерного зондирования тонких облачных слоев установлено, что круговая поляризация лучше сохраняется при многократном рассеянии, а скорость экспоненциального спада интенсивности зависит от нормированной толщины слоя, что позволяет оценивать толщину облаков.

Представлена информационная система мониторинга углеродного баланса экосистем Арктической зоны РФ, содержащая более 10 000 пространственных элементов (данные инвентаризации лесов, торфяников, динамика растительного покрова по спутниковым снимкам Landsat). Система позволяет оценивать текущее состояние и моделировать будущие изменения углеродного баланса под влиянием природных и антропогенных факторов. Для сверхдолгосрочных прогнозов (1-5 лет) на основе модели Земной системы ИВМ РАН проведена оценка засушливых условий и биометеорологического комфорта в Северной Евразии; выявлены наиболее уязвимые регионы для сельского хозяйства. Усовершенствованы методы динамико-статистических прогнозов на внутрисезонных и сезонных интервалах с использованием мультимодельного ансамбля (модели ГМЦ, ГГО, ИВМ РАН) и процедур статистической коррекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Доклады конференции продемонстрировали широкий спектр исследований – от микрофизики аэрозоля и турбулентности до глобального моделирования климата и прикладных задач для курортного хозяйства, энергетики и транспорта. Особое внимание было уделено региональным изменениям в Арктике и на юге России, роли природных экосистем в углеродном цикле (болота, тундра, субаквальная мерзлота), а также адаптации к климатическим рискам.

Юбилейная конференция «Физика атмосферы и климата» продемонстрировала высокий научный уровень исследований, ведущихся в ИФА РАН и его партнёрских организациях. Основные итоги можно сформулировать следующим образом:

Развитие моделей Земной системы. Представлены новые версии моделей, участвующих в международных проектах CMIP7 и WP-MIP. Показано, что повышение пространственного разрешения и усовершенствование параметризаций (включая аэрозольно-радиационные связи) позволяет точнее воспроизводить атмосферную циркуляцию и экстремальные явления. При этом сохраняются неопределённости в оценках климатической чувствительности и региональных прогнозах.

Диагностика климатических изменений. Выявлены региональные особенности изменения гидротермических экстремумов в Сибири, деградации субаквальной мерзлоты в Арктике, трансформации биоклиматических условий в курортных зонах. Подтверждена ведущая роль антропогенного фактора (роста CO₂) в долгосрочном потеплении последних десятилетий.

Турбулентность и пограничный слой. Созданы уникальные базы данных турбулентных наблюдений в городах Северной Евразии (Москва, Томск, Пекин). Развита методика анализа когерентных структур в устойчивом АПС с использованием многоточечных сонарных и микробарографических измерений. Показана важность учёта орографии при интерпретации футпринта турбулентных потоков в арктической тундре.

Рекреационные зоны и климат. Комплексные исследования курортов Кавказских Минеральных Вод показали высокий биоклиматический потенциал, но также выявили уязвимость к изменению температурного и аэрозольного режима. Разработаны методы прогнозирования качества воздуха (озон, NO₂) в горных условиях с использованием моделей WRF-Chimere.

Деятельный слой суши и болотные экосистемы. Получены новые количественные оценки эмиссии метана из тундровых и болотных ландшафтов Западной Сибири и Арктики. Показано, что деградация многолетней мерзлоты (увеличение мощности деятельного слоя, термокарст, спуск озёр) приводит к многократному росту потоков CH₄. Развиваются специализированные модели болотных экосистем в рамках модели TerM.

В конференции приняли участие учёные из Китая (институты CAS). Совместные доклады (по моделированию мезомасштабных вихрей в Северной Атлантике, по городскому энергообмену) свидетельствуют о тесной кооперации российских и зарубежных исследователей.

В резолюции конференции участники отметили необходимость дальнейшего развития отечественных климатических моделей, сохранения и расширения сети экспериментальных станций (включая высокогорные и арктические), а также усиления междисциплинарных исследований на стыке физики атмосферы, экологии, медицины и экономики. Особо подчеркнута важность передачи научных результатов в практическую плоскость – для адаптации курортного хозяйства, энергетики, транспорта и сельского хозяйства к изменяющемуся климату.

С материалами конференции (тезисы, презентации докладов) можно ознакомиться на сайте конференции <https://ifaran.ru/ru/science/conferences/fizika-atmosfery-i-klimata-70>.

Автор выражает признательность программному и организационному комитетам конференции, а также всем докладчикам и участникам за предоставленные материалы и плодотворные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS. 70 years anniversary. 2026. ООО Fotoexpert. 64 p. (in Russian). [Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. 70 лет. Изд-во ООО Фотоэксперт. 2026. 64 с.].

Repina I.A., Semenov V.A., Chernokulsky A.V., Falaleeva V.A., Kiseleva Yu.V. (eds.). 2026. The International Conference dedicated to the anniversary of A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS "ATMOSPHERIC AND CLIMATE PHYSICS" 06-09 April 2026. Book of Abstracts. Moscow. Fizmatkniga Publisher, 146 p. (in Russian) [Международная конференция, посвященная 70-летию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН «ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА». 06-09 апреля 2026 года. Сборник тезисов докладов / редкол.: И. А. Репина [и др.]. М. : Физматкнига, 2026. 146 с. ISBN 978-5-89155-460-3].

Поступила в редакцию: 28.05.2026
Переработанный вариант: 30.05.2026
Принято в печать: 30.05.2026
Опубликована: 30.06.2026