

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ ИМ. А.М. ОБУХОВА РАН

70 ЛЕТ







ОСНОВАТЕЛЬ ИНСТИТУТА –
АКАДЕМИК А.М.ОБУХОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ
ИМ. А.М. ОБУХОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФА ИМ. А.М. ОБУХОВА РАН)

История

6 января 1956 г. вышло постановление Президиума Академии наук СССР №5, которым была утверждена организационная структура Института физики атмосферы АН СССР, и он был включен в состав Отделения физико-математических наук Академии. С этого дня началась история ИФА. 30 марта 1956 г. директором Института был назначен член-корреспондент АН СССР Александр Михайлович Обухов, а 6 июля того же года постановлением Президиума №114 был утвержден состав Ученого совета.

Но институт создавался не с нуля – его образованию предшествовала почти 30-летняя история развития советской геофизики. Первый в молодой Советской республике институт геофизического профиля – Сейсмологический институт Академии наук СССР (СИАН) – был создан в Ленинграде в 1928 году. Его основатель и первый директор Павел Михайлович Никифоров был учеником и продолжателем дела выдающегося российского сейсмолога Бориса Борисовича Голицына. В 1935 году институт переехал в Москву в трехэтажное здание в Замоскворечье по адресу Пыжевский переулок, дом 3. До сих пор в здании Института физики атмосферы успешно работает открытая при СИАНе 1 января 1936 года Сейсмологическая станция «Москва», продолжая самый длинный в Центральной России ряд сейсмологических наблюдений.

В 1937 г. по инициативе и под руководством выдающегося математика, геофизика и полярного исследователя Отто Юльевича Шмидта в Москве был создан Институт теоретической геофизики. Одной из его основных организационных идей было комплексное изучение процессов во всех сферах нашей планеты и многосторонний научный подход к изучаемым объектам. О.Ю. Шмидт привлек к работе крупных математиков, механиков, физиков, геофизиков, геологов. Там же начались и первые атмосферные исследования связанные, в основном, с распространением волн в атмосфере и магнитосферой.

Вскоре после войны в 1946 году на базе Сейсмологического института и Института теоретической геофизики в Москве создается единый Геофизический институт (ГЕОФИАН), директором которого стал также академик О.Ю. Шмидт. В 1946 году в состав ГЕОФИАНа вошла и созданная незадолго до этого Г.А. Гамбурцевым Геофизическая комплексная экспедиция для выполнения научно-исследовательских и опытно-производственных работ на предприятиях, ведущих разведку и добычу урановых руд. В 1948 г. Григорий Александрович Гамбурцев становится директором объединенного геофизического института.

ГЕОФИАН быстро развивался и разрастался, появились яркие научные лидеры, и в какой-то момент всем направлениям его деятельности стало



Мемориальная доска основателю Института Александру Михайловичу Обухову на здании ИФА им. А.М. Обухова РАН (открыта 5 мая 2018 г.)



Фото, послужившее прототипом для мемориальной доски

тесно под одной крышей. По инициативе академика Г.А. Гамбурцева в 1955 году был поднят вопрос о разделении института по его основным направлениям. Внезапная смерть директора ускорила намечавшуюся реорганизацию, и в ноябре 1955 г. вышло решение Академии наук о разделении ГЕОФИЗИНА на три самостоятельных научных учреждения: Институт физики Земли, Институт физики атмосферы и Институт прикладной геофизики.

Институт физики атмосферы Академии наук СССР был создан с целью изучения основных процессов в атмосфере, опираясь на достижения физики, механики и прикладной математики. Создателем структуры института, главных направлений его исследований, дисциплинированной и в то же время творческой и свободной атмосферы научной деятельности стал его первый директор Александр Михайлович Обухов, который оставался на этом посту 33 года. Создавая коллектив, он привлек большое количество молодых перспективных ученых, многие из которых впоследствии стали признанными лидерами основных направлений физики атмосферы. Сегодня Институт — это ведущая в России и в мире научная школа, лидер в нашей стране в области наук об атмосфере и климате.

В 1994 году Институту физики атмосферы РАН было присвоено имя академика Александра Михайловича Обухова, организатора и бессменного директора ИФА с 1956 по 1989 годы (Постановление Президиума РАН от 13 декабря 1994 г. № 226). А 4 мая 2018 года в честь столетия со дня рождения основателя на фасаде Института физики атмосферы РАН открыта мемориальная бронзовая доска академику А.М. Обухову.

Следующие директора успешно продолжали заложенные Александром Михайловичем традиции, сохраняя преемственность и развивая новые научные актуальные научные направления. С 1990 по 2008 гг. директором Института был академик РАН Георгий Сергеевич Голицын, с 2009 по 2018 гг. – академик РАН Игорь Иванович Мохов, с 2018 по 2023 гг. доктор физико-математических наук Сергей Николаевич Куличков, а в 2024 г. директором ИФА им. А.М. Обухова РАН стал академик РАН Владимир Анатольевич Семенов.

Научные достижения

В разработке основных направлений деятельности Института, формировании ядра его коллектива и организации научных исследований участвовали выдающиеся ученые: А.М. Обухов, Г.С. Голицын, В.М. Бовшеверов, А.С. Гурвич, В.И. Дианов-Клоков, Л.А. Ди-

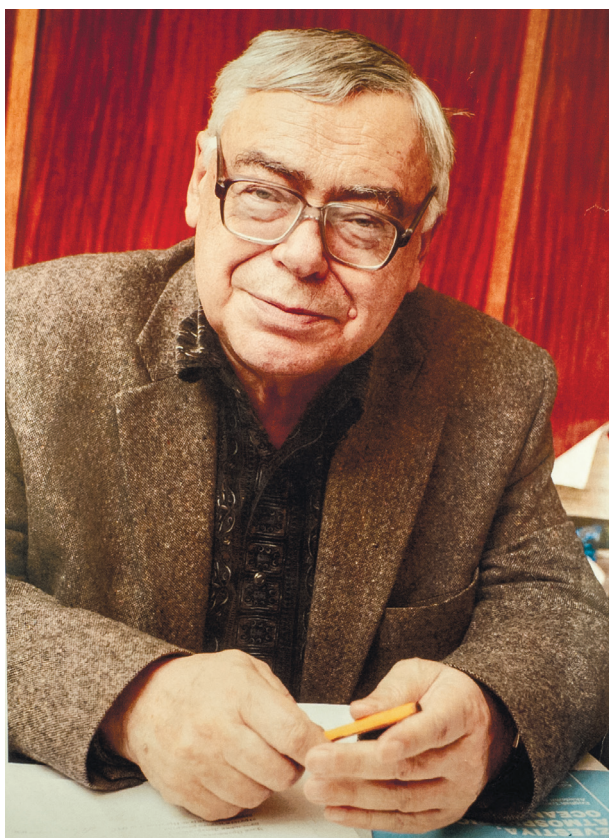
кий, Е.М. Добрышман, Ф.В. Должанский, В.И. Красовский, М.С. Малкевич, А.С. Монин, И.И. Мохов, Г.В. Розенберг, А.И. Семенов, В.И. Кляцкин, В.И. Татарский, Н.Н. Шефов, Е.М. Фейгельсон, Л.Р. Цванг, А.М. Яглом и многие другие.

Широко известны работы Института по проблемам атмосферной турбулентности. Наука об атмосферной турбулентности, ставшая основой современной физики атмосферы и климата, была разработана учителем А.М. Обухова А.Н. Колмогоровым еще в 30-е годы прошлого столетия. Вместе они разработали теорию локальной однородной и изотропной турбулентности, описывающую случайные изменения скорости воздушных потоков. Позже Обухов создал теорию для описания колебаний давления, а также поведения пассивных примесей в воздухе (например, температуры или концентрации газов). В частности, он вывел знаменитый «закон двух третей» для структурной функции температуры или концентрации примеси. Кроме того, А.М. Обухов определил универсальный масштаб для процессов обмена теплом и импульсом в приземном слое атмосферы. Это открытие позже легло в основу всемирно известной теории подобия Монина-Обухова, которая используется для описания атмосферных процессов.

Созданная А.С. Мониним и А.М. Обуховым теория подобия термически стратифицированного турбулентного приземного слоя атмосферы стала действительно революционным событием, позволив с помощью набора относительно просто измеряемых величин описывать сложные обменные процессы в приземном слое атмосферы. До сих пор параметризации, основанные на её выводах, являются необходимым блоком всех существующих моделей прогноза погоды и климата, а вышедшая в 1954 году на русском языке публикация, где представлены основные её принципы, является одной из самых цитируемых в мировой геофизике. Современное развитие теории подобия Монина – Обухова направлено на преодоление ограничений её классической формулировки, которая предполагает горизонтальную однородность и стационарность условий. Основным вызов связан с переносом теории на неоднородную подстилающую поверхность (например, городские застройки, лесные массивы, переходы «суша-вода»), где нарушается гипотеза о постоянстве потоков с высотой. Исследования в ИФА последних лет сосредоточены на модификации теории с помощью введения дополнительных параметров, учитывающих горизонтальные градиенты, а также на использовании методов ансамблевого осреднения и спектрального анализа для разделения вкладов различных масштабов турбулентности, чтобы корректно описывать обмен в реальных, сложных ландшафтах.



А.М.Обухов



Г.С.Голицын

Из статистических законов турбулентности А.М. Обуховым впервые теоретически было обосновано явление рассеяния звука на атмосферной турбулентности. На этой основе в 1958 году М.А. Каллистратовой под руководством В.М. Бовшеверова были разработаны прототипы устройств, позволяющих измерять вертикальное распределение характеристик турбулентности в атмосферном пограничном слое. Впоследствии эти исследования были использованы для создания акустических локаторов атмосферной турбулентности — содаров. В институте разработан многочастотный доплеровский локатор — содар ЛАТАН-3, предназначенный для мониторинга профиля скорости и направления ветра, а также высоты границ приземных и приподнятых инверсий в нижней тропосфере (в слое от 30 м до 300-600 м), а также серия минисодаров, позволяющих исследовать тонкую структуру атмосферы.

Под руководством В.М. Бовшеверова были также заложены основы методов акустической анемометрии и термометрии, на которых основан принцип работы акустических анемометров, до сих пор широко используемых для измерения потоков тепла, влаги, импульса, аэрозолей и газовых примесей. Разработка высокочастотного оборудования для измерения структуры атмосферной турбулентности способствовала не только развитию теоретических построений, но и разработке методов определения турбулентных потоков в системе атмосфера-подстилающая поверхность. Теоретическое обоснование и первые экспериментальные проверки метода турбулентных пульсаций для определения потоков энергии и вещества (в том числе климатически активных газов), широко известного в мире как метод вихревых ковариаций (eddy covariance) были также выполнены на экспериментальных площадках ИФА – и прежде всего на Цимлянкой научной станции, созданной специально для экспериментального исследования атмосферной турбулентности и атмосферной акустики.

Развитию экспериментальных исследований по физике пограничного слоя способствовало создание по инициативе А. М. Обухова и постоянное совершенствование механической мастерской, что позволяло предлагаемые исследователями идеи приборов и устройств доводить до уровня действующих макетов. В 1960-70-е годы созданные в институте штучные приборы — термоанемометр, термометр сопротивления переменного тока, акустические анемометры, циркулиметр, оптический гигрометр, а также устройства для регистрации и обработки — успешно конкурировали с зарубежными фирменными приборами.

Под руководством Л.Г. Елагиной были созданы первые пульсационные инфракрасные и оптические гигрометры для измерения турбулентных потоков влаги и одни из первых в мире

пульсационных датчиков для измерения потоков углекислого газа. Экспериментальные площадки ИФА РАН (Цимлянская и Звенигородская научные станции) активно использовались для международных экспериментов по исследованию турбулентности, процессов в разных слоях атмосферы и сравнению приборов.

Работа над теорией атмосферной турбулентности в Институте физики атмосферы велась постоянно на протяжении всей его истории. Ученые не только строили теоретические модели, но и проводили множество экспериментов — на суше, с использованием высоких мачт и самолетов, и в морских экспедициях. Одно из важных направлений — изучение такого фундаментального свойства вихрей, как спиральность (меры «закрученности» воздушного потока). Исследователи разработали теорию, связывающую спиральность с динамикой атмосферы и позволяющую анализировать вихри разных масштабов. Под руководством Б.М. Копрова ученые института впервые в мире смогли измерить турбулентную спиральность в реальных условиях. Они также создали методы, с помощью которых можно оценивать спиральность как в общем поле турбулентности, так и во всем пограничном слое.

В ИФА зародилось и получило мировое признание новое научное направление — изучение того, как распространяются волны (свет, звук, радиоволны) в турбулентной атмосфере. Основы этого направления заложил А.М. Обухов, а развил В.И. Татарский. Благодаря тому, что учёные сочетали теоретические разработки с экспериментами им удалось открыть важную закономерность — эффект увеличения обратного рассеяния волн. За эти достижения сотрудникам института — А.С. Гурвичу, В.И. Кляцкину, А.М. Обухову и В.И. Татарскому — в 1990 году была присуждена Государственная премия СССР.

В начале 1970-х годов в институте начинаются работы по развитию систем гидродинамического типа для описания глобальных геофизических движений, изучение их устойчивости, трансформаций в них энергии в лабораторных, теоретических и численных моделях. К этому времени относятся работы А.М. Обухова, Е.Б. Гледзера и Е.А. Новикова по развитию систем гидродинамического типа для описания развитой турбулентности с помощью каскадных моделей, моделирующих схему преобразования энергии в турбулентных потоках, соответствующую теории Колмогорова.

В 1980-х–1990-х гг. в Институте проводились масштабные экспериментальные исследования конвекции вращающейся жидкости. Эти эксперименты и созданная на их основе теория нашли применение в разных областях — от динамики океана и движения жидкого ядра Земли до понимания механизмов возникновения ураганов. При активном участии Ф.В. Должанского



И.И. Мохов



С.Н. Куличков

на основании лабораторных экспериментов была создана теория квазидвумерных вихревых течений жидкости, которая была применена к описанию крупномасштабных геофизических течений. Построены малопараметрические модели общей циркуляции земной атмосферы, позволяющие воспроизводить основные черты циркуляции, ее энергетический цикл, различные механизмы неустойчивости циркуляции, в том числе в зависимости от типа условий на подстилающей поверхности. Лабораторные исследования вихревых движений, начатые по инициативе А.М. Обухова, продолжают по настоящее время на вращающейся кольцевой установке, имитирующей условия в земной атмосфере. Движение слабо электропроводящей жидкости в установке возбуждается магнитогидродинамическим методом. Особое внимание сейчас уделяют моделированию так называемых блокирующих процессов — когда в атмосфере надолго задерживаются области высокого или низкого давления, определяя погоду на больших территориях.

К важнейшим достижениям Института 1960-х годов относятся развитие представлений о динамике воздушной среды и создание теории колебаний земной атмосферы (Л.А. Дикий, 1969 г.) и формулировка (А.М. Обухов, 1968 г.) понятия «систем гидродинамического типа» — дискретных приближений уравнений гидродинамики. На основе этого стало возможным создание эффективных малопараметрических подходов, которые позволяют изучать сложные процессы (например, крупномасштабную циркуляцию атмосферы или турбулентность) с помощью сравнительно простых моделей. Эти методы не потеряли актуальности и успешно применяются до сих пор.

Институт внес существенный вклад в становление космической программы страны, в частности, в открытие и изучение радиационных поясов Земли. Аппаратура ИФА была установлена на третьем советском спутнике Земли (1958) и на спутниках «Космос-3», «Космос-5», «Космос-149». Под руководством научного коллектива сотрудников ИФА на спутниках «Космос-243» и «Космос-384» впервые были проведены исследования спектра теплового радиоизлучения Земли, положившие начало новому направлению в развитии методов зондирования атмосферы и подстилающей поверхности из космоса. На пилотируемых космических станциях «Салют» и «Мир» при непосредственном участии дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта СССР Г.М. Гречко, впоследствии заведующего лабораторией ИФА, были начаты исследования атмосферы Земли на основе явлений оптической рефракции. Также в Институте разработаны методы зондирования земной атмосферы из космоса, базирующиеся на измерениях рефракции радиоволн. Разрабатываются методы

усвоения данных радиопросвечивания атмосферы с ИСЗ в моделях прогноза погоды.

Исследования верхней атмосферы начались на Звенигородской научной станции ИФА сразу после создания института в 1957 году в рамках программы Международного полярного года, и с тех пор здесь ведутся непрерывные наблюдения за ночным свечением атмосферы. В результате в институте накоплены самые длинные в мире ряды данных о температуре на уровне мезопаузы (высоты около 90 км), что позволило сделать ряд принципиально важных открытий. При анализе данных были обнаружены волнообразные колебания температуры в области мезопаузы, и В.И. Красовский дал им теоретическое объяснение, связав с распространением внутренних гравитационных волн из нижних слоев атмосферы. Тем самым он открыл явление модуляции интенсивности гидроксильного излучения верхней атмосферы этими волнами. Н.Н. Шефовым и А.И. Семеновым были разработаны эмпирические модели вариаций излучений гидроксила, атомарного кислорода, натрия с учетом солнечной активности и процессами многолетнего изменения теплового режима средней атмосферы, впервые в мире были установлены значительные долговременные сезонные изменения температуры на высотах мезопаузы, что имеет ключевое значение для понимания динамики верхней атмосферы и механизмов климатических изменений.

Разработаны основы дистанционного зондирования с использованием инфразвуковых волн и впервые обнаружен эффект рассеяния акустических сигналов на тонкой слоистой структуре атмосферы (в областях высот 0—1000 м и 20—130 км) по результатам проведения серий уникальных экспериментов с использованием в качестве источников наземных взрывов с тротиловым эквивалентом 20—70 т ТНТ и импульсов от детонационного генератора. Развита методика теоретического описания распространения инфразвуковых волн на дальние расстояния, которые используются в международной системе контроля за ядерными взрывами в атмосфере. С помощью лидарного и ракетного зондирования было обнаружено, что в верхней атмосфере существуют долгоживущие тонкие слои с резкими перепадами температуры и скорости ветра — вертикальные градиенты в этих слоях значительно превышают средние показатели. На основе этих данных была создана теория, позволяющая восстанавливать детальную вертикальную структуру скорости ветра. Это необходимо для уточнения справочной модели атмосферы, которая используется в научных и прикладных целях.

В 50-е годы XX века Г.В. Розенбергом была поставлена задача детального исследования оптических и микрофизических свойств атмосферного аэрозоля, включая измерения матрицы

рассеяния света в приземном слое атмосферы. В институте начали развиваться исследования аэрозольных составляющих атмосферы, была разработана теория оптических явлений и распространения света в аэрозольной атмосфере. Важным шагом в этом направлении явилось развиваемое Г.И. Горчаковым представление об атмосферном аэрозоле как системе фракций. Продолжающиеся по настоящее время исследования внесли значимый вклад в оценку загрязненности городов, теорию ближнего и дальнего распространения примесей, развитие методов дистанционного зондирования Земли из космоса и атмосферного моделирования. Предложен принципиально новый подход для оценки интенсивности эмиссии аэрозоля, связанный с учетом конвекции и турбулентных структур.

С середины прошлого века в институте активно развиваются исследования по распространению солнечного и теплового излучения в атмосфере, заложенные Е.М. Фейгельсон и Л.М. Романовой. Учёные изучают, как нахождение излучения влияют облака, газы, аэрозоли и взаимодействие атмосферы с поверхностью Земли. Важный шаг вперёд — отказ от упрощённого взгляда на облака как на сплошную однородную среду. Их стали рассматривать как сложные системы, состоящие из множества отдельных частиц: капель воды и ледяных кристаллов. Были созданы модели, которые учитывают реальную неоднородность облаков: размеры капель, форму кристаллов, соотношение воды и льда, а также то, как все эти частицы распределены в пространстве. Также в институте развернули работы по изучению того, как облака влияют на климат через радиационные процессы. Результаты этих исследований создали физическую основу для так называемых параметризаций — то есть упрощённых описаний радиационных процессов в облаках, которые сегодня используются в моделях Земной системы для прогноза погоды и климата. Эти разработки нашли также прямое применение в методах дистанционного зондирования атмосферы (например, при интерпретации спутниковых данных).

В 1970-х годах под руководством В.И. Дианова-Клокова в ИФА организован регулярный мониторинг концентрации примесных атмосферных газов: оксида углерода (с 1970 г.), метана (с 1974 г.), озона (с 1979 г.) и двуокиси азота (с 1981 г.) под Москвой и на Кавказе в районе г. Кисловодска. И уже в течение четырех десятилетий в системе четырех наблюдательных станций в разных российских регионах (на Северном Кавказе, в Центральной Сибири (станция Зотино), в Московской области и в г. Москве) проводятся регулярные измерения газового и аэрозольного состава атмосферы. Исследования вариаций содержания газовых примесей на Звенигородской научной станции

являются самыми продолжительными в мире, и это единственная в мире станция, где определяется вертикальный профиль двуокиси азота в стратосфере. А измерения содержания озона на Высокогорной научной станции входят в Мировую озонметрическую сеть и Глобальную сеть мониторинга состава атмосферы и также содержат один из самых длинных в мире ряд непрерывных наблюдений. Эти уникальные по своей продолжительности и комплексности наблюдения позволяют выявлять долгопериодные тренды в содержании парниковых и малых газов, оценивая влияние антропогенных и естественных факторов на состав атмосферы в различных географических условиях. Данные, полученные на станциях ИФА, служат основой для верификации спутниковых измерений и глобальных климатических моделей.

В 1990-е годы под руководством Н.Ф. Еланского впервые в мировой практике совместно с ВНИИ железнодорожного транспорта была разработана передвижная обсерватория для комплексных наблюдений химического состава атмосферы, ее термодинамических и радиационных характеристик, а также для контроля загрязнения почв, вод и растительности. С 1995 по 2010 г. с участием российских и зарубежных научных центров выполнена серия из 15 международных экспериментов по наблюдениям состояния атмосферы на обширной территории страны: от Москвы до Владивостока и от Мурманска до Кисловодска и Сочи. Обезымы Москвы по кольцевой железной дороге дали уникальные сведения о влиянии мегаполисов на состояние окружающей среды.

Возрастающий интерес к роли океана в процессах формирования погоды и климата привел к созданию в 1978 году направления, связанного с исследованием обменных процессов в пограничных слоях атмосферы и океана. Сотрудники института многократно принимали участие в прибрежных, морских и океанских экспедициях, в том числе и в комплексных международных экспериментах (программы «Разрезы», HEXOS, ASTEX, CAPMOS, NABOS, исследования Международного полярного года 2007-2008 и другие), в антарктических и арктических экспедициях. Проводились исследования динамики морского волнения, процессов турбулентного энерго- и газообмена, конвективного переноса. Впервые определены связь параметра шероховатости морской поверхности с характеристиками морского волнения и зависимость коэффициентов обмена от стратификации атмосферы и структуры покрытой льдом поверхности в полярных регионах.

В конце 1960-х годов по инициативе Г.С. Голицына в ИФА начато изучение атмосфер других планет. Им была разработана теория подобия для циркуляции планетных атмосфер. Полученные результаты о характеристиках ветра в атмосферах планет Венеры

и Марса использовались в ОКБ им. С.А. Лавочкина при проектировании посадочных модулей советских автоматических межпланетных станций серий «Венера» и «Марс» и были позже подтверждены измерениями космических зондов. В институте продолжают исследования пыльных бурь на Марсе, вихревых циркуляций на Юпитере и Сатурне, состава планетных атмосфер.

В 80-е годы XX века Г.С. Голицын и А.С. Гинзбург вместе с сотрудниками Вычислительного центра АН СССР и учеными из других стран выполнили пионерские работы по оценке возможных долговременных климатических и экологических последствий крупномасштабного ядерного конфликта – «ядерной зимы». Расчеты глобального похолодания в результате экранирования солнечного света дымом массовых пожаров, вызванных ядерными взрывами, осуществлены с помощью простой аналитической модели, разработанной А.С. Гинзбургом для описания антипарникового эффекта марсианских пылевых бурь. Были также описаны природные аналоги «ядерной зимы» такие как падение астероида, извержения вулканов, массовые природные пожары. Эти работы сыграли важную роль в переговорах по запрету ядерных испытаний.

С 1970-х годов одним из ключевых направлений деятельности ИФА стали климатические исследования, инициированные Г.С. Голицыным и получившие развитие под руководством И.И. Мохова, воспитавшего три поколения учеников, почти все из которых работают в Институте и среди которых директор академик РАН В.А. Семенов, заместитель директора по науке А.В. Чернокульский, заведующий лабораторией теории климата профессор РАН А.В. Елисеев.

В.К. Петуховым была создана глобальная климатическая модель КМ ИФА РАН. Модель активно развивается и в настоящее время учитывает взаимодействие атмосферы, океана, деятельного слоя суши, криосферные и биосферные процессы, углеродный и метановый циклы, эффекты атмосферного электричества, необходимые для описания вариаций и изменений климата от внутригодовых масштабов до многих тысячелетий. С КМ ИФА РАН проводятся ансамблевые численные эксперименты для описания климатических изменений в течение десятков и даже сотен тысяч лет. С помощью модели оценивается влияние на изменения климата естественных (солнечная и вулканическая активность) и антропогенных факторов (парниковые газы, аэрозоль, и др.).

В 2000-х годах П.Ф. Демченко развил в ИФА направление стохастического моделирования климата, в котором климат рассматривается как результат взаимодействия быстрых хаотических процессов (атмосферных вихрей, играющих роль шума) и медленных (изменения динамики океана, почвенной влаги), что мате-

матически описывается с помощью уравнений броуновского движения. Эти работы позволили создать методы для отделения антропогенного изменения климата от естественных флуктуаций, рассчитать статистику колебаний влажности почвы и речного стока, а также вывести обобщенные уравнения эволюции климатических переменных с учетом эффектов памяти. Эти исследования дают мощный аналитический инструмент, дополняющий сложные компьютерные модели и помогающий глубже понять природу долгопериодных колебаний климата.

И.И. Мохов предложил новые методы диагностики структуры климатической системы и характеристик ее устойчивости, с помощью которых получены оценки вклада естественных колебаний климата и антропогенного воздействия в исторические изменения климата на разных временных масштабах.

Исследования погодно-климатических аномалий и их связи с современными изменениями климата позволили выявить значимые тенденции к увеличению количества конвективных осадков на территории России в последние десятилетия. Объяснены механизмы формирования ряда значимых экстремальных явлений, в том числе экстремальных осадков в Крымске в 2012 г., увеличения числа аномально холодных зим в начале XXI века, наводнения на реке Амур в 2013 г.

В.А. Семеновым получены важные результаты о существенном вкладе естественной изменчивости в климатические тренды температуры XX века, предложены новые механизмы, объясняющие ускоренные изменения климата в Арктике и их нелинейное воздействие на погодные аномалии в Северной Евразии. Анализ связи между климатическими изменениями и концентрацией морского льда в Северном Ледовитом океане позволил восстановить данные по концентрации морских льдов в первой половине XX века, когда прямые измерения достаточного качества отсутствовали, и выявить сильную отрицательную аномалию площади льдов в середине прошлого века.

В Институте ведутся натурные исследования природных экосистем Евразии и развиваются методы математического моделирования экосистем. Получены уникальные данные об эмиссии парниковых газов из болот и озер Западной Сибири, водохранилищ ГЭС. Создан новый тип марковских моделей для описания и прогноза изменений растительного покрова под воздействием изменений климата, разработана теория устойчивости биологических сообществ и динамики взаимодействующих биологических видов, построены модели для оценки потока углерода в естественных наземных экосистемах и совместного круговорота органического вещества и азота в болотных экосистемах.

Развиваются исследования по экологии и энергетике больших городов: построена ста-

тистическая модель динамики среднесуточных концентраций атмосферных примесей в Москве, изучаются прямые и обратные связи климатических процессов и энергопотребления мегаполисов России и мира, изменчивость содержания кислорода и метана в городской атмосфере, тренды периода термического комфорта в условиях глобального потепления. Были выполнены оценки воздействия снижения экономической активности во время пандемии COVID-19 на качество воздуха в Москве в сравнении с другими мегаполисами мира.

Заслуги сотрудников Института отмечены ведомственными и государственными наградами и наградами Академии наук. Сотрудники института являются лауреатами государственных премий СССР и премий Правительства РФ.

Научный руководитель Института академик Г.С. Голицын награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени, Орденом Почета, Благодарностью Президента Российской Федерации. Он является лауреатом премий имени А.А. Фридмана АН СССР и премии имени Б.Б. Голицына РАН. В 2019 г. ему была вручена высшая награда Российской академии наук – Большая золотая медаль РАН имени М. В. Ломоносова.

Директор Института академик В. А. Семенов награжден медалью ордена «За заслуги перед отечеством» II степени, премией им. О.Ю. Шмидта РАН (вместе с И.И. Моховым).

Заведующий лабораторией моделирования атмосферного переноса чл.-корр. РАН А.А. Макоско награжден орденом Дружбы, Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени и Благодарностью Президента Российской Федерации.

Заведующий отделом состава атмосферы чл.-корр. РАН Н.Ф. Еланский награжден почетным званием «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

В 2016 г. с целью увековечения памяти академика АН СССР А.М. Обухова Российской академией наук учреждена Золотая медаль имени А. М. Обухова, которая присуждается Отделением наук о Земле РАН за выдающиеся научные работы в области наук об атмосфере. Первым лауреатом медали стал в 2018 г. Г.С. Голицын за работы, внесший выдающийся вклад в исследования магнитной гидродинамики, разработку ряда теорий в области планетологии, теории климата, физики атмосферы и геофизики: общей циркуляции планетных атмосфер, возникновения ураганов и других интенсивных атмосферных вихрей, радиационных эффектов и тепломассообмена между океаном и атмосферой и ряда других природных процессов и явлений.



Медаль имени академика
А.М. Обухова



Настоящее и будущее

В настоящее время Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН является ведущим научным центром России и мира в области наук об атмосфере. В его стенах проводятся фундаментальные исследования климата, динамики атмосферы от приземного слоя до верхних слоёв, взаимодействия атмосферных и океанических процессов, состава воздуха и переноса примесей, а также волновых процессов всех масштабов. В институте трудятся специалисты высочайшего класса в области физики и химии верхней атмосферы, атмосферной акустики и оптики. Сотрудники ИФА активно изучают современные и будущие изменения климата, разрабатывают меры адаптации и снижения негативных последствий для населения и экономики страны.



В.А. Семенов

Институт играет ключевую роль в экспертно-аналитическом обеспечении государственных органов власти. В его компетенцию входит научная оценка проблем, подготовка рекомендаций для принятия решений в сфере охраны окружающей среды и климатической политики, а также сопровождение межправительственных соглашений по вопросам глобального изменения климата и освоения Арктики и Ан-

тарктики. Высочайший уровень компетенций сотрудников Института признан международным сообществом: они регулярно привлекаются в качестве ведущих авторов и рецензентов при подготовке докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Комиссии ООН по устойчивому развитию.

Согласно действующему Уставу основными направлениями научной деятельности Института являются фундаментальные, поисковые и прикладные исследования по следующим направлениям:

- диагностика и моделирование климата, параметризация климатообразующих процессов, исследование взаимодействия облачности, аэрозоля и радиации, взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью, изучение региональных проявлений глобальных изменений климата;
- исследование и мониторинг газового состава атмосферы и атмосферных примесей; прогноз возможных последствий их изменений для окружающей среды и климата Земли;
- изучение динамических и статистических характеристик вихревых и волновых движений в атмосфере, акустических и внутренних гравитационных волн;
- спутниковое зондирование атмосферы;
- мониторинг и прогноз временных и пространственных изменений состояния верхней атмосферы.

Институт не только сохраняет традиционные направления научных исследований, но и активно включается в решение новых актуальных фундаментальных и прикладных задач. Среди них — развитие физических основ теории климата для изучения роли естественных и антропогенных факторов в его изменениях; диагностика и моделирование климата и его изменений; выявление механизмов экстремальных погодно-климатических явлений и исследование их предсказуемости; параметризация климатообразующих процессов; исследования и мониторинг состава и структуры атмосферы, оценка их влияния на экосистемы и загрязнение атмосферы; оценка последствий изменений климата для населения и отраслей экономики с целью разработки эффективных мер адаптации.

В составе Института 13 научных лабораторий и один сектор, объединенные в три отдела: исследования климатических процессов, динамики атмосферы, исследования состава атмосферы. Экспериментальная база института включает сеть геофизических стационаров, расположенных в различных климатических зонах: Звенигородская научная станция (Московская обл., Одинцовский район), Цимлянская научная станция (Ростовская обл.,

г. Цимлянск), Высокогорная научная станция (Республика Карачаево-Черкессия, Малокарачаевский район) с базой в г. Кисловодске (Ставропольский край).

По состоянию на 2026 год в Институте работает 300 человек, в том числе 187 научных работников, из них два академика РАН, два члена-корреспондента РАН, 40 докторов наук и 83 кандидата наук. Почти половину (88 человек) от числа научных работников составляют молодые ученые. В Институте действует Ученый совет, в состав которого входят два академика РАН, два члена-корреспондента РАН, 12 докторов наук и 7 кандидатов наук.

На базе Института создана аспирантура и работает диссертационный совет по подготовке диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате» (до 2022 в Институте функционировал диссертационный Совет по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»).

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН является базовым для кафедры термодинамики океана МФТИ и кафедры физики атмосферы физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, а также тесно сотрудничает с географическим факультетом МГУ и рядом профильных кафедр ВУЗов страны.

Институт регулярно выступает организатором российских и международных школ-конференций молодых ученых, активно ведет совместные исследования с зарубежными научными организациями. В 2007 году была создана совместная с Институтом физики атмосферы Китайской академии наук (г. Пекин) лаборатория физики атмосферы, в рамках которой проводятся совместные научные исследования и ежегодная научная конференция. Институт также является организатором двух периодических конференций: «Турбулентность, динамика атмосферы и климата — памяти академика А.М. Обухова» и «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

ИФА им. А. М. Обухова РАН активно участвует в программе фундаментальных научных исследований, в выполнении прикладных научных работ по договорам с российскими заказчиками, в том числе крупных коммерческих и государственных госкорпораций (Роскосмос, РусГидро, АЛРОСА, Норникель и др.). Сотрудники института работают по грантовым программам поддержки научных исследований: в 2026 году Институт выполняет 14 грантов Российского научного фонда, три из которых – международные.

Благодаря участию в федеральном проекте «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты» институт получил современное научное оборудование,

которое используется для развития систем мониторинга на научных стационарах и систем наблюдений атмосферных процессов в лабораторных и экспедиционных исследованиях.

Проводимые институтом комплексные экспедиции охватывают исследования атмосферных процессов в различных экосистемах нашей планеты. Исследования проводятся в Калмыкии (аридные зоны), степной зоне, болотах Западной Сибири, тундровых ландшафтах Ямала и дельты р. Лены, в прибрежных зонах Черного, Каспийского и Балтийского морей, в полярных и морских экспедициях, на реках, озерах и водохранилищах.

С 2025 года ИФА им. А. М. Обухова РАН совместно с Гидрометцентром России проводит совместные научные семинары, посвященные современным проблемам и состоянию численных прогнозов погоды и климата.

ИФА им. А. М. Обухова РАН и Российская академия наук являются учредителем журнала «Известия РАН. Физика атмосферы и океана», главными редакторами которого в разные годы были академики А.М. Обухов, Г.С. Голицын, И.И. Мохов, а в настоящее время – академик В.А. Семенов. Первый номер журнала (тогда «Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана») вышел в 1965 году, с тех пор издан 61 том, а журнал стал ведущим в стране и читаемым в мире изданием в области физики атмосферы и климата. В 2025 году опубликован специальный выпуск журнала, посвященный шестидесятилетию выхода его первого номера и девятидесятилетию его многолетнего главного редактора Г.С. Голицына.

Сотрудники института ведут активную экспертную деятельность, являясь членами экспертных советов и экспертами РАН и РФ, членами международных комиссий по климату, динамической метеорологии, атмосферному озону, полярной метеорологии, антарктическим исследованиям и др., участвуют в российских и международных проектах и симпозиумах.

Сегодня Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН — это уникальный научный центр, в котором фундаментальная наука неразрывно связана с решением практических задач государственного значения. Сохраняя и приумножая традиции, заложенные основателями, институт продолжает оставаться на переднем крае мировой науки об атмосфере и климате. Высокий авторитет в международном научном сообществе, активное участие в подготовке молодых специалистов и тесное взаимодействие с академическими и образовательными учреждениями служат основой для новых открытий и разработок, необходимых для понимания и прогнозирования изменений окружающей среды. С многолетним опытом и молодым поколением исследователей институт уверенно смотрит в будущее, продолжая вносить неоценимый вклад в изучение нашей планеты.



ОТДЕЛ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРИИ КЛИМАТА (ЛТК)
- ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ (ЛФВА)
- ЛАБОРАТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ (ЛМЭ)
- ЛАБОРАТОРИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА (ЛМАП)
- ЛАБОРАТОРИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (ЛПГ)
- ЛАБОРАТОРИЯ ПРЕДСКАЗУЕМОСТИ КЛИМАТА (ЛПК)

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРИИ КЛИМАТА (ЛТК)

Заведующий лабораторией –
д.ф.-м.н. А.В. ЕЛИСЕЕВ

История лаборатории

История лаборатории берет начало в 1975 году, когда в составе Теоретического отдела Института физики атмосферы АН СССР была организована Лаборатория энергетики планетных атмосфер (ЛЭПА). Её основателем стал выдающийся советский и российский геофизик, академик Г.С. Голицын. Уже в первые годы работы коллектив занялся изучением фундаментальных закономерностей циркуляции атмосфер не только Земли, но и других планет Солнечной системы, что заложило основы системного подхода к анализу климата как единого механизма. В 1981 году, в связи с расширением тематики и фокусировкой на проблемах Земного климата, лаборатория была переименована в Лабораторию теории климата (ЛТК). В 1997 году руководство лабораторией принял член-корреспондент РАН И.И. Мохов, и исследования вышли на новый уровень, охватив вопросы глобальной и региональной климатологии, мониторинга природных опасных явлений и предсказуемости климата. С 2002 года ЛТК вошла в состав Отдела исследования климатических процессов (ОИКП). С 2025 года лабораторией руководит доктор физико-математических наук, профессор РАН А.В. Елисеев.

Основные направления деятельности

- Исследования в области теории климата.
- Диагностика и моделирование глобальных и региональных климатических процессов и изменений.
- Исследования климатической предсказуемости.
- Оценки последствий климатических изменений.
- Исследования, связанные с задачами адаптации к изменениям климата и его регулирования.

Основные результаты

За годы своей работы Лаборатория теории климата (ранее ЛЭПА) внесла фундаментальный вклад в понимание того, как устроена и функционирует климатическая система Земли. Проводится детальный анализ причин наблюдаемых изменений климата. В частности, с использованием статистического метода причинности по Грейнджеру было убедительно показано, что за последние 150 лет вариации глобальной приповерхностной температуры определяются комплексом факторов. Среди них — колебания содержания углекислого газа (CO_2) в атмосфере, изменения солнечной по-

стоянной и вулканическая активность. Но ключевым результатом стало доказательство того, что долгосрочный тренд повышения глобальной температуры, фиксируемый в последние десятилетия, может быть объяснен только при учете антропогенного фактора, а именно — роста концентрации парниковых газов, и в первую очередь CO_2 .

Визитной карточкой лаборатории является созданная и постоянно развивающаяся Модель Земной климатической системы промежуточной сложности — МЗС ИФА РАН (ИФА РАН). Эта модель уникальна по своей архитектуре: она включает в себя все основные блоки климатической системы — атмосферу, океан, деятельный слой суши, а также биогеохимические циклы (углерода, метана), блоки, описывающие атмосферное электричество и химию атмосферы. Главной особенностью МЗС является параметризация синоптической изменчивости (вихрей) в атмосфере и океане. Такой подход позволяет на два порядка ускорить вычисления по сравнению с традиционными моделями общей циркуляции, сохраняя при этом реалистичность воспроизведения климата. Модель успешно верифицирована на данных инструментальных измерений и палеоклиматических реконструкций, что делает ее мощным инструментом для анализа отклика системы на внешние воздействия на масштабах времени от десятилетий до тысячелетий и более.

Ключевые результаты, полученные с помощью модели МЗС ИФА РАН:

- Сравнение современного и древнего климата: Модельные эксперименты показали, что, хотя современный глобальный климат теплее климата середины голоцена (так называемый климатический оптимум, около 6 тысяч лет назад), региональные особенности могут существенно различаться. Для некоторых регионов современные температуры еще не достигли пиковых значений потепления, характерных для того периода. Это подчеркивает важность учета региональной специфики при анализе климатических изменений.

- Гистерезис криолитозоны: Впервые с помощью модели был детально изучен эффект гистерезиса (запаздывания) в реакции площади распространения приповерхностной многолетней мерзлоты на изменение глобальной температуры. Оказалось, что для восстановления площади мерзлоты при охлаждении климата требуется гораздо более существенное снижение температуры, чем то, при котором она деградировала в ходе потепления. Это указывает на необратимость потери мерзлоты при современном сценарии потепления.

- Изменение углеродного баланса суши: Моделирование выявило риск утраты наземными

экосистемами (почвами и растительностью) способности поглощать CO_2 из атмосферы при продолжении современного потепления. Переход экосистем из стока в источник углерода может привести к значительному усилению парникового эффекта и создать положительную обратную связь, дополнительно ускоряя потепление.

- Динамика болотных экосистем и метана: Показано, что потепление климата ведет к интенсификации эмиссии метана (CH_4) из болотных экосистем. Это приводит к существенному увеличению накопления метана в атмосфере. Как показали расчеты, влияние этого дополнительного метана на дальнейшее изменение температуры (обратная связь) оказывается слабым. Иными словами, обратная связь между климатом и метановым циклом становится практически односторонней: климат влияет на эмиссию метана, но растущая концентрация метана слабо модифицирует сам климат на фоне мощного воздействия CO_2 .

- Анализ палеоданных и антропогенный фактор: С помощью модели удалось объяснить известный по палеорекострукциям знак фазовой задержки между изменением глобальной температуры и концентрацией CO_2 (например, в циклах ледниковых периодов сначала меняется температура, а затем, с запаздыванием, — концентрация газа). Было продемонстрировано, что этот палеоклиматический механизм не противоречит современным представлениям об изменении климата. Напротив, он подчеркивает уникальность текущей ситуации: наблюдаемое в индустриальный период опережающее и резкое изменение CO_2 является причиной, а не следствием изменения температуры, что подтверждает определяющее антропогенное влияние.

Отдельным направлением деятельности лаборатории является анализ опасных конвективных явлений погоды. Сотрудниками лаборатории созданы уникальные, не имеющие аналогов базы данных:

- По смерчам на территории Северной Евразии.
- По сильным ливням и крупному граду на территории России.
- По шквалам и ветровалам в лесной зоне России.

Анализ этих данных показал, что наблюдается общая интенсификация опасных конвективных явлений: число умеренных явлений уменьшается, в то время как количество и интенсивность особенно сильных событий (разрушительных смерчей, экстремальных ливней) растет. Зафиксировано статистически значимое увеличение высоты конвективных облаков и рост доли конвективных облаков в общей облачности. Кроме того, над Северной Евразией обнаружено изменение структуры осадков: вклад интенсивных конвективных осадков (ливней) увеличивается, а доля слабых и умеренных

обложных осадков, напротив, сокращается. Это имеет серьезные последствия для водного баланса, сельского хозяйства и инфраструктуры, увеличивая риски наводнений и засух.

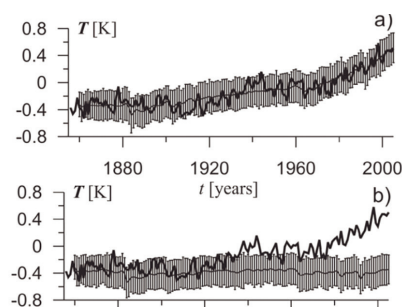


Рис. 1. Изменения глобальной температуры в 100 реализациях статистической модели, основанной на причинности по Грейнджеру, при учёте всех факторов климатической изменчивости (закрашенная область) в сравнении с данными HadCRUT3 (черная линия) (сверху) и без учёта влияния изменения концентрации CO_2 в атмосфере (снизу).

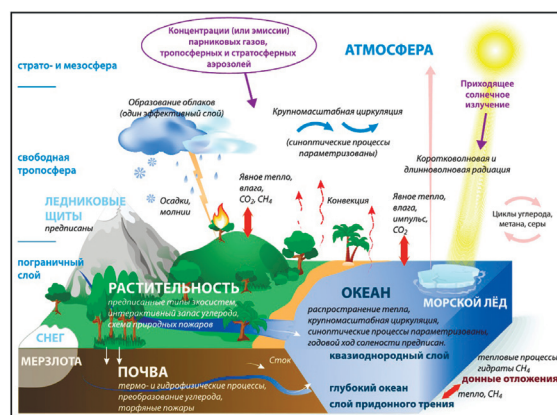


Рис. 2. Схема модели МЗС ИФА РАН.

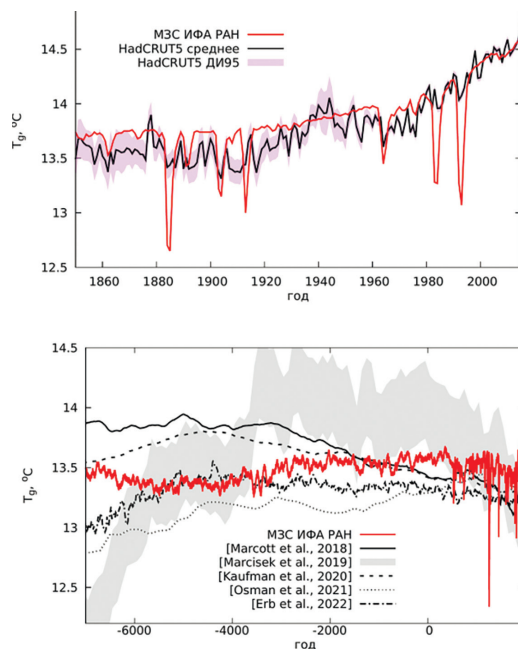


Рис. 3. Средняя глобальная температура у поверхности по расчётам с МЗС ИФА РАН в сравнении с данными HadCRUT5 (сверху) и палеорекострукциями для голоцена (снизу).

ЛАБОРАТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ (ЛМЭ)

Заведующий лабораторией –
д.ф.-м.н. А.С. ГИНЗБУРГ

История лаборатории

Лаборатория математической экологии (ЛМЭ) была создана в 1976 году в Вычислительном центре АН СССР по инициативе академика Н.Н. Моисеева. Её основателем и первым руководителем стал Ю.М. Свирижев, под руководством которого были заложены основы математического моделирования в экологии, разработаны общие уравнения динамики популяций и теория устойчивости сообществ. В 1990 г. по решению академиков А.А. Дородницына и Г.С. Голицына лаборатория вошла в состав Института физики атмосферы. В 1992 г. Ю.М. Свирижев возглавил Отдел системного анализа в Потсдамском институте изучения климатических изменений (Германия), и руководителем ЛМЭ стал К.В. Чевелев. С 1994 по 2002 г. ЛМЭ заведовал Л.Л. Голубятников, а с 2002 г. Лабораторию возглавляет А.С. Гинзбург.

Основные направления деятельности

Основные задачи ЛМЭ связаны с развитием математических методов для описания и прогноза динамики природных экосистем и исследования климата мегаполисов. Работа ведется по двум ключевым направлениям: «Природные экосистемы: наблюдения и моделирование» и «Климат и экология мегаполиса». В первом направлении акцент сделан на моделирование биологического круговорота, динамики популяций и потоков парниковых газов, во втором — на анализ городского загрязнения, теплового баланса и адаптации к изменениям климата. Лаборатория сочетает теоретические разработки с экспериментальными измерениями и активно участвует в подготовке научно-методических материалов для государственных органов и широкой общественности.

Основные результаты

В 80-е годы XX века сотрудники Лаборатории оценили долговременные климатические и экологические последствия гипотетического ядерного конфликта, а в первую четверть XXI века выполнили работы по развитию статистических моделей газового и аэрозольного загрязнения городского воздуха, исследованию климата и экологии больших городов.

Разработаны общие уравнения динамики эволюционирующих популяций и теория устойчивости биологических сообществ. Ключевым результатом стала диаграмма

«цветок матриц», обобщающая логические соотношения между различными понятиями устойчивости (ляпуновская, дихотомическая, знакоустойчивость и др.) с учетом знаков диагональных элементов матрицы взаимодействия видов. Этот подход имеет принципиальное значение для анализа устойчивости многовидовых сообществ и позволяет классифицировать типы динамического поведения экосистем.

Создан новый тип марковских моделей для описания сукцессий растительного покрова под влиянием изменений климата. Разработана модель для оценки потока углерода в естественных экосистемах, позволяющая прогнозировать изменение годового депонирования углерода. В частности, с помощью биоклиматической модели продуктивности ЛМЭ и климатической модели MPI-ESM1 показано, что к концу XXI века поглощение углекислого газа растительностью северных экосистем России может возрасти на 6–45% по сравнению с концом XX века.

Построена и откалибрована нелинейная модель совместного круговорота органического вещества и азота в болотной экосистеме (КОМ-БОЛА). Модель основана на экстремальном принципе максимизации работы по приведению системы в термодинамическое равновесие со средой. С ее помощью оценены современные запасы углерода в болотах северных широт (547 ± 74 млрд т) и их потенциальная емкость (875 ± 125 млрд т), что указывает на возможность дальнейшего вывода из атмосферы до 1200 ± 730 млрд т CO_2 . Эти оценки важны для понимания роли болот в глобальном углеродном бюджете и для климатических прогнозов.

Измерения потоков метана в микроландшафтах тундровых экосистем на участке южной тундры Западной Сибири и на таёжных озёрах национального парка «Паанаярви» (Карелия) показали, что суходолы тундры в теплый период являются стоком атмосферного метана. Это открытие корректирует представления о балансе метана в высоких широтах.

Разработан практический подход к построению матричных моделей по стадиям жизненного цикла организмов. Калиброванные модели позволяют получать объективные количественные характеристики популяций, включая меру их жизнеспособности при случайных вариациях ключевых факторов среды. Эти методы успешно применены для анализа динамики альпийских растений Северо-Западного Кавказа и нашли отражение в учебном пособии «Матричные модели биологических популяций: практический курс» (2024).

Проведен детальный анализ аномально жаркого лета 2010 года в Москве, когда среднесуточная температура превышала 25°C , а за-

дымление от природных пожаров привело к росту смертности в 1,5 раза. Выполненная в ЛМЭ оценка максимально возможной температуры в условиях устойчивого антициклона оказалась близка к наблюдавшимся значениям, что подтвердило адекватность разработанных моделей и позволило лучше понять механизмы формирования волн тепла.

Исследовано содержание кислорода в приземном воздухе Москвы по данным трех автоматических станций за 2017–2021 гг. Выявлены четкие сезонные и суточные вариации: минимум концентрации приходится на летние ранние утренние часы. Эти данные важны для понимания самоочищающей способности городской атмосферы, влияния зеленых насаждений и антропогенных источников.

Построены карты антропогенных потоков тепла для крупнейших городов мира (Москва, Нью-Йорк, Лондон, Пекин, Санкт-Петербург, Новосибирск), показывающие, что городские агломерации формируют собственный климат за счет выделения тепла от промышленности, транспорта и зданий. Анализ трендов приземной и физиологически эффективной температуры выявил, что сочетание положительных трендов температуры и скорости ветра в южных регионах Европейской России приводит к уменьшению числа дней с термическим комфортом.

На основе выполненных исследований лаборатория участвует в разработке критериев превентивной адаптации к изменению климата, включая оценку воздействия волн тепла на устойчивость энергосистем. Подготовлены научно-методические материалы: под редакцией А.С. Гинзбурга вышло пособие «Как рассказывать о климате? Рекомендации и ориентиры для научных журналистов и коммуникаторов» (ГЕОС, 2021), а также доклад Российского экологического общества «Адаптация к изменению климата: риски и возможности» (2025). Эти издания способствуют распространению научных знаний и формированию обоснованной политики в области климата.

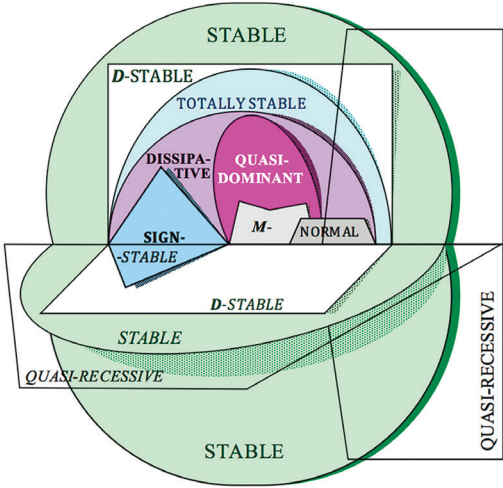


Рис. 1. Диаграмма «цветок матриц» – отражает теоретические достижения в анализе устойчивости экологических сообществ и является визитной карточкой лаборатории.

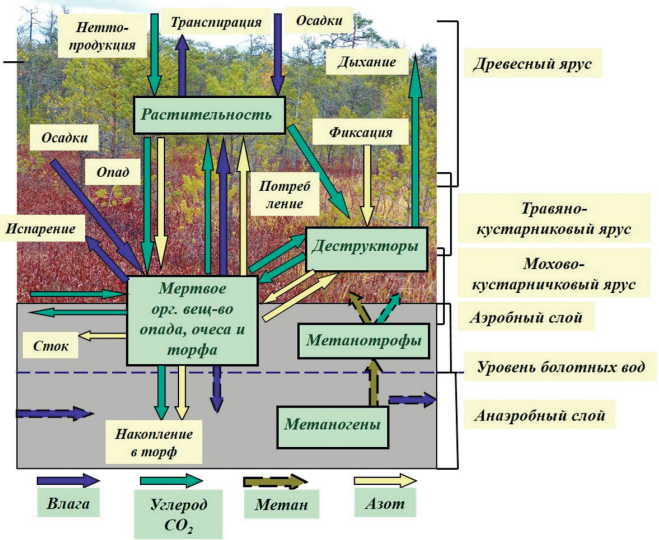


Рис. 2. Схема модели КОМБОЛА (или график оценки запасов углерода в болотах). Вклад в моделирование биогеохимических циклов и климатообразующих процессов.

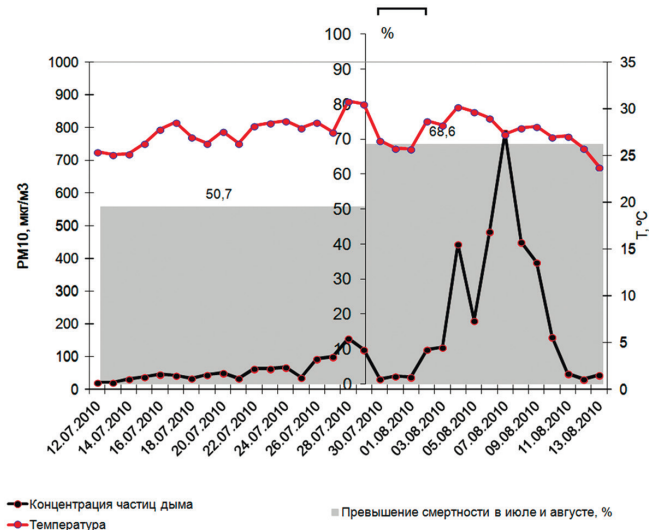


Рис. 3. Влияние температуры и пожаров в 2010 г. на смертность населения.

ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ (ЛФВА)

ЗАВЕДУЮЩИЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
Д.Ф.-М.Н. Н.Н. ПЕРЦЕВ

История лаборатории

Отдел (впоследствии лаборатория) физики верхней атмосферы был создан вместе с Институтом физики атмосферы в 1956 г. С самого начала образования Отдела предметом его работы стали исследования в области аэронавтики – раздела физики атмосферы, изучающего различными методами фотохимические и динамические процессы в нейтральных и ионизированных слоях атмосферы. На протяжении всех лет существования отдела (лаборатории) основным методом исследований являлись спектрофотометрические измерения собственного ночного излучения верхней атмосферы с помощью светосильной спектрографической аппаратуры, разработанной в ГОИ им. С.И. Вавилова в 1950-х годах по инициативе первого руководителя Отдела В.И. Красовского. Со времени проведения Международного геофизического года (1957–1958 гг.). Отдел приобрел мировую известность. В этот период и последующие годы были впервые в мире обнаружены новые типы излучений (водород, гелий, континуум), дана их теоретическая интерпретация, детально исследованы эмиссии гидроксила, молекулярного кислорода, атомов натрия и кислорода. На основе систематизации накопленного материала были разработаны модели вариаций этих эмиссий, отображающих широкий спектр вариаций, в том числе от солнечной активности и многолетнего тренда. Систематизация накопленного материала нашла свое воплощение в фундаментальной монографии Н.Н. Шефова, А.И. Семенова и В.Ю. Хомича «Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики», изданной на русском и английском языках и получившей международное признание.

Основные направления деятельности

- Экспериментальные и модельные исследования аэронавтики.
- Атмосферные волны и связанные с ними эффекты в верхних слоях атмосферы.
- Климат средней и верхней атмосферы. Солнечно-земные и внутриатмосферные связи.

Основные результаты

Особую роль в истории лаборатории сыграли исследования внутренних гравитационных волн (ВГВ) и их влияния на верхнюю атмосферу. Под руководством В.И. Красовского

в 1960–1970-х годах было впервые установлено, что ВГВ генерируются не только крупномасштабными метеорологическими процессами в тропосфере, но и взаимодействием ветровых потоков с неоднородностями земного рельефа. Распространяясь вверх, эти волны переносят энергию и импульс, вызывая значительные вариации температуры, плотности и состава на высотах мезосферы и нижней термосферы. Было показано, что ВГВ модулируют интенсивность эмиссий гидроксила, атомарного кислорода и других компонент, что позволяет использовать наземную спектрофотометрию для диагностики волновых процессов. Эта работа не только создала новое научное направление – физику внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере, – но и была признана открытием № 209 от 21 декабря 1978 г. с приоритетом от 10 января 1972 г.

На Звенигородской научной станции ИФА накоплен уникальный – самый длинный в мире – ряд наблюдений температуры в области мезопаузы (высота около 87 км), получаемый по излучению гидроксила (OH^*). Систематические измерения, начатые ещё в 1950-х годах и продолжающиеся по настоящее время, охватывают более 70 лет. Это позволило впервые обнаружить долговременные тренды температуры верхней атмосферы и их связь с антропогенными изменениями. Анализ показал, что до середины 1970-х годов охлаждение составляло $-0,53 \pm 0,09$ К/год, а затем, с середины 1980-х, замедлилось до $-0,11 \pm 0,02$ К/год. Перелом тренда совпадает с периодом роста концентрации парниковых газов и изменениями озонового слоя, что подтверждает высокую чувствительность верхней атмосферы к климатическим воздействиям. Эти данные стали основой для верификации глобальных моделей средней атмосферы и востребованы международными проектами по оценке климатических изменений.

Дальнейший анализ вариаций температуры излучающего гидроксила за 2000–2024 гг. выявил статистически значимый положительный тренд волновой активности в различных частотных диапазонах. Исследовались периоды от 0,7 до 8,2 ч, соответствующие внутренним гравитационным волнам разной длины. Рост среднеквадратичных отклонений (СКО) температуры свидетельствует об усилении переноса энергии из тропосферы в верхние слои. Этот эффект может приводить к интенсификации турбулентной диффузии, изменению вертикального и горизонтального переноса газовых компонент (включая озон и водяной пар) и модификации ветрового режима в мезосфере. Особое значение имеет то, что полученные тренды различа-

ются для разных периодов волн, что указывает на сложную структуру источников и условий распространения.

В последние годы получен принципиально новый результат – обнаружена обратная зависимость отклика активности ВГВ на солнечную активность от периода волн. Для количественной оценки использовался поток излучения в линии Лайман-альфа как индикатор вариаций солнечного ультрафиолета. Оказалось, что наибольшая чувствительность характерна для короткопериодических волн (менее 2 ч), тогда как длиннопериодные волны демонстрируют слабую или статистически незначимую связь. Это открытие уточняет существовавшие представления, в которых анализ проводился для интегральной интенсивности и давал неоднозначные результаты. Теперь становится ясно, что солнечная активность влияет не только на термический режим, но и на волновую динамику, причём избирательно по масштабам. Это важно для прогноза состояния верхней атмосферы в условиях меняющейся солнечной активности и для понимания механизмов солнечно-земных связей.

С 2000 г. в Московском регионе ведутся систематические наблюдения серебристых (мезосферных) облаков – самого высокого облачного слоя Земли, формирующегося на высотах около 82–85 км. Эти облака служат естественным индикатором содержания водяного пара и температуры в мезопаузе, а также волновых процессов на этих высотах. Многолетняя статистика, собранная лабораторией, позволила выявить отчётливую связь частоты появления и яркости облаков с 11-летним циклом солнечной активности и даже с 27-суточными вращательными вариациями Солнца. Кроме того, обнаружены стационарные долготные вариации площадей облачности вдоль арктических и субарктических параллелей, что указывает на влияние планетарных волн и орографии. Наблюдения серебристых облаков, проводимые в том числе с помощью автоматических камер в Красногорске и других пунктах, интегрированы в международную сеть САФСО.

В настоящее время экспериментальная база лаборатории включает Звенигородскую и Кисловодскую научные станции, оснащённые современными спектрографами. В частности, спектрограф СП-50 для ближнего инфракрасного диапазона (до 1,5 мкм) позволяет регистрировать высококачественные спектры полос гидроксила с временным разрешением, достаточным для изучения волновых вариаций. Пример записи от 1 августа 2018 г. демонстрирует чёткое разделение вращательных линий, по которым восстанавливается температура излучающего слоя с точностью около 1–2 К. Эти данные регулярно поступают в международную базу NDMC (Network for the Detection of Mesospheric Change), где исполь-

зуются для глобального мониторинга температуры мезопаузы и валидации спутниковых измерений. Участие в NDMC и САФСО подтверждает высокий международный статус лаборатории и способствует интеграции российских результатов в мировую науку.

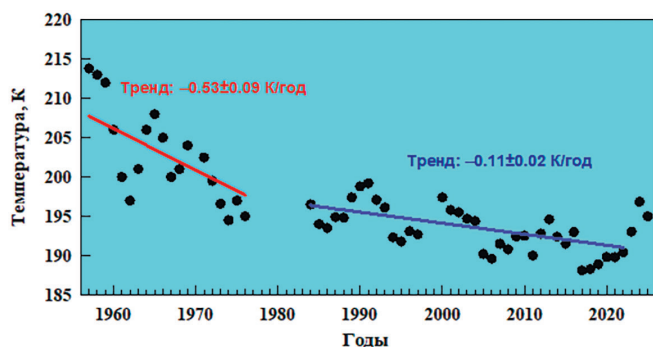


Рис. 1. Многолетнее поведение среднегодовой температуры вблизи мезопаузы (около 87 км) по данным наблюдений гидроксильного излучения на Звенигородской научной станции.

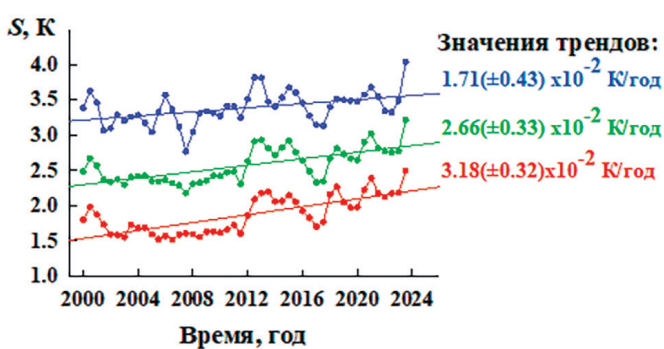


Рис. 2 Многолетний ход среднегодовых СКО (S) температуры ОН*, соответствующие трем диапазонам волновых периодов 0.7–2.0 ч (красный цвет), 1.4–4.1 ч (зеленый цвет), 2.7–8.2 ч (синий цвет). Справа – значения трендов.



Рис. 3. Поле серебристых облаков (более светлые), зафиксированное камерой в Красногорске (Московская обл.) 9 июля 2023 г. в 02:04 московского времени.

ЛАБОРАТОРИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА (ЛМАП)

Заведующий лабораторией —
член-корреспондент РАН А.А. Макоско

История лаборатории

В ноябре 1996 г. в ИФА была создана Лаборатория моделирования процессов переноса и влияния орографии (ЛМППВО), которая в апреле 2002 г. была переименована в Лабораторию моделирования атмосферного переноса. Основателем и первым заведующим лабораторией был д.ф.-м.н. И.Г. Гранберг, с 2010 г. заведующим лабораторией является член-корреспондент РАН А.А. Макоско.

Основные направления деятельности

- Изучение процессов эмиссии и переноса аэрозоля
- Влияние аэрозоля на окружающую среду и человека
- Изучение атмосферных течений под влиянием неоднородностей поля силы тяжести
- Исследование некоторых вихревых течений

Основные результаты

Продолжены многолетние комплексные исследования микрофизических параметров, химического состава аэрозоля:

- семиаридных зон в полупустынных районах Калмыкии и изучение различных процессов образования и выноса аэрозоля в атмосферу (совместно с сотрудниками Лаборатории геофизической гидродинамики ЛГГ и Радиоакустической лаборатории);
- степной зоны на Цимлянской научной станции ИФА РАН (совместно с Лабораторией геофизической гидродинамики ЛГГ и Радиоакустической лаборатории);
- на Высокогорной научной станции (г. Шаджатмаз) и на станции в г. Кисловодске (совместно с сотрудниками Сектора дистанционного исследования состава атмосферы).

В сентябре 2018 г. совместно с сотрудниками Лаборатории геофизической гидродинамики начаты и продолжаются регулярные исследования аэрозоля на станции фоновой экологического мониторинга Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского. В 2020 и в 2021 гг. одновременно проведены аналогичные измерения аэрозоля на Черноморском гидрофизическом полигоне МГИ РАН в пос. Кацевели.

Исследованы тенденции загрязнения атмосферы в регионе Кавказских Минеральных Вод вследствие дальнего переноса в 1980–2050 гг.

с учетом сценариев SSP2-4.5, SSP5-8.5. Показано, что до 2050 г. оздоровительный потенциал региона сохранится.

Определены концентрации CO , NO_2 , NH_3 в воздухе г. Москвы в 2024 г. из-за выбросов автотранспорта с помощью модели WRF-Chem. Содержание веществ не превысило ПДК.

Исследована динамика дальнего загрязнения атмосферы регионов до 2050 г. с учетом изменяющегося климата.

Исследована динамика риска для растений (лишайники, хвойные, лиственные, травянистые) в материковой части Арктической зоны РФ от загрязнения атмосферы SO_2 потенциальными источниками в 1980–2050 гг. с учетом климатических сценариев RCP4.5, RCP8.5. Результаты актуальны при стратегическом планировании развития Арктической зоны РФ.

Совместно с Гидрометцентром России разработан и испытан метод оценки сроков начала пыления березы на ЕТР, основанный на фенологической модели расчета стадий развития растений, с использованием прогнозов температуры воздуха по модели Института вычислительной математики РАН. Метод рекомендован к внедрению Центральной методической комиссией Росгидромета.

Выполнен цикл исследований тенденций рисков здоровью человека, обусловленных дальним загрязнением атмосферы и изменением погоды-климатической комфортности. Показана необходимость в дополнительном внимании при планировании мер адаптации к изменениям климата в южных и центральных областях ЕТР, на большей части территорий Западной Сибири, в Магаданской области и на Камчатке.

Совместно с НПО «Тайфун» получен ряд важнейших результатов в изучении атмосферных течений под влиянием неоднородностей поля силы тяжести (НПСТ). Обнаружены два физических механизма влияния НПСТ на динамику атмосферы, вследствие которых отклонения горизонтальной скорости могут достигать порядка 1 м/с:

(а) неидеальность реальной атмосферы (наличие существенного теплообмена), которая может приводить к заметным нарушениям условий известной теоремы Н.Е. Кочина: к появлению нескомпенсированных сил и течений в стратифицированной по плотности среде, скорость которых пропорциональна произведению отклонения геоида и частоты плавучести;

(б) наличие в атмосфере фоновых течений, которые также не предусмотрены условиями указанной теоремы и могут приводить к возмущениям их скорости.

Показана возможность и обнаружен механизм генерации внутренних гравитационных волн, обусловленной НПСТ, и рассчитаны важнейшие характеристики таких процессов.

Показано наличие в полярных регионах механизма медленного переноса снежных масс, обусловленного НПСТ. Скорость возникающих горизонтальных течений мала (порядка 4–10³ м/с). Но эти эффекты могут накапливаться годами и становиться значимыми.

Показано существование аналогии между возмущениями, обусловленными НПСТ, и термическими неоднородностями подстилающей поверхности.

Искривление изопикн и изотерм, обусловленное НПСТ, приводит к возмущениям вертикальных потоков тепла в приповерхностном слое атмосферы, достигающих 1 Вт/м².

Установлено существование связей между кинематическими характеристиками ветра (максимальная скорость и его ускорение) в тропическом циклоне и вертикальной и горизонтальными составляющими НПСТ вдоль траектории его перемещения.

Исследованы особенности некоторых вихревых течений. Установлено прогностическое свойство спиральности поля скорости атмосферных движений. Показано, что тенденция высоты изобарической поверхности 1000 гПа пропорциональна интегральной спиральности геострофического потока.

Совместно с МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ и Восточно-Средиземноморским университетом на основе точных решений уравнений гидродинамики на вращающейся сфере, описывающих гамильтонову динамику точечных вихре-стоков, проведено моделирование наблюдаемого явления резкого изменения направления перемещения тропических циклонов.

Показано, что дальнедействующее взаимодействие тропического циклона (ТЦ) с материком может привести к его притягиванию материком по аналогии с хорошо известным наблюдаемым явлением притяжения вихревой воронки торнадо к твердой границе. Осуществлено моделирование эффекта Фудзивары - сближения и слияния двух ТЦ.



Рис.1. Динамика единичного нормированного риска (в процентах за рассматриваемый период) от загрязнения атмосферы SO2 для растительности материковой части российской Арктики в 1980-2050 гг. с учетом климатических сценариев.

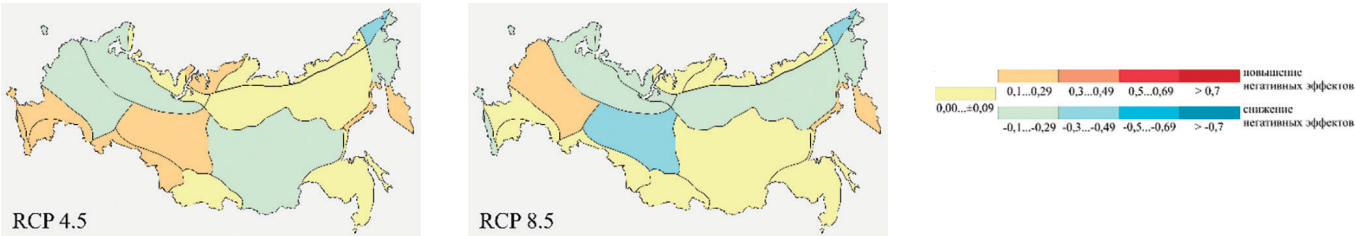


Рис.2. Интегральные оценки тенденций среднегодовых рисков для здоровья по климатическим районам РФ за период 2020—2050 гг. с учетом сценариев изменения климата RCP4.5, RCP8.5.

ЛАБОРАТОРИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (ЛПГ)

Заведующий лабораторией —
к.б.н. В.С. КАЗАНЦЕВ

История лаборатории

Лаборатория парниковых газов создана в 2022 году как молодёжная лаборатория в рамках национального проекта «Наука и университеты». Её коллектив сформировался на базе исследовательской группы Лаборатории математической экологии ИФА им. А.М. Обухова РАН. Заведующий лабораторией — к.б.н. В.С. Казанцев.

Основные направления деятельности:

- мониторинг эмиссий парниковых газов из экосистем российской Арктики (минеральные почвы, болота, термокарстовые озёра, хасыреи) и исследование фундаментальных аспектов углеродного цикла в этих экосистемах;
- изучение эмиссий парниковых газов с поверхности водохранилищ ГЭС;
- методическая помощь исследовательским группам в изучении эмиссий парниковых газов из различных природных экосистем на территории РФ;
- подготовка специалистов по изучению источников парниковых газов.

Лаборатория сочетает полевые экспедиционные работы, инструментальные измерения и лабораторные эксперименты для количественной оценки потоков метана и углекислого газа, выявления ключевых факторов, контролирующих эмиссии, и разработки рекомендаций по снижению антропогенного воздействия на климатическую систему.

Основные достижения

За короткий срок существования Лаборатория парниковых газов выполнила широкий цикл исследований, охватывающих ключевые регионы криолитозоны и внутренних вод России. Проведены сезонные полевые кампании на восьми полигонах: полуостров Ямал (окрестности пос. Тазовский), Норильский промышленный район, дельта Лены (остров Самойловский, правобережье Лены), Красноярское и Цимлянское водохранилища, Тарманский болотный массив в Западной Сибири, торфяники Московской области (заказник «Журавлиная Родина»). География работ позволяет сопоставлять эмиссионные характеристики различных типов экосистем — от тундровых до техногенно-нарушенных и водных.

Детально изучены факторы эмиссии метана из 48 термокарстовых озёр в окрестностях пос. Тазовский на Ямале. Вопреки рас-

пространённому мнению, сверхмалые озёра (площадью менее 0,1 км²) не являются более мощными источниками CH₄ по сравнению с малыми (0,1–1,0 км²). Ключевым фактором оказалась площадь водного зеркала. Данные важны для уточнения региональных бюджетов метана в зоне распространения термокарста.

На тех же участках установлены статистические корреляции между удельными потоками метана (УПМ) и факторами среды. В светлое время суток эмиссии сильнее всего зависят от мощности сезонно-талого слоя ($r = 0,82$), наличия болотных вод ($r = 0,75$) и колебаний их уровня ($r = 0,56$). На увлажнённых элементах микрорельефа (мочажины, межполигональные трещины) добавляется зависимость от температуры почвы. Анализ суточной динамики на мочажине показал высокую корреляцию УПМ с температурой воздуха ($r = 0,90$) и почвы на глубине 5 см ($r = 0,79$). Это позволяет параметризовать эмиссионные модели для тундровых ландшафтов.

В Норильском промышленном районе измерены потоки CH₄ и CO₂ из тундрово-болотных комплексов, сообществ на минеральных почвах и озёр. Выявлена отрицательная корреляция увлажнённости с эмиссией метана и положительная — с эмиссией CO₂. Для экосистем на минеральных почвах обнаружена связь между поглощением метана и температурой воздуха, что важно для понимания реакции мерзлотных ландшафтов на изменение климата.

В рамках НИР по заказу «Эн+ ГРУП» проведены измерения на Красноярском водохранилище. Совместно с ИВП РАН и МГУ впервые изучена пространственно-временная изменчивость содержания CH₄ и его потоков в Цимлянском водохранилище. Эмиссия метана существенно зависит от гидрологического режима, температуры воды и содержания органического вещества.

Впервые показано, что области разгрузки меж- и надмерзлотных вод в криолитозоне (источники Суллар, Улахан-Тарын, Булуус на правобережье Лены) выделяют значительные количества парниковых газов. Совместно с Институтом мерзлотоведения СО РАН и СВФУ установлено, что доля метана в эмиссиях зависит от вклада надмерзлотных вод. В источниках с их преобладанием концентрации CH₄ выше из-за деятельности метаногенов в деятельном слое. Это открывает новое направление — изучение эмиссий из геологических источников в Арктике.

На острове Самойловский в инкубационных экспериментах с образцами торфа из сезонно-талого слоя изучены пути анаэробного метанообразования. С использованием

ингибитора метилфторида разделены вклады ацетокластического и гидрогенотрофного метаногенеза, определена температурная чувствительность процесса в диапазоне 5–10 °С (пик вегетации).

Совместно с Русским обществом сохранения и изучения птиц ведутся наблюдения на заброшенных торфоразработках в заказнике «Журавлиная Родина» (Московская обл.). Цель — оценить современные эмиссии и отработать технологии восстановления нарушенных торфяников. Предварительные результаты показывают, что осушенные торфяники продолжают выделять CO₂ и CH₄, причём эмиссия из остаточных водотоков сопоставима с естественными болотами.

Проанализирован массив из более 850 значений удельного потока метана из таёжных и тундровых болот Западной Сибири, включая 670 измерений в 2023–2024 гг. На основе 3D-визуализации выявлены многомерные зависимости эмиссий от температуры, уровня болотных вод, мощности сезонно-талого слоя и содержания органического углерода. Это является основой для эмпирических моделей регионального масштаба и экстраполяции на территорию с использованием спутниковых данных.

Полученные данные используются при подготовке национальных докладов по парниковым газам и в международных проектах по оценке углеродного цикла северных регионов.



Рис. 1. Районы экспедиций с участием сотрудников ЛПГ на карте РФ: 1 – торфоразработки в заказнике “Журавлиная Родина” в окрестностях г. Талдом; 2 – южные тундры в окрестностях пос. Тазовский; 3 – Красноярское водохранилище; 4 – Цимлянское водо-хранилище; 5 – Тарманский болотный массив; 6 – Норильский промышленный район; 7 – о. Самойловский; 8 – источники на правом берегу Лены.

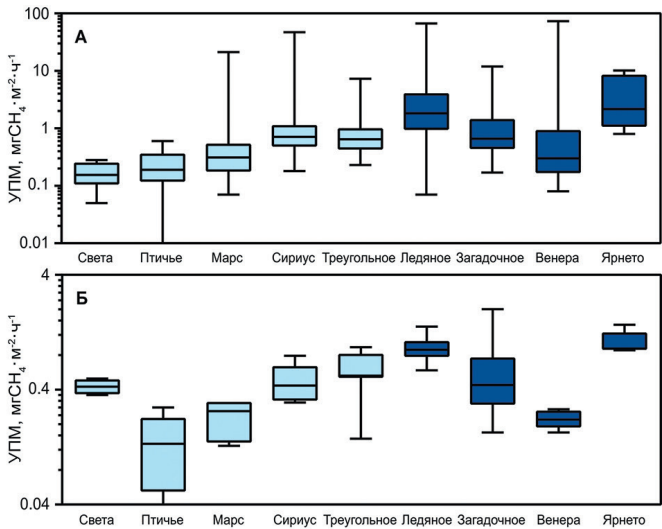


Рис. 2. Диаграммы размаха в полулогарифмическом масштабе для УПМ: (А) - измеренных методом плавучих камер (пузырьковая + диффузионная составляющие эмиссии); (Б) рассчитанных по двухслойной модели (диффузионная составляющая эмиссии). Озера расположены в порядке возрастания площади. Синим и голубым цветами обозначены малые (>0.1 км2) и сверхмалые (<0.1 км2) озера соответственно.

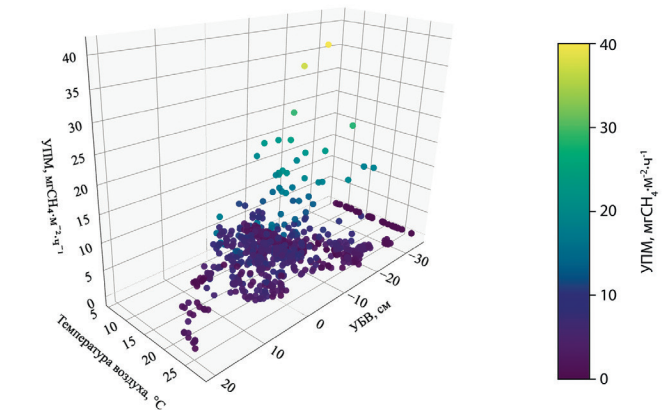


Рис. 3. Графическая 3D-визуализация зависимости величин Удельного потока метана от ключевых факторов среды.

ЛАБОРАТОРИЯ ПРЕДСКАЗУЕМОСТИ КЛИМАТА (ЛПК)

Заведующий лабораторией —
к.ф.-м.н. А.В. Чернокульский

История лаборатории

Лаборатория предсказуемости климата была создана в ИФА им. А.М. Обухова РАН в рамках реализации программы «Мегагрантов» в 2021 году в сотрудничестве с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институтом вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, Гидрометцентром России. Заведующим лабораторией с 2021 по 2023 гг. являлся приглашенный ученый — д.н. Н. Кинлисайд, с 2023 по 2025 гг. лабораторией заведовал академик РАН И.И. Мохов, с 2025 года обязанности заведующего лабораторией исполняет к.ф.-м.н. А.В. Чернокульский.

Основные направления деятельности

- Количественная оценка вклада разных компонент климатической системы в изменчивость климата на временных масштабах от недель до столетий;
- Определение источников предсказуемости климата Северной Евразии на разных временных масштабах на основе данных наблюдений и моделей;
- Повышение качества и достоверности прогнозов климата Северной Евразии на разных временных масштабах (от недель до столетий);
- Улучшение способности прогнозирования экстремальных гидрометеорологических явлений и связанных с ними рисков в Северной Евразии на суб-сезонном временном масштабе и создание более точных сценариев изменений частоты и интенсивности таких явлений и рисков в ближайшие десятилетия;
- Количественная оценка климатических рисков в российских регионах.

Основные результаты

Создана новая реконструкция сеточных данных по концентрации морского льда (КМЛ) в Арктике за период 1901-2019 гг. на основе связей между пространственно-временной структурой вариаций КМЛ и температурой приземного воздуха, температурой поверхности моря и давлением на уровне моря с использованием разложения полей на эмпирические ортогональные функции и множественной регрессионной модели для главных компонент. Новая реконструкция показывает значительное уменьшение КМЛ

с 1920 по 1940 гг. как летом, так и зимой, совпадающее с потеплением начала XX века в Арктике. Данные по концентрации льда в новой реконструкции доступны на сайте ИФА.

Исследованы механизмы раннего потепления XX века в Арктике, которое было сопоставимо по масштабам с современным потеплением, однако произошло в период, когда рост содержания парниковых газов в атмосфере был значительно меньше, чем за последние 40 лет. С большой вероятностью оно было вызвано совокупным воздействием долгосрочных естественных климатических колебаний с учетом вклада естественного радиационного воздействия, связанного со снижением вулканической активности и колебаниями солнечной активности, а также ростом концентрации парниковых газов в атмосфере в результате антропогенных выбросов.

Исследуется возможность повышения предсказуемости температурных аномалий в Северной Евразии за счет учета их связи с крупномасштабной климатической изменчивостью. Обнаружено, что наибольшая частота экстремально высоких температур и засушливых условий в весенне-летние месяцы на европейской территории России была обнаружена для лет, начинающихся в фазе Эль-Ниньо с переходом в фазу Ла-Нинья в конце года.

С помощью метода кластеризации над северной Евразией выделены устойчивые погодные режима для зимы и для лета. Выявлены статистически значимые долговременные изменения повторяемости режимов. Обнаружены замкнутые последовательности значимо частых переходов между режимами, что указывает на наличие предпочтительных путей эволюции системы, а не полностью случайный характер смены режимов. Выявлена связь повторяемости погодных режимов с крупномасштабной климатической изменчивостью.

Исследуются различные подходы к оценке климатических рисков и существующие открытые вопросы в данной области. Предложен эвристический подход к относительной оценке климатических рисков и ранжированию субъектов Российской Федерации по степени риска. Регионы России приоритизированы по необходимости адаптации к рассмотренным рискам.

В сотрудничестве с сотрудниками ИВМ РАН и Гидрометцентра России создана версия модели земной системы для сезонного прогнозирования погоды и климата, которая внедрена в практическую деятельность Росгидромета. Получены оценки использования сезонных гидродинамических прогнозов различных целевых переменных.

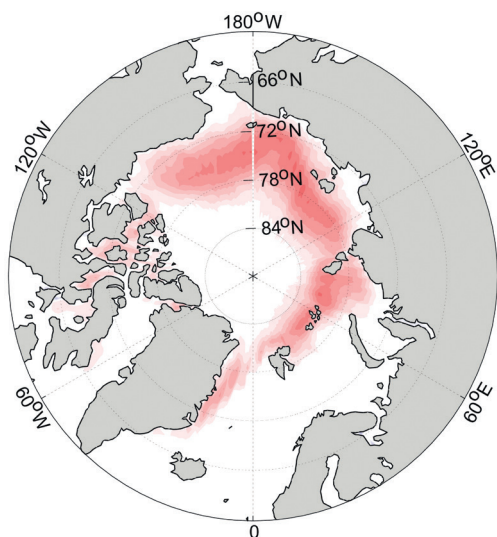
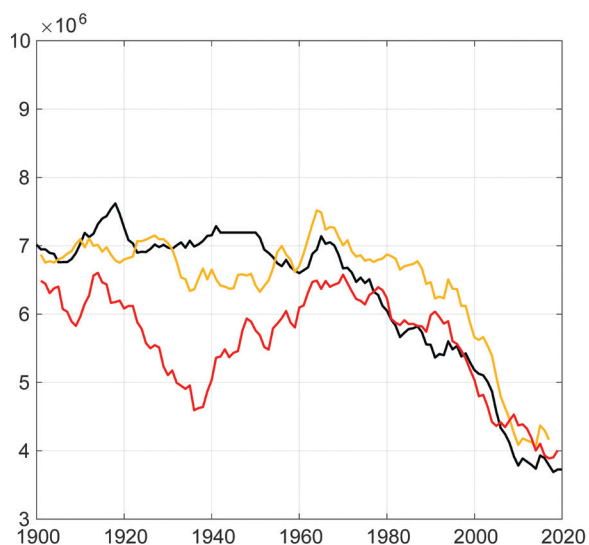
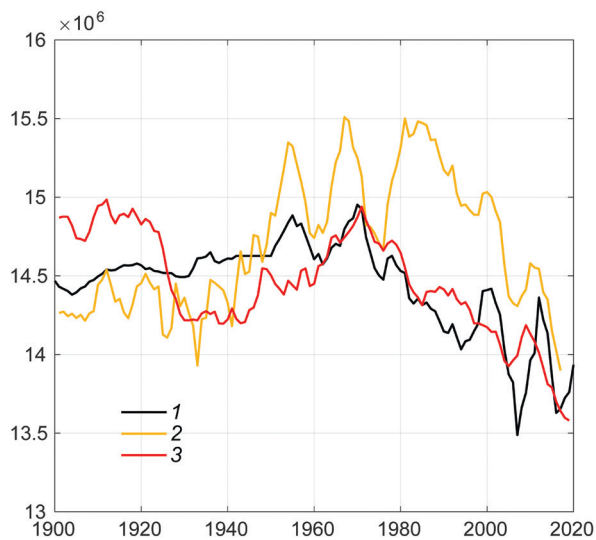
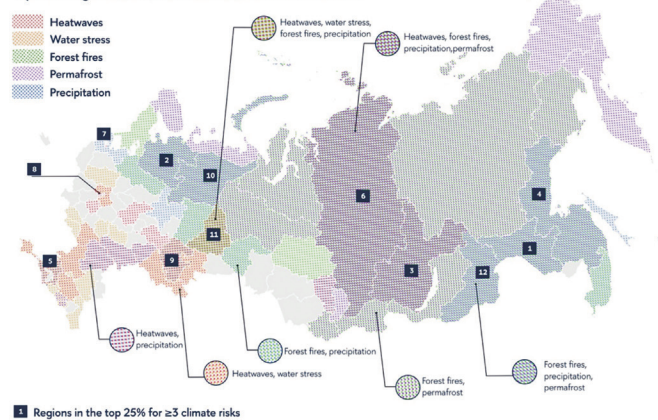


Рис 1. Сверху: площадь морских льдов в Арктике (млн. км²) в марте (слева) и в сентябре (справа) по данным новой реконструкции ИФА РАН (3, красная кривая), данным HadISST1.1 (1, черная кривая) и данным реконструкции SIBT1850 (2, желтая кривая). Снизу: тренд концентрации морских льдов в Арктике (%/10 лет) за период 1915–1945 гг. в сентябре по данным новой реконструкции ИФА РАН.

Rating of regions by climate risks: summary map

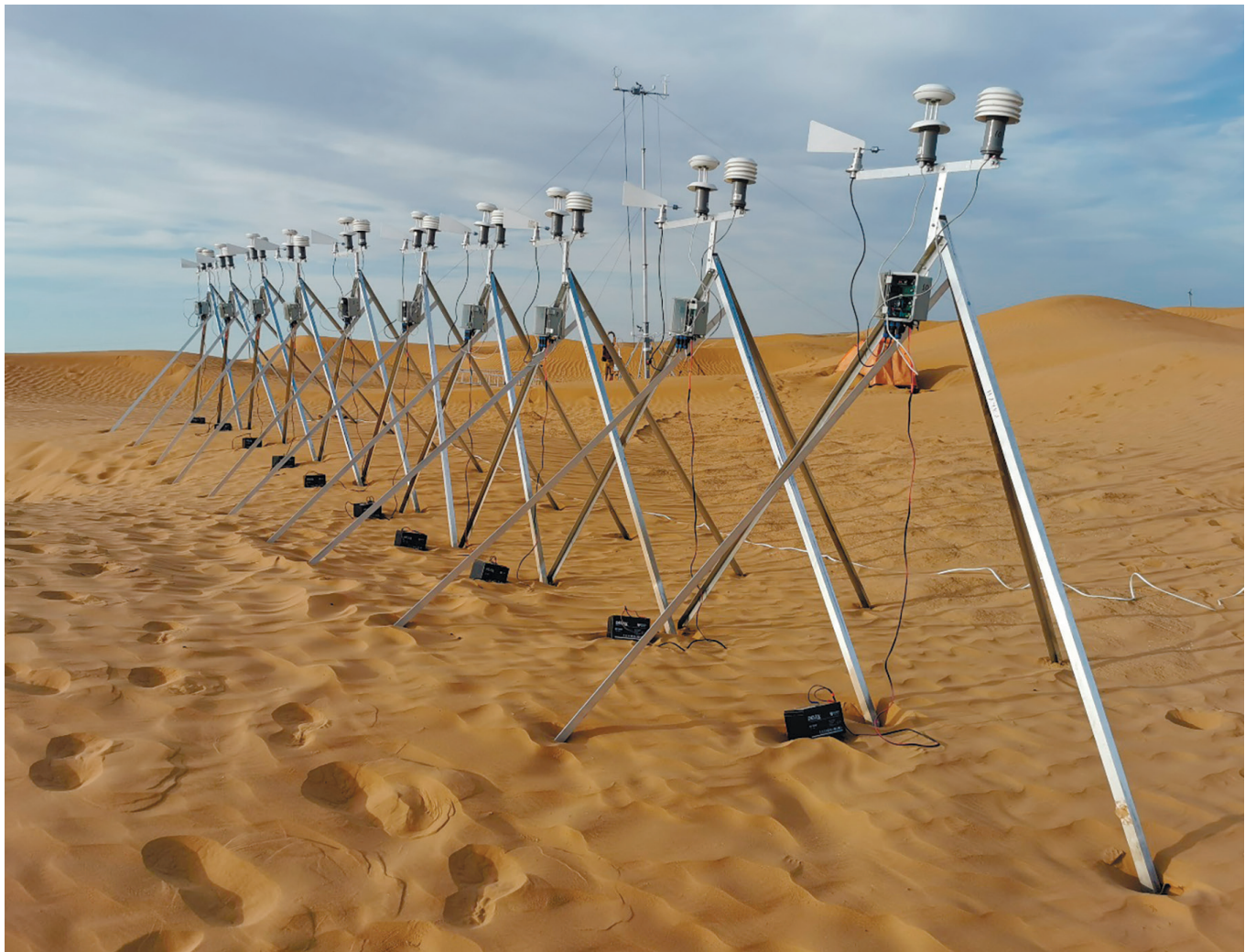
Top 25% regions for five climate risks, SSP1-2.6 scenario



12 Regions in the top 25% for ≥3 climate risks

Рис.2. Регионы России с высоким уровнем климатических рисков.





ОТДЕЛ ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ

- ЛАБОРАТОРИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ (ЛГГ)
- РАДИОАКУСТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ (РАЛ)
- ЛАБОРАТОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА (ЛВАО)
- ЛАБОРАТОРИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН (ЛТРВ)

ЛАБОРАТОРИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ (ЛГГ)

ЗАВЕДУЮЩИЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
Д.Ф.-М.Н. О.Г. ЧХЕТИАНИ

История лаборатории

История лаборатории геофизической гидродинамики (ЛГГ) неразрывно связана с развитием фундаментальных представлений о динамике атмосферы и океана. Лаборатория была создана в 1970-х годах на базе Теоретического отдела Института физики атмосферы, основанного и руководимого А.М. Обуховым. Именно А.М. Обухов, стоявший у истоков современной геофизической гидродинамики, заложил традиции глубокого теоретического анализа, которые на долгие годы определили научное лицо подразделения. С этого времени теоретические исследования по геофизической гидродинамике ведутся в тесном взаимодействии с лабораторными и полевыми экспериментами. На протяжении почти двадцати лет лабораторию возглавляли известные ученые-гидродинамики: сначала Ф.В. Должанский, а затем В. М. Пономарев. Под их руководством были проведены пионерские исследования в области теории климата, динамики вихрей и крупномасштабных волн, а также заложены основы уникальных лабораторных установок. С 2008 года лабораторией руководит О.Г. Чхетиани, который продолжает современные исследования на стыке теории, численного моделирования и физического эксперимента.

Основные направления деятельности

- развитие теории гидродинамических инвариантов, (потенциального вихря и спиральности), ее применения к анализу и диагнозу атмосферных процессов различного масштаба;
- исследования по динамике климатической системы;
- маломодовые модели атмосферной циркуляции;
- стохастизация в нелинейных геофизических системах;
- структурообразование и турбулентность, задачи гидродинамической устойчивости;
- развитие гамильтоновых методов описания вихревых режимов и переноса примесей;
- экспериментальные исследования турбулентных, вихревых и транспортных процессов в атмосфере;
- лабораторное и численное моделирование в геофизической гидродинамике;
- математические методы анализа геофизических данных.

Основные результаты

1. В лаборатории проведен цикл исследований, посвященных анализу температурных фронтальных струй, формирующих специфическую турбулентность за счет экваториального бета-эффекта. Детально изучена изменчивость интегральных характеристик струйных течений (СТ) и планетарной высотной фронтальной зоны за последние десятилетия. Выявлены устойчивые статистические связи между динамикой СТ, блокирующими процессами (блокингами) и явлениями Эль-Ниньо – Южное колебание, что вносит вклад в понимание механизмов долгосрочного климатического прогноза.

2. Выполнен обширный цикл теоретических работ по проблемам бароклинной неустойчивости тропосферных и периодических зональных течений. С учетом экмановского трения проведен анализ условий возникновения режимов нелинейных колебаний (васцилляций) и переходов к детерминированному хаосу. Впервые исследованы задачи линейной и нелинейной устойчивости поверхностных квазигеострофических периодических течений. Рассмотрен новый класс оптимальных возмущений, имеющий значение как для геофизических, так и для астрофизических приложений. На основе полученных результатов предложены оригинальные механизмы развития блокингов – стационарных антициклонов, определяющих аномалии погоды в средних широтах.

3. Методами лабораторного и численного эксперимента на установках с кольцевыми вращающимися каналами исследована многорежимность равновесных состояний атмосферной циркуляции. Экспериментально обнаружены эффекты обратного каскада энергии: зафиксирована генерация крупномасштабного суб- и суперротационного вихря, а также формирование струйных течений из мелкомасштабных возмущений. Эти результаты важны для понимания механизмов самопроизвольной организации крупных вихревых структур в атмосферах планет.

4. Коллективом развита теория спиральности поля скорости – фундаментального гидродинамического инварианта. Рассмотрен широкий класс задач по динамике и воспроизводству спиральности в турбулентности и атмосферном пограничном слое (АПС). Разработаны методы оценки спиральности по

данным дистанционного зондирования и ре-анализа. Для верификации теоретических моделей организованы и успешно проведены комплексные экспедиции, в ходе которых выполнялись натурные измерения турбулентной завихренности и спиральности с помощью оригинального прибора – циркулиметра, разработанного в ИФА РАН.

5. Показано, что вертикальный поток спиральности из пограничного слоя в свободную атмосферу может служить эффективным индексом сезонной и межгодовой изменчивости климата. Обнаружена устойчивая корреляция этого параметра с летними блокирующими явлениями в Северном полушарии, а также с состоянием морского ледяного покрова в Арктике. Это открывает перспективы использования спиральности в качестве диагностического признака при мониторинге климатической системы.

6. Проведена серия экспериментальных и теоретических работ, включая научные экспедиции в аридные и субаридные зоны юга России. Исследованы механизмы выноса пыли и аэрозолей и их связь с мезомасштабными вихревыми структурами в приземном слое. Обнаружены физические механизмы термоконвективного выноса пылевого аэрозоля, действующие ниже порога сальтации, что имеет значение для понимания эмиссии пыли в атмосферу в слабоветровых условиях. Установлены универсальные функции распределения частиц по размерам, исследовано влияние электрических полей и ориентации дюн относительно ветра на интенсивность выноса. Выполнен цикл работ по динамике и статистике пыльных вихрей («дьяволов») на Земле и на Марсе.

7. Для условий слабых ветров установлены универсальные вертикальные профили распределения субмикронного аэрозоля. Предложена модель развития субмезомасштабных возмущений в АПС, ответственных за интенсификацию выноса и переноса аэрозольных частиц. На основе полученных экспериментальных данных разработаны новые параметризации турбулентных потоков импульса и тепла, включая коэффициенты передачи над морским льдом, а также параметризация конвективного механизма выноса субмикронного аэрозоля. Разработанные схемы адаптированы для использования в глобальных и региональных климатических моделях, а также в системах прогноза погоды

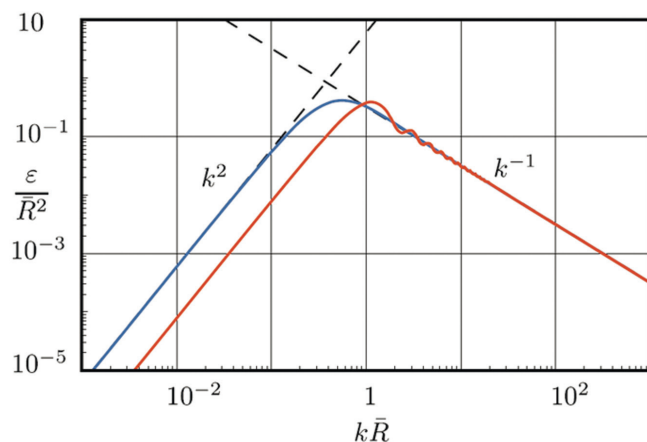


Рис.1. Спектр энергии, создаваемой турбулентными температурными струями вблизи экватора. Пунктир - степенные асимптотики. На нижнем графике (красная линия) экваториальный бета-эффект выключен.

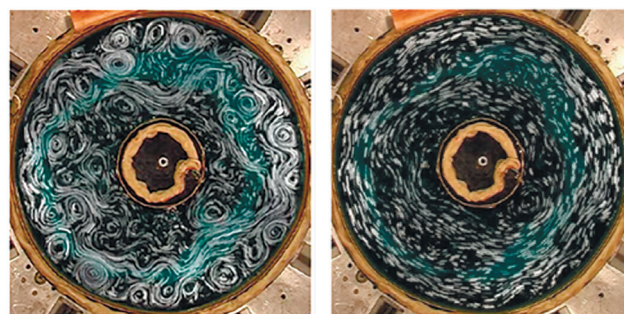


Рис. 2. Струи и вихри во вращающемся канале.

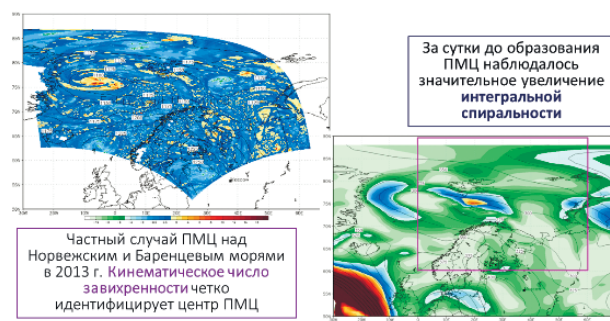


Рис. 3. Использование спиральности совместно с кинематическим числом завихренности в качестве прогностического критерия и индикатора развития экстремальных явлений.

РАДИОАКУСТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ (РАЛ)

**ЗАВЕДУЮЩИЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
Д.Ф.-М.Н. С.Н. Куличков**

История лаборатории

Радиоакустическая лаборатория (РАЛ) была создана в числе первых подразделений Института физики атмосферы Академии наук СССР, став наследницей научных традиций отдела Атмосферной турбулентности Геофизического института (ГЕОФИАН).

Интерес к проблемам распространения волн в атмосфере сформировался у основателя института А.М. Обухова задолго до организации РАЛ. Еще в 1940-х – начале 1950-х годов, в период его работы в ГЕОФИАНе, им были выполнены фундаментальные исследования по распространению и флуктуациям волн в турбулентной среде. Эти работы заложили основу теории воздействия турбулентности на волновые процессы — научного направления, которое впоследствии выделилось в самостоятельный и важный раздел физики атмосферы.

Для продолжения и развития этих исследований в ИФА была организована новая лаборатория, получившая название «Радиоакустическая». Значительную роль в ее организации сыграл В.И. Красильников. Именно по его рекомендации на должность заведующего РАЛ был приглашен В.М. Бовшеверов, который привлек к работе своих талантливых учеников из Московского государственного университета — В.И. Татарского, А.С. Гурвича и И.П. Чунчузова. Сформированный таким образом коллектив во многом определил высокий научный уровень лаборатории на долгие годы вперед.

Руководство лабораторией осуществляли: В.М. Бовшеверов (1956–1985), М.А. Каллистратова (1985–2002), С.Н. Куличков (с 2002 года по настоящее время)

Основные направления деятельности

- изучение распространения в атмосфере звуковых волн, света и радиоволн;
- исследование флуктуаций параметров звуковых волн, света и радиоволн;
- разработка акустических и оптических методов измерения метеорологических величин и параметров турбулентности
- применение методов измерения метеорологических величин и параметров турбулентности для фундаментальных и прикладных атмосферных исследований.

Основные результаты

В результате развития в рамках РАЛ исследований флуктуаций и рассеяния звука, света и

радиоволн в турбулентной атмосфере сформировалось новое научное направление в физике атмосферы. Ключевое достижение лаборатории в этой области — развитая В.И. Татарским теория флуктуационных явлений при распространении волн в случайно-неоднородных средах. Получившие мировое признание работы Татарского не только обеспечили глубокое понимание физической сущности этих явлений, но и предоставили мощный теоретический аппарат для решения широкого круга прикладных задач.

1. Под руководством В.И. Татарского и А.С. Гурвича в РАЛ проводились экспериментальные исследования, подтвердившие «закон 5/3» Обухова и теоретические положения теории Татарского. В ходе изучения флуктуаций света на протяженных трассах были открыты новые физические явления — насыщение сильных флуктуаций интенсивности и эффект усиления обратного рассеяния в турбулентной атмосфере. Значительный вклад в практические приложения внесли теоретические и экспериментальные исследования флуктуаций параметров лазерных пучков, выполнявшиеся под руководством А.С. Гурвича и А.И. Кона.

2. Под руководством В.М. Бовшеверова были заложены основы методов акустической анемометрии и термометрии, впоследствии получивших широкое распространение в мировой практике исследования турбулентности. Им же совместно с Б.М. Копровым в РАЛ разработаны уникальные приборы — циркулиметры, предназначенные для измерения мезомасштабной спиральности. Проведенные циркулиметрические измерения служат экспериментальной основой для верификации теории спиральности.

3. Пионерские эксперименты М.А. Каллистратовой по исследованию рассеяния звука в приземном слое атмосферы дали количественное подтверждение теории Татарского. Эти результаты легли в основу метода акустической локации атмосферы и создания акустических локаторов (содаров), позволяющих измерять вертикальные профили флуктуаций показателя преломления и скорости ветра в атмосферном пограничном слое (АПС). Сотрудниками РАЛ разработаны и изготовлены несколько поколений исследовательских содаров. Эта аппаратура применяется для изучения структуры АПС, низкоуровневых струйных течений, внутренних гравитационных волн и для решения многих других задач.

4. Важнейшие экспериментальные и теоретические исследования распространения инфразвуковых волн в нижней и средней

атмосфере выполнены в РАЛ под руководством С.Н. Куличкова и И.П. Чунчузова. Впервые обнаружены инфразвуковые сигналы в зонах акустической тени, происхождение которых объяснено рассеянием и отражением низкочастотных волн от слоистых неоднородностей атмосферы. Предложены модели образования тонких слоистых структур, учитывающие роль внутренних гравитационных волн. Разработаны практические методы инфразвукового зондирования атмосферы, а также методы определения параметров взрывных источников по измерениям характеристик регистрируемых волн.

Структура скорости ветра в верхней стратосфере, мезосфере и нижней термосфере изучается с помощью разработанного лаборатории метода инфразвукового зондирования атмосферы. Метод основан на эффекте рассеяния инфразвука от сильно анизотропных неоднородностей скорости и температуры ветра в средней и верхней атмосфере. Установлено, что в мезомасштабном линейном слое атмосферы (90–102 км) могут наблюдаться чрезвычайно высокие вертикальные градиенты скорости ветра, достигающие 10 м/с на 100 м. Изучено влияние мелкомасштабной структуры скорости ветра на форму инфразвуковых сигналов. Получены спектры вертикальных волновых чисел восстановленных флуктуаций скорости ветра для верхней стратосферы. Полученные спектральные характеристики флуктуаций ветра используются для улучшения параметризации сопротивления гравитационных волн для численного прогнозирования погоды.

Исследованы физические механизмы генерации инфразвуковых сигналов морским волнением («голос моря»). На основе анализа данных по регистрации инфразвука в акватории Черного моря совместно с анализом волновой обстановки и поля скорости ветра был сделан вывод о совместном влиянии механизма генерации инфразвука стоячими поверхностными волнами и стратификации атмосферы на наблюдаемые параметры инфразвуковых волн.

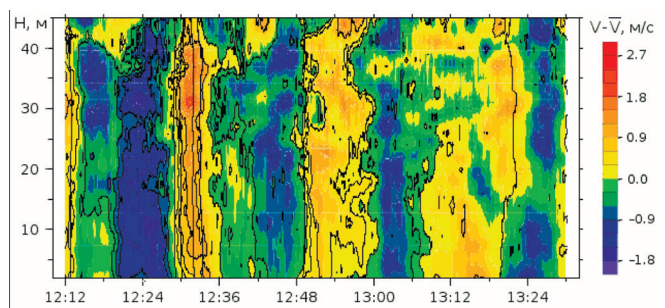


Рис. 1. Поле флуктуаций скорости ветра, полученное содаром высокого разрешения.



Рис. 2.
(а) А.М. Обухов с сотрудниками РАЛ рядом с доплеровским содаром, Цимлянск 1981 г.
(б) Содарные измерения в Калмыкии.

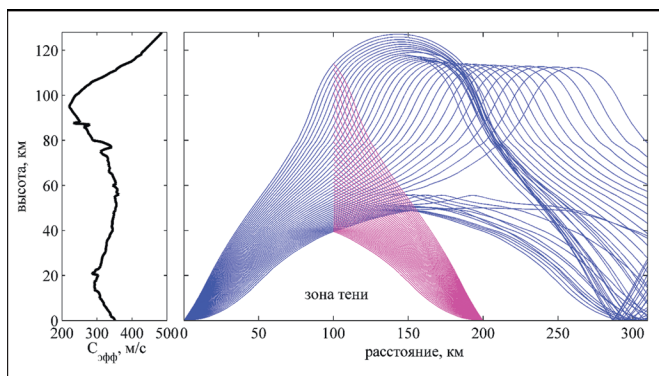


Рис. 3. Схема частичного отражения акустической волны от слоистых неоднородностей атмосферы на высотах 40 — 120 км.

ЛАБОРАТОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА (ЛВАО)

ЗАВЕДУЮЩАЯ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
Д.Ф.-М.Н. И.А. РЕПИНА

История лаборатории

История лаборатории началась в 1962 г. с организации исследований взаимодействия атмосферы и водной поверхности в отделе атмосферной турбулентности, что стало основой создания в 1978 г. Лаборатории приводного слоя атмосферы. И в 1985 г., в свете возрастающего интереса к роли океана в процессах формирования погоды и климата, на базе этой лаборатории была создана Лаборатория взаимодействия атмосферы и океана. Первым ее заведующим стал известный океанолог Ю.А. Волков. С 2008 г. лабораторию возглавлял академик Г.С. Голицын, а с 2014 года по настоящее время её возглавляет И.А. Репина.

Основные направления деятельности

- Теоретические и экспериментальные исследования турбулентного энерго- и газообмена атмосферы и водной поверхности.
- Разработка теорий турбулентного обмена в условиях конвективного перемешивания и устойчивой стратификации.
- Исследование взаимодействия атмосферы и гидросферы (криосферы).
- Исследование структуры и динамики приземного (приводного) и пограничного слоев атмосферы над неоднородными поверхностями
- Анализ параметров ветрового волнения
- Мезомасштабное моделирование атмосферных процессов в прибрежной зоне, полярных регионах и над крупными озерами.
- Разработка и модификация измерительной аппаратуры для исследования пограничного и приводного слоя атмосферы и структуры поверхности, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов.
- Разработка алгоритмов интерпретации спутниковых данных, в том числе для анализа состояния морской поверхности и ледяного покрова.
- Анализ изменений прозрачности и аэрозольной оптической толщины атмосферы.

Основные результаты

1. Сотрудники лаборатории на регулярной основе принимают участие в морских и океан-

ских экспедициях, включая крупные международные проекты, ежегодно работают в Антарктике, Арктике и на архипелаге Шпицберген. Значительный вклад внесен в организацию и проведение наблюдений в Международной гидрометеорологической обсерватории в Тикси. За последние годы создана и поддерживается сеть стационаров для изучения структуры атмосферного пограничного слоя (АПС) над различными типами неоднородной поверхности. Измерительные комплексы развернуты в тундровых, болотных и озерных ландшафтах, в прибрежных зонах и в условиях городской застройки, что позволяет получать репрезентативные данные для широкого круга задач.

2. Получены фундаментальные результаты теоретических и экспериментальных исследований турбулентного энерго- и газообмена между атмосферой и водной поверхностью. Изучены механизмы обмена в экстремальных погодных условиях, включая ураганные ветры, а также при штилевой конвекции и сильно устойчивой стратификации. На основе этих данных разработаны параметризации турбулентных потоков импульса, тепла, влаги и газов (включая CO_2), адаптированные для использования в моделях Земной системы. Одновременно ведется постоянное совершенствование методик натурных измерений и алгоритмов обработки данных в морских и наземных условиях.

3. Проводится комплексное моделирование атмосферных процессов в Арктике с использованием негидростатических мезомасштабных моделей, вихреразрешающих и одномерных моделей. В результате получено физическое описание механизмов формирования мезомасштабных ветровых циркуляций в Арктическом регионе и параметризации обменных процессов в случае устойчивых, конвективных условий и при наличии слоисто-кучевой облачности.

Для изучения подветренных бурь адаптирована совместная модель атмосферы, океана, ветрового волнения и морского льда. Выявлены статистически значимые корреляции между многолетними трендами характеристик подветренных бурь и изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции как в Арктике, так и в средних широтах. На примере Шпицбергена количественно оценено влияние фёнов на тепловой баланс ледников.

4. Разработана модель ветро-волнового взаимодействия четвертого поколения, которая по заданному полю ветра позволяет рассчиты-

вать не только параметры волнения, но и характеристики приводного слоя атмосферы, а также параметры верхнего квазиоднородного слоя океана. Создана и верифицирована методика исследования акваторий со сложным рельефом дна и изрезанной береговой линией с использованием современных волновых моделей WAVEWATCHIII и SWAN. Проведен анализ климатологии ветрового волнения Мирового океана и прибрежных зон на различных пространственно-временных масштабах.

5. Получены уникальные результаты комплексных исследований углеродного баланса на реках Сибири, озерах различного типа (включая редкие меромиктические озера), в болотных экосистемах и на водохранилищах разных климатических зон Российской Федерации. Разработана оригинальная методика оценки углеродной нейтральности и климатического вклада искусственных водных объектов, учитывающая их возраст, размер, точность и географическое положение.

6. Активно развивается направление создания и применения беспилотных летательных систем для атмосферного зондирования. Разработан беспилотный летательный аппарат гибридной схемы «Цимлянин» с возможностью вертикального взлета и посадки, оснащенный бортовым измерительным комплексом для исследования турбулентности на различных высотах в АПС. Созданы и апробированы методики мониторинга вертикальных профилей температуры, влажности и скорости ветра, проведения измерений над труднодоступными участками (например, над полыньями), а также картирования термических неоднородностей подстилающей поверхности.

7. На основе обширной базы натурных экспериментов и данных мелкомасштабного моделирования определены границы применимости классической теории подобия Монина–Обухова (ТПМО) для расчета турбулентного обмена над неоднородными поверхностями: в прибрежных зонах, в городской застройке, в лесах с озерами. Разработаны критерии и подходы к модификации ТПМО для таких сложных ландшафтов. Количественно оценен вклад различных элементов высокоширотных болот и полигональной тундры (кочек, мочагин, термокарстовых озер) в эмиссию и поглощение парниковых газов.

8. Разрабатываются новые алгоритмы интерпретации спутниковых данных для анализа состояния морской поверхности и ледяного покрова. Проводится систематическая валидация спутниковых экспериментов и результатов мезомасштабного моделирования в их сравнении с данными специализированных морских и наземных измерений, что позволяет повышать точность дистанционных методов зондирования Земли.



Рис. 1. БПЛА «Цимлянин» на Ладожском озере; комплекс для измерения динамики атмосферного пограничного слоя на основе квадрокоптера на Шпицбергене.

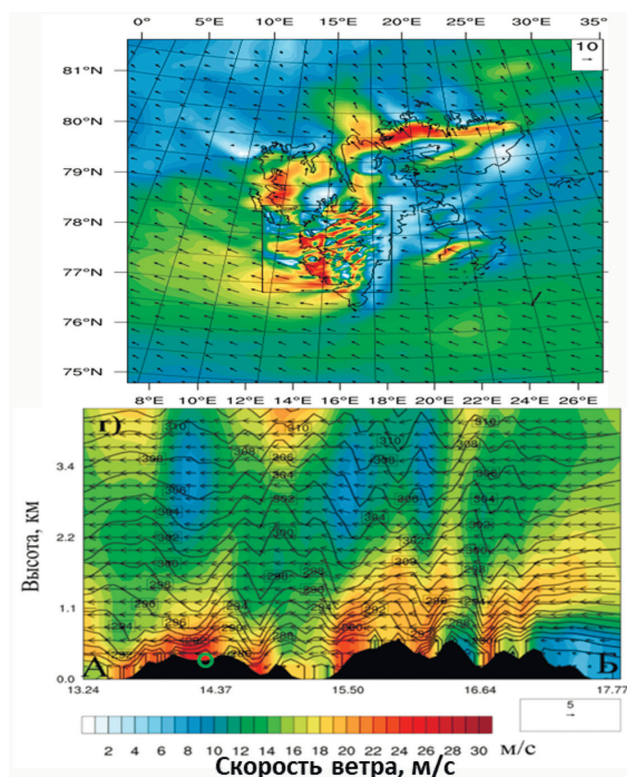
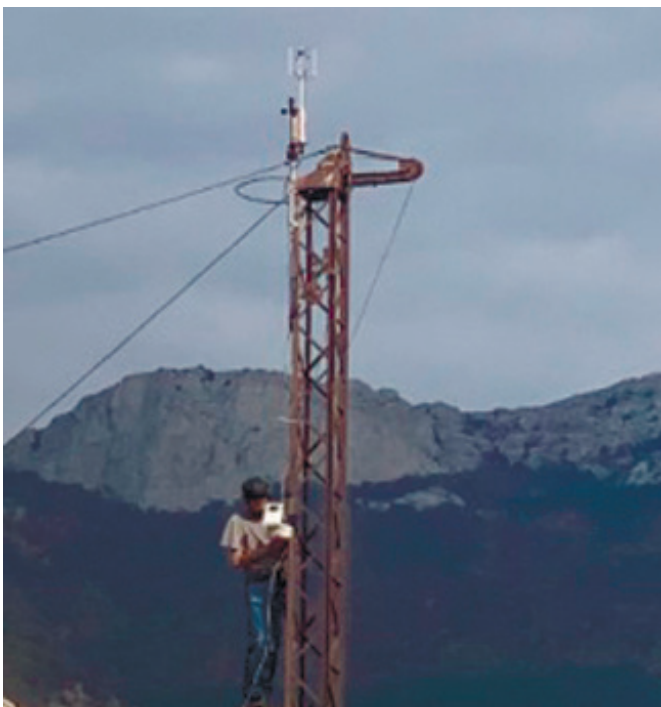
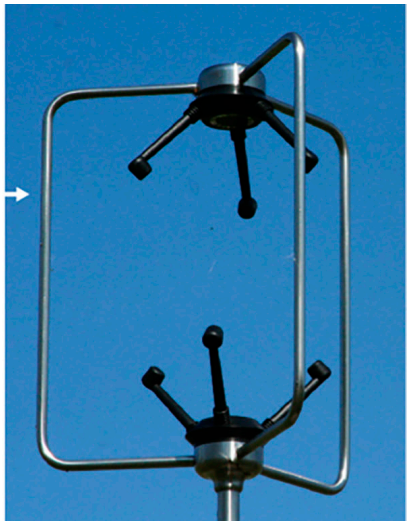


Рис. 2. Результаты мезомасштабного моделирования динамики и структуры фёна на Шпицбергене.



Измерения структуры атмосферного пограничного слоя и атмосферной турбулентности над различными ландшафтами.



ЛАБОРАТОРИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН (ЛТРВ)

ЗАВЕДУЮЩИЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
д.ф.-м.н. М.Е. ГОРБУНОВ

История лаборатории

В 1986 году в ИФА АН СССР по предложению д.ф.-м.н. А.С. Гурвича была создана Лаборатория исследований атмосферы космическими средствами (ЛИАКС) под руководством Г.М. Гречко. Лаборатория занималась восстановлением из спутниковых измерений высотных профилей озона, малых газовых составляющих атмосферы, разрабатывала алгоритмы использования данных спутникового дистанционного рефрактометрического зондирования атмосферы с целью использования в численном прогнозе погоды. В 1992 году ЛИАКС была переименована в Лабораторию дистанционной рефрактометрии, которую возглавил к.ф.-м.н. С.В. Соколовский. Основным направлением деятельности лаборатории стало радиозатменное зондирование атмосферы. В 1997 г. в результате реорганизации Отдела распространения волн в атмосфере произошло объединение двух лабораторий в Лабораторию турбулентности и распространения волн в атмосфере (ЛТРВ), которую возглавил д.ф.-м.н. О.Г. Налбандян. С 2007 г. Лабораторию турбулентности и распространения волн в атмосфере возглавляет д.ф.-м.н. М.Е. Горбунов.

Основные направления деятельности

- Развитие теории и методов радиозатменного зондирования атмосферы с использованием сигналов навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, включая разработку новых подходов к анализу многолучевых зон и восстановлению вертикальных профилей температуры.
- Лидарное зондирование атмосферы для обнаружения турбулентности ясного неба и исследования пространственных спектров флуктуаций плотности аэрозоля на высотах полетов гражданской авиации.
- Исследование активности внутренних гравитационных волн (ВГВ) в атмосфере по данным радиозатменных измерений, включая разработку методов восстановления статистических параметров ВГВ (структурной характеристики, внешнего масштаба, дисперсии флуктуаций температуры и потенциальной энергии).
- Развитие теоретических методов анализа волновых полей, включая применение распределения Вигнера и плотности Кирквуда для обработки сигналов в многолучевых зонах.

Основные результаты

1. Разработаны теоретические основы и практические методы дистанционного спутникового радиозондирования атмосферы. Метод основан на использовании высокостабильных сигналов навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, которые принимаются низкоорбитальным спутником, оснащенным специальным приемником, после прохождения через атмосферу Земли. Измерение фазы радиосигнала позволяет с высокой точностью определить угол рефракции радиолуча, а серия измерений во время радиозахода (когда спутник заходит за горизонт Земли) дает возможность восстановить вертикальное распределение температуры в районе зондирования.

Проведено статистическое сравнение показателей преломления, восстановленных радиозатменным методом, с данными Европейского Центра Среднесрочных Прогнозов Погоды (ECMWF) для различных широтных зон: тропиков ($0-30^\circ$), средних широт ($30-60^\circ$), полярных широт ($60-90^\circ$) и в глобальном масштабе. Полученные результаты подтвердили высокую надежность и точность радиозатменной методики.

Для анализа волновых полей в многолучевых зонах развиты современные теоретические подходы, включая применение распределения Вигнера и усредненной по вращениям фазового пространства плотности Кирквуда. Эти методы позволяют эффективно обрабатывать сложные сигналы в условиях многолучевого распространения радиоволн в атмосфере.

2. В 2009–2015 гг. лаборатория принимала активное участие в выполнении международного проекта DELICAT (DEmonstration of LIdar based Clear Air Turbulence detection). Целью проекта являлась разработка бортового лидара для обнаружения турбулентности ясного неба (ТЯН) впереди по курсу самолета на расстояниях до 30 км в режиме реального времени. Одной из основных помех при зондировании турбулентности являются флуктуации интенсивности рассеянного излучения, вызванные аэрозолями. Был предложен оригинальный метод идентификации облаков аэрозоля, основанный на двумерном преобразовании Фурье. Получены пространственные спектры флуктуаций плотности аэрозоля для различных участков полетов, что позволило количественно охарактеризовать аэрозольные неоднородности на высотах около 10 км.

3. Внутренние гравитационные волны (ВГВ) являются главным источником мелкомасштаб-

ных флуктуаций скорости ветра и температуры в атмосфере. Лабораторией разработаны методы исследования активности ВГВ на основе радиозатменных наблюдений, в частности с использованием данных спутниковой группировки COSMIC, включающей 6 спутников и проводящей до 3000 сеансов измерений в сутки, равномерно распределенных по земному шару. Учитывая высокую пространственно-временную изменчивость параметров ВГВ, в исследованиях применяется статистическое описание флуктуаций амплитуды радиозатменных сигналов. Коллективом получено основное теоретическое соотношение между измеряемыми спектрами флуктуаций амплитуды и фазы радиозатменных сигналов с пространственными спектрами ВГВ. Разработан метод восстановления основных статистических параметров ВГВ из спектров флуктуаций амплитуды. Метод был апробирован на наблюдениях COSMIC за 2011 г. По данным, выполненным в январе–феврале и июне–июле 2011 г., восстановлены высотно-широтные распределения ключевых параметров ВГВ: структурной характеристики и внешнего масштаба. Также получены дисперсии флуктуаций температуры и удельной потенциальной энергии в диапазоне высот от тропопаузы до 28 км.

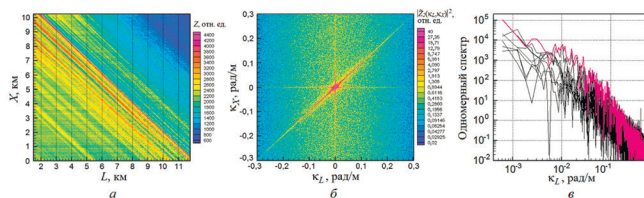


Рис. 1. (а) Лидарный отклик 12 августа 2013, UTC 13:52:04.54–13:53:07.91, высота 10290 м; (б) 2-мерная спектральная плотность; (в) 1-мерные пространственные спектры флуктуаций плотности аэрозоля. UTC 13:50:54.54–13:56:18.54.

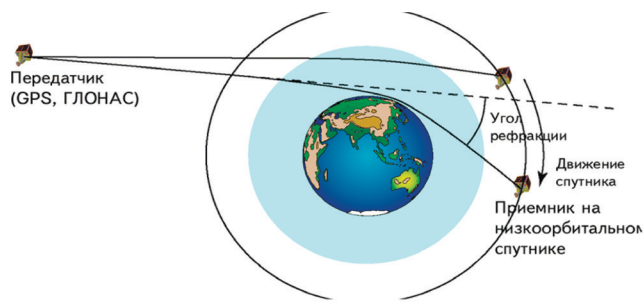


Рис. 2. Схема радиозатменного зондирования атмосферы Земли при помощи радиосигналов навигационных спутников.



а



б



в



г

Рис. 3. Самолет Cessna-citation-2: общий вид (а); борт с выступающим окном, пропускающим ультрафиолетовое излучение (б), установленный внутри салона лидар (в), носовая штанга с дополнительным оборудованием (г).



ОТДЕЛ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ

- ЛАБОРАТОРИЯ АТМОСФЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ (ЛАС)
- ЛАБОРАТОРИЯ ОПТИКИ И МИКРОФИЗИКИ АЭРОЗОЛЯ (ЛОМА)
- ЛАБОРАТОРИЯ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ АТМОСФЕРЫ (ЛГПА)
- СЕКТОР ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ (СДИСА)

ЛАБОРАТОРИЯ АТМОСФЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ (ЛАС)

Заведующий лабораторией —
д.ф.-м.н. А.А. Вигасин

История лаборатории

Лаборатория атмосферной спектроскопии (ЛАС) была образована в ИФА АН СССР в 1968 г. под руководством В.И. Дианова-Клокова, оставшегося на этом посту в течение последующих 20 лет. В ИФА В.И. Диановым-Клоковым были продолжены начатые им ранее исследования спектров атмосферного кислорода от далекого ИК до УФ диапазона. Работы В.И. Дианова-Клокова до сих пор широко цитируются в мировых публикациях по спектроскопии молекулярного кислорода. Большой вклад в развитие спектроскопических методов изучения атмосферы в ИФА внес Е.И. Гречко, заведовавший лабораторией с 1987 по 2024 г. В 2024 году руководство ЛАС перешло к А.А. Вигасину, который с 1984 года возглавлял теоретическую группу Лаборатории.

Основные направления деятельности

- Теоретическая спектроскопия атмосферных молекул, в том числе в планетных атмосферах.
- Проведение спектроскопических измерений и анализ данных по общему содержанию в атмосфере окиси углерода, водяного пара и метана в стационарных пунктах.
- Сбор и анализ информации о составе атмосферы, получаемой с помощью систем дистанционного спектроскопического зондирования.
- Разработка специального программного обеспечения для автоматического сбора и анализа орбитальной информации о составе атмосферы.
- Исследование разнопериодных вариаций и долговременных трендов состава атмосферы в урбанизированных и фоновых районах Евразии.

Основные результаты

Установлено, что полосы поглощения слабосвязанных комплексов кислорода необходимо учитывать при решении обратных задач атмосферного зондирования. Как и в случае кислорода, в спектре CO_2 также присутствуют слабо разрешенные полосы индуцированного поглощения. Проводившиеся в ЛАС работы по исследованию спектров поглощения CO_2 при высоких давлениях и температурах

вызвали большой интерес для моделирования условий венерианской атмосферы в 60-х–80-х гг., когда начались исследования атмосферы Венеры

с помощью космических аппаратов. Получен уникальный по объему и качеству массив данных о радиационных свойствах диоксида углерода высокой плотности.

1. Получены результаты лабораторных и натурных исследований континуального поглощения водяного пара. Сделано заключение о наиболее вероятной «димерной» природе континуального поглощения в атмосфере. Полосы поглощения димеров воды в равновесных условиях были идентифицированы лишь спустя сорок лет.

2. Впервые достоверно выявлен вклад ван-дер-ваальсовских димеров в формирование индуцированных полос поглощения CO_2 . Помимо этого, «отпечатки пальцев» димеров CO_2 были обнаружены в ИК и КР спектрах, полученных в свободно расширяющихся газовых струях. Основные представления о природе континуума водяного пара, сформулированные А.А. Вигасиным, физически обоснованы и широко используются в современных моделях континуума.

3. Сотрудниками ЛАС (А.А. Финенко, Д.Н. Чистиков, А.А. Вигасин и др.) развивается траекторный метод расчета индуцированных спектров, который является сегодня одним из лучших в мире для расчета индуцированных спектров многоатомных молекул. Основу этого подхода составляет использование высокоточных поверхностей электронной энергии и дипольного момента, полученных методами квантовой химии. Развитый в ЛАС метод траекторного расчета обладает высокой точностью и может быть реализован с использованием умеренных и широкодоступных вычислительных мощностей. Часть полученных в ЛАС результатов включена в международную базу данных HITRAN, являющуюся референсной для атмосферной спектроскопии. С помощью данного метода удалось с высокой точностью описать данные наблюдений космического аппарата Кассини в атмосфере Титана.

4. Важные результаты получены при моделировании условий палеоатмосферы Марса с учетом индуцированного поглощения, являющегося возможной причиной существования жидкой воды на поверхности Марса. Открытие магнитно-дипольного поглощения CO_2 в атмосфере Марса вызвало интерес к построению теории этого явления. В рабо-

тах сотрудников ЛАС такая квантовая теория была впервые построена. Теоретическая спектроскопия атмосферных молекул и их комплексов развивается в ЛАС с использованием методов классической и квантовой механики, статистики, квантовой химии и нейросетевых алгоритмов.

5. В ЛАС более 50 лет продолжают исследования пространственно-временных характеристик полей малых газовых примесей в атмосфере спектроскопическими методами. В советское время измерения проводились в морских и полевых экспедициях, в Антарктиде, на дрейфующей станции в Арктике. В работах В.И. Дианова-Клокова, И.П. Малкова, Е.И. Гречко и др. с борта самолета-лаборатории изучались характеристики пробегов фотонов в облаках при многократном рассеянии света.

6. В настоящее время натурные исследования ЛАС (выполняются группой под руководством В.С. Ракитина) включают проведение и анализ собственных спектроскопических измерений общего содержания в атмосфере оксида углерода, водяного пара и метана в пяти стационарных пунктах: ИФА РАН, Москва (с 1970 г.), Звенигородская научная станция (с 1968 г.), Высокогорная научная станция (г. Шаджатмаз, с 1986 г.), Зотино (Красноярский край, с 2008 г.) и Пекин (1992–2019 годы).

7. Проводится анализ информации о составе атмосферы, получаемой с помощью орбитальных приборов AIRS, OMI, MODIS, TROPOMI, OCO и наземных пунктов сетей атмосферного мониторинга NDACC, TCCON, AERONET. Анализ данных измерений позволяет, в частности, количественно охарактеризовать мощность выбросов от природных пожаров и оценить их влияние на состав атмосферы над Россией.

8. Проведена валидация и оценка качества измерений нескольких космических систем мониторинга (MOPITT, AIRS, MODIS, IASI, OMI, TROPOMI), разработан и зарегистрирован многофункциональный программный комплекс «TROPOMI tools», позволяющий производить обработку, валидацию и коррекцию орбитальной информации о составе и параметрах атмосферы. Разработаны методики фильтрации и коррекции спутниковых данных.

9. Исследованы тренды состава атмосферы в разных регионах Евразии. Получены оценки отклика трендов оксида углерода на климатические изменения и рост концентрации метана и предложена фотохимическая гипотеза, объясняющая переход атмосферного содержания оксида углерода к возрастанию в последние годы.

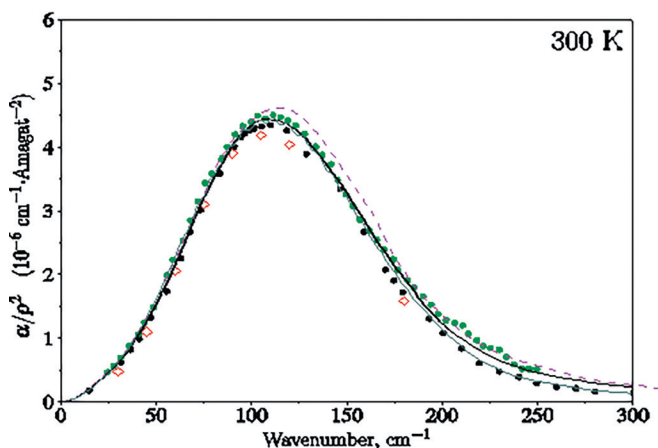


Рис. 1. Индуцированный спектр азота. Точки – эксперимент, сплошная линия – расчет.

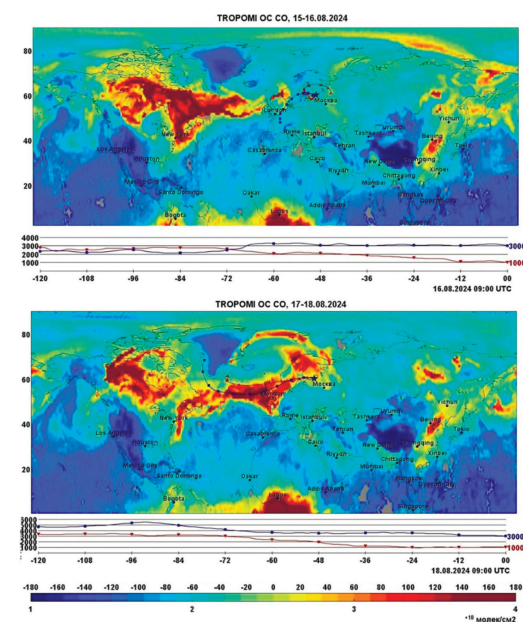


Рис. 2. Пример анализа эпизодов возмущений состава атмосферы над Россией с использованием орбитальной информации. Трансокеанский перенос CO из районов лесных пожаров в Северной Америке в 2024 г.

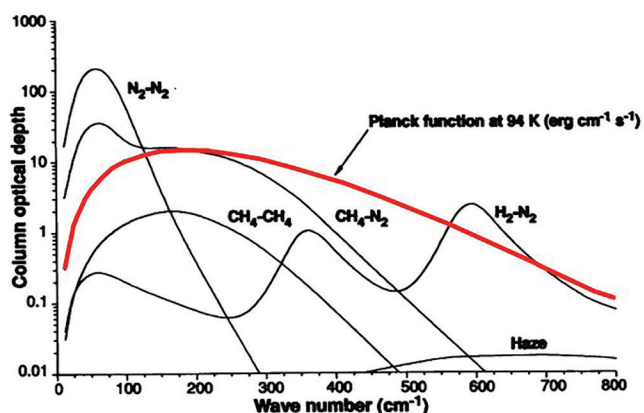


Рис. 3. Индуцированные спектры в атмосфере Титана.

ЛАБОРАТОРИЯ ОПТИКИ И МИКРОФИЗИКИ АЭРОЗОЛЯ (ЛОМА)

ЗАВЕДУЮЩИЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
Д.Ф.-М.Н. Г.И. ГОРЧАКОВ

История лаборатории

Лаборатория оптики и микрофизики атмосферного аэрозоля продолжает и развивает традиции исследования атмосферного аэрозоля, заложенные в Институте физики атмосферы АН СССР с середины 1950-х годов. Основоположником этого научного направления выступил профессор Георгий Владимирович Розенберг — выдающийся ученый-физик, создавший в 1956 году Лабораторию оптики рассеивающих сред.

Под руководством Г.В. Розенберга лаборатория стала одним из мировых центров изучения оптических свойств атмосферных аэрозолей и теории рассеяния света в дисперсных средах. В эти годы были заложены фундаментальные основы понимания взаимодействия электромагнитного излучения с аэрозольными частицами различной природы, формы и химического состава. Особое внимание уделялось исследованию микроструктуры аэрозоля, его пространственно-временной изменчивости и роли в радиационном балансе атмосферы. Работы лаборатории в этот период имели не только фундаментальное, но и важное прикладное значение для задач дистанционного зондирования, оптической связи и мониторинга чистоты атмосферы.

Основные направления

- Исследование процессов опустынивания (сальтация, электризация).
- Исследование эмиссии пылевого аэрозоля на опустыненных территориях: оптические и микрофизические характеристики пылевого аэрозоля в приземном слое и в толще атмосферы, вертикальные турбулентные потоки пылевого аэрозоля.
- Исследования крупномасштабных задымлений атмосферы (оптические и микрофизические характеристики дымового аэрозоля).
- Исследования аэрозольного загрязнения воздушного бассейна Московского региона.
- Исследование аэрозольного загрязнения атмосферы и его воздействия на окружающую среду в Арктике.

Основные достижения

1. Коллективом лаборатории получены фундаментальные результаты в области изучения оптических и микрофизических свойств различных типов атмосферного аэрозоля.

Проведен детальный анализ временной изменчивости концентрации черного углерода (black carbon, BC) в Московском регионе. Выявлены характерные периоды снижения и стабилизации концентрации BC, восстановлен средний суточный ход его содержания в приземном слое атмосферы мегаполиса. Эти данные имеют ключевое значение для оценки антропогенного воздействия на качество воздуха и радиационный баланс.

При исследовании дымового аэрозоля, образовавшегося в результате массовых лесных пожаров на Аляске в 2019 году, обнаружено аномальное селективное поглощение. Получены спектральные зависимости мнимой части коэффициента преломления дымового аэрозоля, что позволило уточнить модели радиационного воздействия продуктов горения биомассы на климатическую систему.

В ходе изучения плотных нефотохимических смогов Китая впервые обнаружены проявления коричневого углерода (на длине волны 440 нм) и селективного поглощения с максимумом на длине волны 1020 нм. Показано, что в плотных смогах доминирует тонкодисперсная фракция аэрозоля, определяющая их оптические свойства и влияние на видимость и радиационный форсинг.

Для пылевого аэрозоля установлено селективное поглощение в видимой области спектра на длине волны 675 нм, обусловленное присутствием минерала гётита ($\text{FeO} \cdot \text{OH}$). Определено, что в пылевом аэрозоле доминирует фракция частиц с модалным радиусом от 2 до 3 мкм, что важно для моделирования переноса пыли и ее осаждения.

2. Выполнен цикл работ по изучению физических механизмов, определяющих динамику ветропесчаного потока — ключевого процесса опустынивания и эмиссии пылевого аэрозоля. Детально исследована пылевая плазма, формирующаяся в ветропесчаном потоке, в которой заряжены как сальтирующие частицы, так и частицы пылевого аэрозоля и подстилающая поверхность. Показано, что распределение сальтирующих частиц на высотах более 2–3 см определяется высокоскоростными частицами, возникающими при электродинамической сальтации. На высотах свыше 9 см заметное влияние на профили концентрации начинает оказывать турбулентность, что проявляется в появлении характерных точек ветвления на нормированных профилях концентрации. Эти результаты существенно уточняют существующие представления о механизмах подъема и переноса минеральной пыли.

3. Впервые детально исследован вертикальный турбулентный поток пылевого аэрозоля

при всплесковой сальтации. Установлено, что поток ПА характеризуется выраженной низкочастотной перемежаемостью, которая отсутствует у турбулентного потока тепла. Показано, что скорость выноса пылевого аэрозоля при 30-минутном осреднении может достигать 16 см/с. Эти результаты имеют принципиальное значение для параметризации эмиссии пыли в климатических моделях и моделях переноса примесей.

4. С середины 1980-х годов сотрудники лаборатории проводят систематические исследования аэрозольного загрязнения Арктики, сочетая натурные измерения с модельными оценками. Первые экспериментальные данные об элементном составе аэрозоля были получены на архипелаге Северная Земля и острове Врангеля в 1984–1985 годах. Работы, продолжающиеся до настоящего времени, привели к следующим ключевым результатам:

- Установлено, что за период 1986–2016 годы в 2–3 раза уменьшилась частота переноса воздуха с материков к арктическим островам, что имеет важные последствия для условий существования наземных экосистем высокоширотных территорий.
- Оценен годовой баланс содержания антропогенных тяжелых металлов (ТМ) в слое перемешивания в пределах арктических широт. Показано, что потоки тяжелых металлов из атмосферы на поверхность морей Карского и Лаптевых сопоставимы с выносом тех же металлов впадающими в Северный Ледовитый океан крупными реками. Это свидетельствует о значительной роли атмосферного переноса в загрязнении арктических морей.
- Выполнены оценки пространственных вариаций загрязнения черным углеродом вдоль арктического побережья России. Дифференцированы вклады от лесных пожаров, факелов предприятий нефтедобычи и других антропогенных источников в зимний и летний периоды.
- Обнаружено, что резкое повышение концентрации черного углерода в воздухе в районе обсерватории «Тикси» совпадает с днями более высокой температуры как летом, так и зимой. Проведены оценки связанных с этим изменений радиационного баланса атмосферы.
- Проведенные в 2019–2020 годах измерения черного углерода в Печоро-Илычском заповеднике (западный склон Урала) подтвердили фоновый характер этого района при незначительном влиянии источников Южного Урала.
- На острове Врангеля выполнен анализ вкладов различных источников в загрязнение черным углеродом. Установлено,

что в годовом масштабе преобладают вклады от евразийских источников. В отдельные месяцы вклады с территории Америки от антропогенных источников и пожаров достигают 7 и 37 % соответственно.

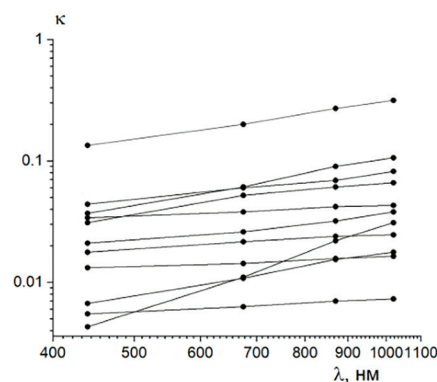
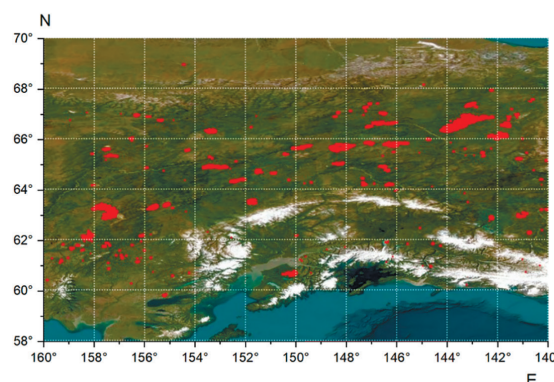


Рис. 1. Массовые лесные пожары на Аляске в 2019 г. (а) и спектральные зависимости мнимой части коэффициента преломления дымового аэрозоля (б).



Рис. 2. Годовой цикл содержания антропогенных тяжелых металлов в слое перемешивания в пределах арктических широт [2006–2007 гг.].

ЛАБОРАТОРИЯ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ АТМОСФЕРЫ (ЛГПА)

ЗАВЕДУЮЩИЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ —
К.Ф.-М.Н. К.Б. МОИСЕЕНКО

История лаборатории

В 1976 г. ИФА АН СССР был назначен головной организацией, ответственной за проведение полномасштабной научно-исследовательской работы (НИР), которая должна была дать ответ на все ключевые вопросы озонометрии – от возможности частичного или полного разрушения озонового слоя до его последствий для жизни человека. В ИФА была создана лаборатория газовых примесей (ЛГПА) под руководством Н.Ф. Еланского, которая сосредоточилась на изучении фундаментальных и прикладных задач в области физики и химии озона. В настоящее время сотрудники ЛГПА проводят исследования по широкому кругу проблем физики и химии атмосферы, опираясь на многолетний опыт подобных исследований, включая данные прямых измерений состава воздуха на действующих стационарных пунктах ИФА РАН в Москве, Московской области и Кавминводах, данные сезонных наблюдений в ЗOTTO, а также данные экспедиций.

Основные направления

- Проведение измерений газового и аэрозольного состава тропосферного воздуха с использованием стационарных и подвижных приборных комплексов.
- Численное моделирование транспортно-химических процессов в атмосфере с использованием глобальной модели GEOS-Chem и региональной химико-динамической модели WRF-Chem.
- Исследование процессов переноса и химической трансформации продуктов горения биомассы (лесных пожаров) и их влияния на тропосферную фотохимическую систему.
- Исследования процессов переноса и выпадения вулканического пепла при эксплозивных извержениях вулканов.
- Исследование процессов дальнего и регионального атмосферного переноса пыли и аэрозолей горения в зоны умеренных и высоких широт Европейской части России и его воздействия на физико-химические характеристики аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы.
- Анализ изменчивости микрофизических параметров, элементного состава и морфологической структуры приземных аэрозолей в условиях Московского мегаполиса с учетом синоптических и метеорологических условий, сезонов и специфических особенностей крупного города.

Основные достижения

1. Сотрудниками лаборатории созданы автоматизированные интегрированные комплексы аппаратуры для непрерывных измерений широкого спектра газовых и аэрозольных примесей, включая озон (O_3), оксид углерода (CO), диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), оксиды азота (NO_x), летучие органические соединения (ЛОС) и аэрозольные частицы. Разработанные комплексы объединяют приборы ведущих зарубежных и отечественных производителей и обеспечивают долговременные высококачественные наблюдения.

На их основе создана уникальная сеть наблюдений, включающая станции в Москве, Московской области (Звенигородская научная станция), районе Кавказских Минеральных Вод (Кисловодск и плато Шаджатмаз). В рамках партнерства с Институтом леса им. В.Н. Сукачёва проводятся измерения в обсерватории ZOTTO в бореальных лесах Средней Сибири. С 2015 года лаборатория регулярно участвует в арктических экспедициях на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Это позволило получить уникальные многолетние данные о составе воздуха в широком диапазоне условий — от экстремально загрязненной атмосферы Московского мегаполиса до фоновых районов Сибири и Арктики.

2. Выполнен цикл работ по изучению аэрозольного состава воздуха в Москве и области. Получены количественные оценки воздействия городских источников на уровни газового и аэрозольного загрязнения. Установлено, что локальные пылевые источники способны создавать эффект «пыльной мглы» — резкий и аномально высокий рост концентрации аэрозолей, сопоставимый по величине с содержанием аридного аэрозоля над опустыненными территориями Северного Прикаспия.

Детальный анализ элементного состава приземного аэрозоля в Москве показал повышенные концентрации не только литофильных элементов природного происхождения, но и потенциально токсичных элементов техногенной и смешанной природы (тяжелые металлы, металлоиды). Это указывает на дополнительные экологические риски для городской среды и здоровья населения.

3. На основе данных обсерватории ZOTTO и новейшей карты растительности проведено уточнение величин выбросов продуктов горения для различных типов бореальных лесов Сибири. Исследовано влияние эмиссий от природных пожаров на состав воздуха в атмосферном пограничном слое над Северной

Евразией. Получены соотношения концентраций CH_4/CO в шлейфах пожаров по данным наблюдений в ZOTTO (2012 г.) и в экспедициях TROICA (2005, 2007 гг.). Эти данные позволили уточнить характеристики эмиссий в зависимости от типа горения и растительности, что важно для моделирования атмосферных процессов и оценки вклада пожаров в изменение климата.

4. Впервые на основе инструментальных данных и расчетов по транспортно-химическим моделям получены систематические оценки вклада антропогенных эмиссий и природных пожаров в фоновое содержание химически активных и парниковых газов в тропосфере над континентом. Установлено увеличение фоновых уровней CO , O_3 и NO_x в атмосферном пограничном слое в зависимости от приращения эмиссий CO в Сибири (регион $60\text{--}150^\circ$ в.д.). Эти результаты имеют ключевое значение для понимания антропогенного воздействия на атмосферу регионов, традиционно считающихся экологически чистыми.

5. Получены количественные оценки эффективности производства озона в расчете на одну молекулу NO_x — ключевого параметра для понимания фотохимических процессов в тропосфере. На основе измерений в обсерваториях ZOTTO и «Фоновая» определены времена жизни нечетного азота (τN) в зависимости от концентрации NO_x в различные месяцы. Показано, что региональные эмиссии предшественников озона (в первую очередь оксидов азота) играют ключевую роль в фотохимической генерации озона и других вторичных соединений в атмосферном пограничном слое над бореальными лесами центральной и южной Сибири. Это важный вывод, поскольку данные территории традиционно относились к регионам с минимальным антропогенным воздействием, однако полученные результаты демонстрируют значительное влияние регионального переноса загрязнений на их атмосферный состав.

Совокупность полученных результатов представляет собой крупный вклад в понимание механизмов формирования газового состава атмосферы над территорией России, от мегаполисов до удаленных арктических и сибирских регионов, и создает основу для совершенствования климатических моделей и прогноза качества воздуха.

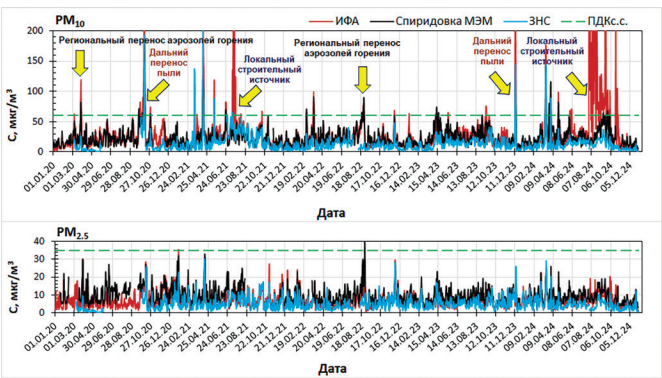


Рис. 1. Временной ход среднесуточной массовой концентрации аэрозолей в Московском регионе по данным наблюдений ИФА РАН и на АСКЗА «Спиридовка» ГПБУ «Мосэкомониторинг».

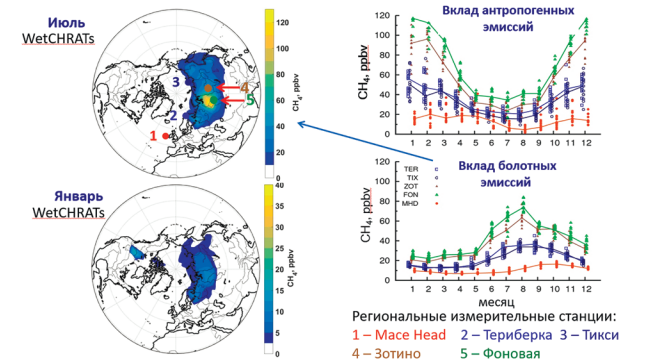


Рис. 2. Вклад природных и антропогенных эмиссий на территории России в атмосферную концентрацию метана (2007–2024 гг.).

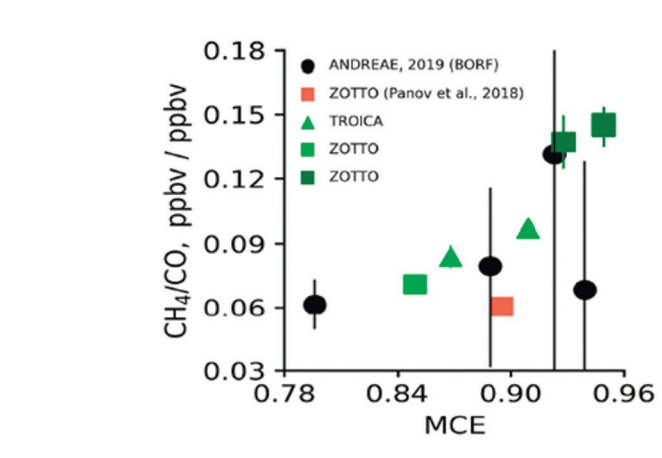


Рис. 3. Отношение концентраций CH_4/CO в шлейфах пожаров в ZOTTO в 2012 г и в экспедициях TROICA в 2005 и 2007 гг. в зависимости от $\text{MCE}=(1+\text{CO}/\text{CO}_2)\cdot 1$.

СЕКТОР ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ (СДИСА)

ЗАВЕДУЮЩИЙ СЕКТОРОМ —
К.Ф.-М.Н. А.Н. БОРОВСКИЙ

История сектора

Сектор создан в 2013 году. Основная цель исследований – разработка методических основ дистанционного оптического зондирования состава атмосферы и антропогенных источников атмосферных примесей, а также и других, связанных с ними характеристик, используемых при химико-транспортном моделировании.

Основные направления

- Разработка технологий дистанционных измерений содержания газовых примесей и аэрозоля атмосферы оптическими методами (подготовка измерительной аппаратуры, разработка методов дистанционных измерений с поверхности Земли и из космоса).
- Моделирование радиационных процессов в атмосфере.
- Разработка методов решения обратных задач оптики атмосферы.
- Организация и проведение измерений содержания газовых примесей и аэрозоля атмосферы дистанционными и контактными методами.
- Анализ пространственно-временной изменчивости содержания газовых примесей и аэрозоля атмосферы.
- Методическое и экспериментальное обеспечения валидационного полигона космических средств ДЗЗ на Кисловодской научной станции института.

Основные достижения

Сектор дистанционного исследования состава атмосферы (СДИСА) специализируется на разработке методических основ дистанционного зондирования атмосферы с использованием спектральных оптических измерений, а также на оценивании распределений источников атмосферных примесей и других характеристик, используемых в химико-транспортных моделях. Исследования охватывают широкий спектр задач: от создания аппаратуры и

методов измерений до анализа пространственно-временной изменчивости состава атмосферы и валидации космических средств дистанционного зондирования.

1. Сотрудниками сектора созданы методы восстановления содержания малых газовых составляющих атмосферы по спектральным измерениям рассеянного солнечного излучения. В основе подхода лежит метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (DOAS), позволяющий выделять вклады различных газов, обладающих характерными спектрами поглощения. Для учета вклада отдельных слоев атмосферы в измеряемую эффективную толщину газа разработана линеаризованная модель переноса радиации, адаптированная для решения обратных задач.

Особое внимание уделено многоугловому зондированию, при котором набор измерений, выполненных при различных углах, дает возможность восстанавливать вертикальное распределение примесей. В настоящее время в секторе развиты методы определения интегрального содержания и вертикальных профилей двуокиси азота (NO_2) и формальдегида (HCHO) в нижней тропосфере по зенитным и многоугловым измерениям спектров рассеянного излучения. Ведется также разработка методик для определения содержания глиоксала и азотистой кислоты — соединений, служащих индикаторами интенсивности фотохимических процессов с участием летучих органических соединений. Эти работы имеют прямое отношение к контролю качества воздуха и пониманию механизмов фотохимического смога.

2. С 2016 года сектор активно использует данные гиперспектральной аппаратуры (ГСА), установленной на российских спутниках серии «Ресурс-П». Сотрудниками разработан оригинальный алгоритм восстановления распределения содержания NO_2 в тропосфере по данным ГСА, обеспечивающий рекордно высокое горизонтальное пространственное разрешение: 2,4 км с представлением на сетке 120 м. Это существенно превосходит возможности лучших зарубежных систем: OMI/Aura (NASA, разрешение 13×24 км) и TROPOMI/Sentinel-5P (ESA, 7×7 км).

Для корректной обработки получаемых сверхдетальных полей и интерпретации тонкой пространственной структуры примесей в секторе созданы аналитические и численные химико-транспортные модели, адаптированные для моделирования на сетке с шагом 120 м. Это позволило перейти от региональных оценок к локализации конкретных источников загрязнения.

3. Высокое разрешение данных ГСА/Ресурс-П впервые в мировой практике дало возможность идентифицировать по космической съемке шлейфы, исходящие от отдельных промышленных предприятий. На основе разработанных методов выполнен анализ района с повышенным антропогенным загрязнением вблизи города Синтай (Китай). Удалось выделить вклад крупного химического предприятия China Risun Group Limited в общее содержание NO_2 в регионе и оценить его эмиссии. Этот результат демонстрирует принципиально новые возможности космического мониторинга для контроля соблюдения природоохранных норм и инвентаризации источников загрязнения на локальном уровне.

4. На базе Высокогорной научной станции института создан и поддерживается валидационный полигон космических средств дистанционного зондирования. Здесь проводятся систематические наземные спектральные измерения, служащие эталоном для верификации спутниковых данных. В частности, детально исследована изменчивость вертикального распределения NO_2 над различными районами г. Кисловодска, что позволяет учитывать особенности орграфии и локальных источников при интерпретации космических измерений.

5. Для корректного учета влияния облачности на результаты дистанционного зондирования в секторе разрабатываются методы определения параметров облачного покрова по спектральным и сопутствующим наземным измерениям. Эти данные используются как для коррекции спутниковых наблюдений, так и для валидации климатических моделей. Модели переноса радиации, созданные в секторе, ориентированы на решение обратных задач и обеспечивают высокую точность восстановления газового состава даже в сложных условиях (наличие аэрозоля, переменная облачность).

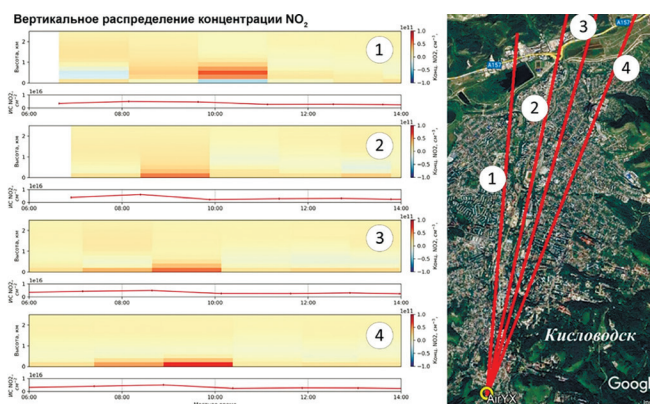


Рис. 1. Изменчивость вертикального распределения концентрации NO_2 над разными районами г. Кисловодска.

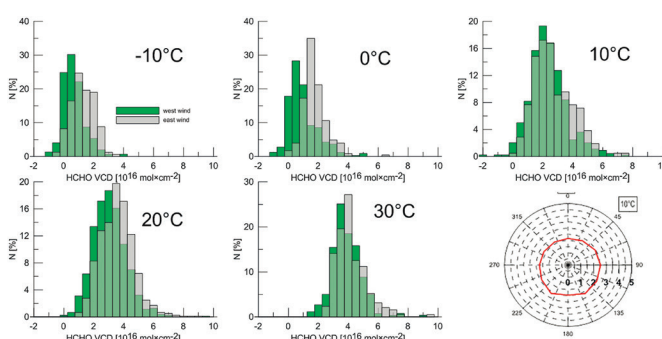


Рис. 2. Распределение интегрального содержания формальдегида (HCHO) в пограничном слое атмосферы на Звенигородской научной станции при восточном и западном ветрах (более 2 м/с) при различных температурах.



Рис. 3. Макет стереоустановки для определения высоты нижней границы облачности на крыше ИФА РАН.



НАУЧНЫЕ СТАЦИОНАРЫ

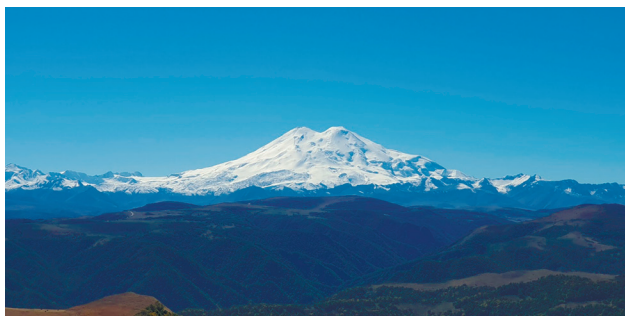
- ЗВЕНИГОРОДСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ



- ЦИМЛЯНСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ



- ВЫСОКОГОРНАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ



ЗВЕНИГОРОДСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ

История Звенигородской научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН связана с Геофизическим институтом АН СССР. Её строительство на двух участках вблизи Звенигорода у деревень Луцыно и Новошихово началось в 1953 году в рамках Стратосферной комплексной экспедиции. И место было выбрано неслучайно: площадки располагались на возвышенностях в одном из самых чистых мест Подмосковья в отсутствие промышленных предприятий и светового загрязнения. Именно здесь в 1951 году были получены одни из первых в мире фотографий серебристых облаков. Первые годы деятельности станции, организация и развитие наблюдений состояния свободной атмосферы и распределения в ней примесей связаны с именем выдающегося советского учёного-геофизика, папанинца, академика РАН Е.К. Федорова. После реорганизации ГЕОФИАН и образования в 1956 г. Института физики атмосферы АН СССР Звенигородская станция была закреплена за ИФА и стала главной базой для экспериментальных исследований института. Уже в 1957 году станция получила статус одного из важнейших советских полигонов по проведению исследований в рамках Международного геофизического полярного года. На станции появились аппаратные комплексы для изучения свечения ночного неба, оптики атмосферного аэрозоля, распространения света и звука в атмосфере.

Постепенно станция превратилась в научный поселок, обладающей всей необходимой инфраструктурой для проведения масштабных научных исследований. В 1970–1980-е годы на ЗНС проводились эксперименты по сравнению приборов для измерения характеристик атмосферной турбулентности, исследованию концентраций малых газовых примесей и аэрозолей в атмосфере, атмосферной спектроскопии, по физике взрыва и исследованию распространения инфразвука, радиоволн и света в атмосфере, по изучению процессов в верхней атмосфере. В 1990-е годы станция стала полигоном для проведения международных радиационно-облачных экспериментов. Исследования вариаций содержания газовых примесей проводятся на Звенигородской научной станции с 1970 г. и являются самыми продолжительными в мире, более 30 лет проводятся исследования структуры атмосферной турбулентности с использованием акустических локаторов – содаров. Уникальные исследования верхней атмосферы дали информацию о её сложной динамике, в том числе существовании внутренних гравитационных волн, и позволили сделать вывод об отрицательном тренде её температуры за последние десятилетия.



*Корпуса
станции:*

флуктуационный,

оптический,

*«верхняя
атмосфера»,*

*метеорологиче-
ская площадка.*



В настоящее время станция имеет три научных полигона общей площадью 32 Га: основную территорию, полигон по исследованию верхней атмосферы и земельный участок в районе п. Шарапово. Находясь в непосредственной близости к Москве, Звенигородская научная станция является фоновым полигоном для оценки экологического состояния мегаполиса. Также исследования на станции представляют интерес для определения источников загрязнения воздуха, прогноза опасных метеорологических явлений, оценки климатических изменений в регионе.

На станции проводятся следующие исследования:

- мониторинг газового состава атмосферы (в том числе спектроскопические наблюдения), включая газовые примеси (NO_2 , NO , O_3 , H_2CO , CO , CO_2 , $\delta_{13}\text{C}$, CH_4 , H_2O , летучие органические соединения);
- мониторинг аэрозольного состава атмосферы (Счетная и массовая концентрация, распределение по размерам аэрозольных частиц с $d=0.15-20$ мкм, элементный состав, геохимический профиль);
- исследование состава, структуры и динамики верхней атмосферы;
- акустические исследования (флуктуации атмосферного давления, вертикальный профиль скорости и направления ветра, атмосферная турбулентность);
- исследования структуры и динамики пограничного слоя атмосферы, включая вертикальные профили температуры и влажности, потоки тепла, импульса и климатически активных газов, высоту облачности, радиационный баланс и общий тепловой баланс в приземном слое атмосферы;
- метеорологические исследования; разработка методик прогноза опасных метеорологических явлений.

На станции работает полигон по измерению структуры атмосферного пограничного слоя в неоднородном рельефе, который включает непрерывные профильные измерения метеопараметров и атмосферной турбулентности. Данные измерений используются для разработки математических моделей Земной системы. Продолжаются работы по атмосферной спектроскопии и измерению состояния верхней атмосферы, а также систематические измерения содержания малых газовых компонент атмосферы и содержания и свойств аэрозоля. ЗНС – единственная в мире станция, где определяется вертикальный профиль двуокиси азота в стратосфере. Полигон «Верхняя атмосфера» расположен на удалении от дорог и жилых построек и позволяет проводить фоновый мониторинг газового состава атмосферы и потоков климатически активных газов. Также на полигоне производится климатически важный мониторинг аэрозольного состава верхних слоев атмосферы с использованием аэрозольного лидара.



Приборный комплекс для измерения параметров пограничного слоя атмосферы:

температурный метеорологический профилемер,

радиометр водяного пара.

Мачта для турбулентных измерений и метеорологическая площадка, содары (акустические локаторы).



Данные измерений состава атмосферы на ЗНС используются для валидации спутниковых измерений и результатов химико-транспортного моделирования, а также для оценки качества воздуха. Ассимиляция данных химико-транспортными моделями позволяет выявлять источники загрязнения атмосферы, оценивать и уточнять их эмиссии, а также прогнозировать качество воздуха региональной атмосферы.

ЗНС включена в международную сеть по обнаружению изменений состава атмосферы NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change). Возможности станции востребованы сторонними организациями, в том числе организациями Росгидромета. На станции расположен наблюдательный пункт Мосэкомониторинга и автоматическая станция Росгидромета системы «Штормовое кольцо».



ЦИМЛЯНСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ

30 августа 1955 года Постановлением правительства СССР было принято решение выделить тогда еще Геофизическому институту АН СССР, в результате реорганизации которого несколько месяцев спустя будет создан Институт физики атмосферы, участок земли на окраине г. Цимлянска в Ростовской области для создания специализированного полигона по исследованию атмосферной турбулентности. Площадка обеспечивала уникальное сочетание климатических условий с устойчивыми летними антициклонами и характера местности, представляющей собой плоский ландшафт с ветровым разгоном более 2 км над однородной поверхностью при преобладающих северном и северо-восточном направлениях ветра, что создаёт создает благоприятные условия для проведения регулярных измерений турбулентности и связанных с ней или обусловленных ею явлений в приземном слое атмосферы.

Задачи экспериментальных работ станции были связаны:

- с совершенствованием схем долгосрочного прогноза погоды, моделей общей циркуляции атмосферы и развиваемых на их основе моделей климата;
- с особым вниманием к вопросам турбулентной диффузии примесей в атмосфере;
- с увеличением объемов строительства высотных сооружений и конструкций;
- с потребностями авиации, особенно в связи с задачами взлета и посадки самолетов;
- с существенной ролью турбулентности при распространении света в атмосфере, и в частности, лазерного излучения и др.
- с развитием теории атмосферной турбулентности и теории подобия для приземного слоя атмосферы;
- с созданием принципиально новых методов измерений пульсаций скорости ветра, температуры, влажности и методов статистической обработки результатов измерений.

С первых же лет существования станция стала уникальной площадкой для тестирования научного оборудования, проверки теоретических построений и разработки новых теорий, исследования атмосферных процессов. Наряду с экспериментами в Канзасе и Австралии измерения 60-х годов на ЦНС внесли значимый вклад в определение универсальных функций теории подобия Монина – Обухова, необходимых для расчета характеристик турбулентного перемешивания в пограничном слое атмосферы.

В 1970 г. Цимлянский полигон вошел в состав полигонов международного проекта ITCE

(International turbulence comparison experiment), основной целью которого было сравнение различных приборов и устройств для измерения турбулентности и обработки данных, и определение точности моделей для оценки турбулентных потоков. К тому времени во многих странах было разработано множество приборов для измерения турбулентных флуктуаций в приземном слое атмосферы с целью определения турбулентных потоков методом турбулентных пульсаций.



Одной из важных методических задач, решавшихся на ЦНС, были полевые испытания новых методов и приборов, создаваемых для исследований характеристик атмосферы. Так, здесь впервые испытаны акустические анемометры, разработанные под руководством В.М. Бовшеверова. Здесь же в полетах над ЦНС проведены первые испытания акустических анемометров в самолетном варианте и получены первые данные измерений с их помощью пульсаций вертикальной компоненты скорости ветра. Были получены и первые результаты прямых измерений турбулентных потоков тепла и количества движения в приземном и пограничном слоях атмосферы с мачты и с борта самолета.

В 1958 г. на ЦНС М.А. Каллистратовой были проведены первые опыты по рассеянию звука на турбулентных неоднородностях, в приземном слое атмосферы. Результаты этих работ послужили основой развития новых дистанционных методов акустического зондирования атмосферы (содары), находящих все более широкое применение в исследованиях атмосферного пограничного слоя и в практических применениях. Методика содарного зондирования также отработывалась, в основном, на ЦНС, в тесном взаимодействии с измерениями микрометеорологических параметров на мачтах.

Многочисленные синхронные измерения турбулентных потоков тепла (ТПТ) у поверхности земли и по всей толщине АПС позволили построить модель для расчетов ТПТ во всем этом слое в условиях неустойчивой стратификации по данным измерений профилей скорости ветра и температуры в приземном слое. Аналогичные измерения потоков импульса позволили получить в этих же условиях безразмерные профили этих потоков во всем АПС.

С первых дней работы на ЦНС там проводились систематические исследования процессов распространения света в турбулентной атмосфере. Эти исследования, начатые еще до появления лазеров, значительно активизировались в 1960-х гг. в связи с бурным развитием лазерной техники.

Здесь же на ЦНС были впервые проведены исследования распространения света в области сильных флуктуаций, приведшие к открытию явления насыщения флуктуаций интенсивности света при увеличении длины трассы или интенсивности пульсаций температуры.

Были подтверждены теоретические предположения А.М. Обухова и В.И. Татарского о роли флуктуационных явлений при распространении звуковых и электромагнитных волн в турбулентной атмосфере, что значительно способствовало последующему развитию уточнению теоретических и практических формул и методик.



Впервые была отработана пионерская методика измерений турбулентной завихренности и компонент потока вихря,

В настоящее время ЦНС является востребованным полигоном для проведения фундаментальных и прикладных исследований с развитой инфраструктурой.

На станции ежегодно в весенне-летний период работают комплексные экспедиции по исследованию структуры и динамики пограничного слоя атмосферы, атмосферной турбулентности, атмосферного электричества, распространения и эмиссии аэрозоля.

Организован круглогодичный мониторинг теплофизических свойств поверхности, динамики приземного слоя атмосферы и аэрозольного состава. Проходят студенческие учебные практики МГУ и ВШЭ. В последние годы станция стала базой для работ по исследованию гидрохимии Цимлянского водохранилища.

История станции продолжается. 12 августа 2025 года на заседании Экспертного совета при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса (№ приказа ДС/115-пр) было одобрено предложение о создании и функционировании степного карбонового полигона в Ростовской области на базе Цимлянской научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН.



КИСЛОВОДСКАЯ ВЫСОКОГОРНАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ

История Кисловодской высокогорной научной станции (ВНС) берёт начало в 1971 г., когда сотрудники Института физики атмосферы (ИФА) впервые организовали экспедиционные исследования на плато Шаджатмаз под руководством Ю.Л. Трутце. Эти фотометрические измерения заложили основу для будущей обсерватории. Идея создания стационара принадлежала основателю и директору ИФА, академику Александру Михайловичу Обухову, который оценил уникальные преимущества этого места для проведения атмосферных наблюдений. Благодаря его инициативе, 30 июня 1978 года Президиум АН СССР принял Постановление № 827 о создании Высокогорной научной станции ИФА АН СССР, что считается официальной датой рождения ВНС. Под руководством А.М. Обухова были развернуты исследования параметров ионосферы, CO, H₂O, орографических возмущений. Начавшиеся в 1979 г. на ВНС непрерывные измерения общего содержания озона и двуокиси азота продолжают в настоящее время.

Станция расположена в зоне альпийских лугов на плато Шаджатмаз к северу от Главного Кавказского хребта на высоте 2070 м над уровнем моря. Пологий северный склон способствует умеренному развитию горно-долинной циркуляции. Благодаря этому станция слабо подвержена антропогенному влиянию ближайшего города Кисловодска, который расположен в 18 км южнее станции.

Уникальное расположение и высокое качество измерений способствует тому, что данные ВНС отражают состояние свободной региональной тропосферы, демонстрируют чувствительность к важным тонким атмосферным эффектам и могут использоваться для решения фундаментальных и прикладных задач. Основные задачи, решаемые на ВНС:

- изучение временной изменчивости фоновых концентраций химически активных и климатически важных газовых примесей и аэрозолей, радиационных и метеорологических характеристик атмосферы;
- исследование влияния горного рельефа на структуру и динамику атмосферы и на перенос энергии и перераспределение вещества в атмосфере;
- отработка новых методов и приборов для измерений характеристик атмосферы;
- валидация спутниковых измерений характеристик атмосферы и подстилающей поверхности;
- изучение динамики экоресурсов ландшафтно-климатических курортов.



г. Эльбрус сквозь полусферу спектрофотометра Брюера.

Автономный метеорологический комплекс на ВНС.

Измерительная площадка и лабораторный корпус на фоне г. Эльбрус.

Особенности расположения станции позволяют исследовать влияние на изменчивость (в т.ч. на долговременные вариации) озона и других газовых и аэрозольных примесей, синоптических процессов, внутренних гравитационных волн орографического происхождения, фёнов, стратосферно-тропосферного обмена, воздухообмена между пограничным слоем и свободной тропосферой, процессов дальнего переноса примесей, долговременных вариаций циркуляционных процессов. ВНС входит в Мировую озонметрическую сеть (станция № 282) и Глобальную сеть мониторинга состава атмосферы Global Atmospheric Watch (GAW WMO).

Для контроля возможных выносов загрязнений на ВНС со стороны населенной Минераловодской наклонной равнины в городе Кисловодске организована измерительная площадка, включающая в себя оборудование для измерений приземной концентрации химически активных и климатически важных газовых примесей атмосферы и аэрозоля. В 20-х гг XXI в. городской измерительный комплекс модернизирован и расширен оборудованием для мониторинга параметров пограничного слоя и измерений общего содержания и вертикального распределения газовых примесей и аэрозоля атмосферы. Данные этих измерений являются основой для мезомасштабного моделирования переноса газовых и аэрозольных примесей в регионе, а также для исследований структуры и динамики атмосферного пограничного слоя.

Результаты совместных измерений в городе и на ВНС используются для решения комплекса междисциплинарных задач, связанных с мониторингом состояния атмосферы и состояния здоровья человека, прогнозированием биотропных климатических факторов и факторов загрязнения, объективной регистрацией метеопатических реакций (реакций организма на негативное воздействие комплекса погода-экология), а также с оценкой влияния аэрозольного загрязнения атмосферы на локальные рекреационные экосистемы (парки и другие рекреационные зоны) курортных горных регионов.



Городская измерительная площадка: автономный метеорологический комплекс для мониторинга параметров пограничного слоя и система для измерения вертикального распределения и общего содержания газовых примесей и аэрозоля в атмосфере.

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ РАН. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

Первый номер журнала «Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана» (ФАО) вышел в январе 1965 года, он стал продолжателем традиции издания Академией наук СССР геофизических журналов. Предтечи ФАО – «Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая» (1937–1950 гг.) и «Известия АН СССР. Серия геофизическая» (1951–1964 гг.)

Главным редактором ФАО со дня основания журнала и до 1989 года был директор Института физики атмосферы АН СССР академик Александр Михайлович Обухов. Под его руководством журнал стал одним из ведущих геофизических журналов не только в СССР, но и в мировой научной периодике. С 1965 года, сначала ответственным секретарём редколлегии (до 1984 г.), заместителем главного редактора (1984–1989 гг.), а затем в течение тридцати трех лет главным редактором журнала был академик Георгий Сергеевич Голицын. В начале 2023 года по решению Бюро Отделения наук о Земле РАН он стал председателем редакционного совета журнала, а главным редактором журнала – академик Игорь Иванович Мохов. С 2026 должность главного редактора журнала занял академик Владимир Анатольевич Семенов.

С самого начала издания журнала его редколлегия объединяла ведущих специалистов страны в области физики атмосферы и океана и смежных наук. В первоначальный состав редколлегии вошли: академик В.В. Шулейкин, члены-корреспонденты АН СССР И.А. Кибель, Г.И. Марчук, А.М. Обухов (главный редактор), член-корреспондент АН УССР А.Г. Колесников, доктора физ.-мат. наук К.Я. Кондратьев, Л.М. Левин, А.С. Монин, Г.В. Розенберг, В.В. Штокман, М.И. Юдин, доктора геогр. наук В.А. Бугаев и А.Х. Хргиан, заместителем главного редактора редколлегии был кандидат физ.-мат. наук С.В. Доброклонский, а ответственным секретарем кандидат физ.-мат. наук Г.С. Голицын.

В обращении редакционной коллегии к читателям первого номера журнала сказано: «Быстрое развитие физико-математических наук и, в частности, геофизики в нашей стране привело к тому, что рамки журнала «Известия АН СССР. Серия геофизическая» стали тесны для материала, поступающего в портфель редакции. С каждым годом намечается всё большая и большая специализация отдельных отраслей геофизики. В связи с этим возникла необходимость разделить геофизическую серию «Известий» на две серии: «Серия – Физика атмосферы и океана» и «Серия – Физика Земли».

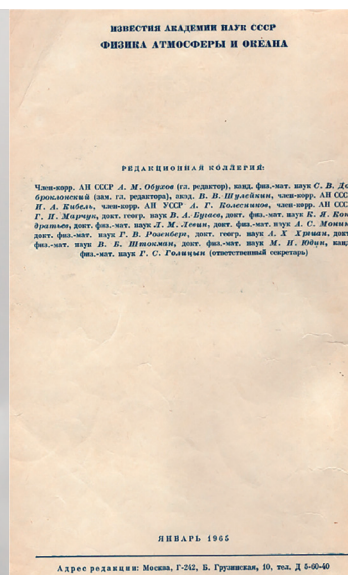
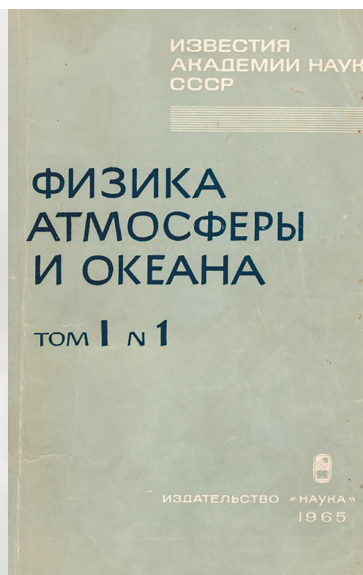
Вместе с тем сохраняется полная преемственность между соответствующими разделами старой серии и специализированными геофизическими сериями, которые выходят в свет, начиная с января 1965 года». Уже в 1965 г. было сформулировано, что основное внимание журнал будет уделять исследованиям, посвященным изучению физических явлений в атмосфере и океане, определяющих климат, погоду и их изменения – в частности, процессов взаимодействия океана и атмосферы, и что одна из основных задач журнала – обсуждение вопросов численного прогноза погоды и его физических основ.

За шестьдесят лет существования журнала в нем опубликованы тысячи статей российских ученых, авторов из ближнего и дальнего зарубежья. В настоящее время «Известия РАН. Физика атмосферы и океана» – высокорейтинговый журнал, публикующий оригинальные научные исследования и обзоры в области физики атмосферы и океана, климатических процессов и явлений. Он рассчитан на научных работников, аспирантов и студентов. Членами редколлегии, редакционного совета, авторами и рецензентами и авторами журнала являются ведущие ученые России и других стран.

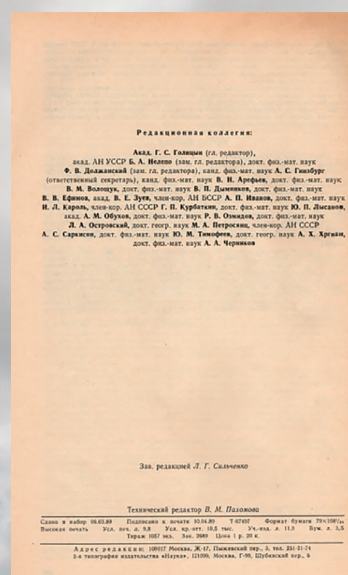
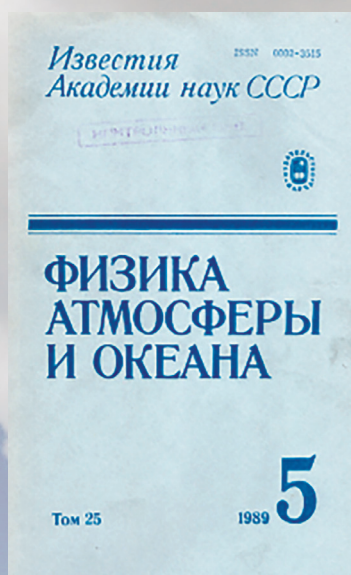
Публикации журнала посвящены результатам теоретических и экспериментальных исследований и численного моделирования состояния и циркуляции атмосферы и океана, естественных и антропогенных изменений климата, гидродинамики газовых и водных сред, взаимодействия атмосферы с океаном и земной поверхностью, турбулентных и радиационных процессов, теплового баланса и оптических свойств атмосферы и океана.

В последние годы в журнале стало публиковаться больше статей, посвящённых таким актуальным темам как: климат Арктики, эмиссия и бюджет парниковых газов, адаптация к изменению климата, стратегия низкоуглеродного развития.

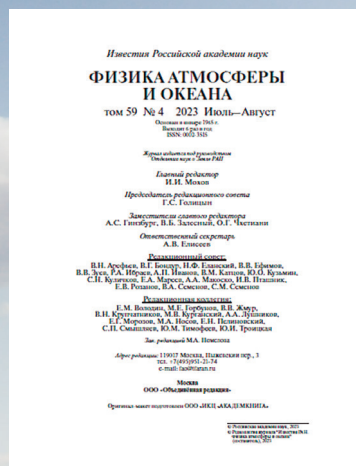
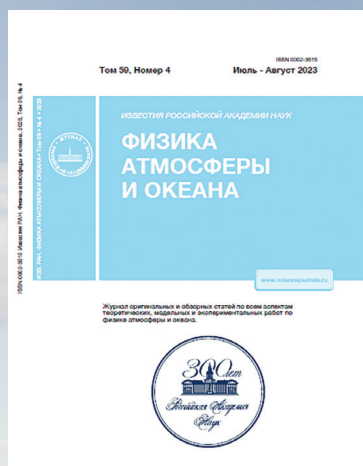
В англоязычной версии журнала «Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics», которая издается с 1967 года, в настоящее время публикуются переводы статей из российских научных журналов «Исследования Земли из космоса» (главный редактор академик В.Г. Бондур), «Геофизические процессы и биосфера» (главный редактор доктор физ.-мат. наук Ю.О. Кузьмин), «Фундаментальная и прикладная климатология» (главный редактор член-корреспондент РАН С.М. Семенов) и «Лед и снег» (главный редактор академик В.М. Котляков).



Обложка и титульный лист первого номера журнала – январь 1965 года. Главный редактор А.М. Обухов.



Обложка и титульный лист журнала – май 1989 года. Главный редактор Г.С. Голицын



Обложка и титульный лист журнала – июль-август 2023 года. Главный редактор И.И. Мохов

КОНФЕРЕНЦИИ И ШКОЛЫ

Для Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН проведение научных конференций и школ молодых ученых представляет собой одну из ключевых форм реализации его научной политики. Такие мероприятия позволяют не только представить передовые результаты исследований, но и играют важнейшую роль в создании кадрового потенциала: конференции обеспечивают преемственность научных школ, создают среду для профессионального становления начинающих исследователей и способствуют привлечению талантливой молодежи в сферу климатических и атмосферных исследований.

Начиная с 2018 года Научный совет Российской академии наук по проблемам климата Земли, Отделение наук о Земле РАН и Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН организуют Всероссийскую конференцию с международным участием «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» («КЛИМАТ»). Мероприятие нацелено на представление и всестороннее обсуждение актуальных результатов фундаментальных и прикладных исследований в области климатических изменений, а также на объединение междисциплинарных научных коллективов, представителей государственного управления и коммерческого сектора для выработки согласованных подходов к оценке климатических рисков и механизмов адаптации.

В соответствии с Климатической доктриной Российской Федерации проблема изменения климата рассматривается как одна из важнейших междисциплинарных задач, находящейся на стыке экологической, экономической и социальной сфер и имеющей прямое отношение к долгосрочной безопасности страны. Актуальность проведения Конференции обусловлена высокой скоростью происходящих изменений климатической системы, выражающихся в устойчивом росте глобальной приповерхностной температуры, деградации морских льдов, ледников суши и многолетнемерзлых грунтов, повышении уровня Мирового океана, а также в увеличении интенсивности и повторяемости экстремальных гидрометеорологических явлений.

Программа Конференции включает работу по шести тематическим направлениям: 1) климатические процессы и изменения: механизмы, предсказуемость, экстремальные режимы; 2) моделирование климатической системы Земли и её изменений в прошлом, настоящем и будущем; 3) экологические и социально-экономические последствия климатических изменений, риски и возможности; 4) проблемы адаптации к изменениям климата; 5) проблемы регулирования и смягчения антропогенных воздействий

на климат, углеродная нейтральность; 6) прикладные и технологические аспекты проблемы изменений климата. В рамках Конференции традиционно проводится конкурс лучших докладов молодых учёных, а также пресс-конференция для представителей средств массовой информации.

Всероссийская конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата» проводится институтом раз в два года и является одним из ключевых научных мероприятий в области гидродинамики и геофизики. Конференция посвящена памяти выдающегося ученого, академика АН СССР, лауреата Государственной премии СССР Александра Михайловича Обухова (1918–1989), чьи работы заложили фундамент современной теории турбулентности, динамической метеорологии и физики атмосферы. Мероприятие объединяет специалистов в области геофизической гидродинамики, общей циркуляции атмосферы, физики пограничных слоев, распространения волн в атмосфере, а также вопросов состава атмосферы и переноса примесей. В рамках конференции обсуждаются как фундаментальные проблемы турбулентности и предсказуемости атмосферных процессов, так и прикладные аспекты, связанные с моделированием климатической системы и динамикой природных сред. Регулярное проведение конференции обеспечивает преемственность научных школ, развитие междисциплинарных исследований и укрепление профессионального сообщества, что особенно значимо для института, носящего имя А.М. Обухова, и для всей российской науки об атмосфере и климате.

В рамках российско-китайского сотрудничества уже более 20 лет институт проводит ежегодную Российско-Китайскую конференцию «Физика атмосферы, климата и окружающая среда». Конференция проводится через год в различных регионах России и Китая. Мероприятие прежде всего направленно на укрепление научного сотрудничества между Россией и Китаем в области атмосферных наук. На конференции обсуждаются вопросы динамики и состава атмосферы, климатического моделирования, взаимодействия океана и атмосферы, а также экологические аспекты, особое внимание уделяется климатическим процессам в высоких широтах и в азиатском регионе.

Также ИФА РАН является соорганизатором Всероссийской конференции с международным участием по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (ENVIROMIS) (совместно с ИМКЭС СО РАН и ИВМ РАН) и Международной научно-практической конференции «Фундамен-

тальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий» (совместно с Майкопским государственным технологическим университетом) и школ молодых ученых «Климатическая система Земли: диагностика, моделирование и прогноз» (совместно с Университетом «Сириус» и ИВМ РАН), «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы» (САТЭП) (совместно с Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и Институтом прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН) и школы молодых учёных с международным участием по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде CITES.

В 2026 году ИФА впервые выступил площадкой Зимней школы Плавучего университета для проведения трека «Мезомасштабное моделирование атмосферы как инструмент изучения чувствительности климатической системы». Зимняя школа Плавучего университета — проект, в котором студенты и молодые ученые под руководством опытных наставников получают практические научные знания в области океанологии и метеорологии. Зимняя школа - первый этап образовательного цикла. Участники, прошедшие школу, далее смогут подавать заявки в экспедиции Плавучего университета.



ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НАУКИ

Популяризация наук об атмосфере и климате сегодня — это не просто просветительская миссия, а необходимость, продиктованная масштабом вызовов, с которыми сталкивается человечество. Во-первых, климатические изменения уже стали реальным фактором экономической и социальной жизни: от них зависят энергетика, сельское хозяйство, градостроительство, здравоохранение. Чтобы общество принимало взвешенные решения — будь то строительство защитных сооружений, переход на низкоуглеродные технологии или страхование рисков — необходима базовая климатическая грамотность. Люди должны понимать разницу между погодой и климатом, уметь интерпретировать прогнозы и не поддаваться паническим или, наоборот, отрицающим настроениям.

Во-вторых, атмосферные и климатические науки сложны и междисциплинарны: они опираются на физику, математическое моделирование, данные дистанционного зондирования. Без качественной популяризации эти области остаются «чёрным ящиком» для общества, что порождает недоверие к научным рекомендациям. Популяризация помогает сформировать реалистичное представление о том, какими знаниями и методами обладает современная наука.

В-третьих, от уровня общественного понимания зависит поддержка долгосрочных научных программ и государственных инициатив — от сохранения сетей метеонаблюдений до участия в международных климатических соглашениях. Если люди видят пользу от научных исследований (более точные прогнозы опасных явлений, обоснованные нормы строительства, адаптационные стратегии), они охотнее поддерживают инвестиции в науку и образование.

Наконец, популяризация играет ключевую роль в привлечении молодёжи в науку. Атмосфера и климат — это та область, где яркие примеры (космические снимки ураганов, работы в экспедициях, в том числе в полярных районах, суперкомпьютерное моделирование) способны вдохновить школьников и студентов. Популяризация создаёт образ современной, востребованной профессии, что необходимо для кадрового воспроизводства в научных институтах, университетах и высокотехнологичных отраслях, связанных с гидрометеорологией и экологическим мониторингом.

Сотрудники института активно участвуют в мероприятиях, посвященных популяризации научных знаний. Директор института

академик В.А. Семенов, заместители директора к.ф.-м.н А.В. Чернокульский и д.ф.-м.н. И.А. Репина, главный научный сотрудник д.ф.-м.н. А.С. Гинзбург регулярно выступают в средствах массовой информации с лекциями и комментариями по вопросам атмосферных явлений, погоды и климата.

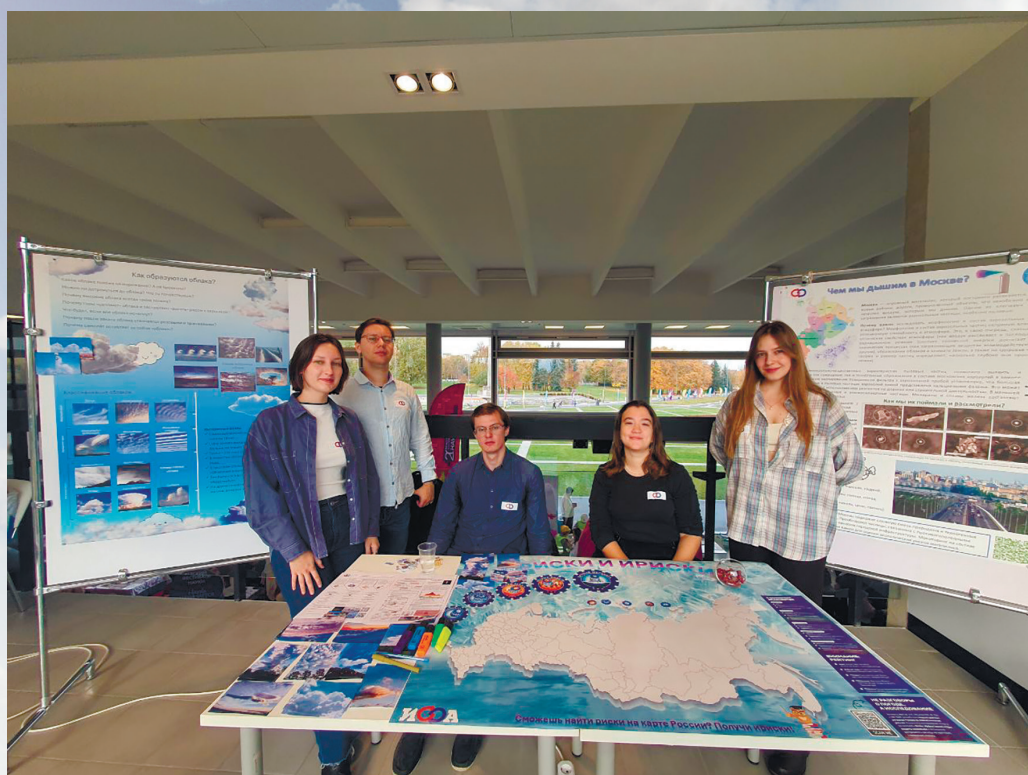
Сотрудники института активно участвуют в программе «Ученые РАН школам», проводя уроки для школьников в Москве и различных регионах страны и выступают на разных площадках ежегодного Фестиваля науки «Наука 0+» с сериями лекций. Последние годы на фестивале также работает стенд ИФА РАН, где для участников фестиваля представляется настоящая в прямом смысле атмосферная программа, в рамках которой можно разобрать воздух по полочкам, устроить охоту на облака, поучаствовать в захватывающих климатических квестах.

Во время экскурсий, проводимых на Звенигородской научной станции ИФА, слушатели могут не только узнать про свечение ночного неба и чем мы на самом деле дышим, но и в буквальном смысле слова прикоснуться к уникальным научным измерениям.

К 80-летию Юбилею Победы институт принял участие в выставке «Ученые на фронте: вклад в Победу», где были представлены биографии и фото сотрудников института, прошедших фронтовыми дорогами.

Важным вкладом в популяризацию современных представлений о климате стало издание книги «Как рассказывать о климате? Рекомендации и ориентиры для научных журналистов и коммуникаторов» опубликованной Некоммерческим негосударственным фондом «Развитие и окружающая среда» и Ассоциацией коммуникаторов в сфере образования и науки в ноябре 2021 года, под общей редакцией А.С. Гинзбурга. Предлагаемые в издании рекомендации и ориентиры позволят улучшить ситуацию с доведением результатов научных исследований в области изменения климата до широкой общественности и населения, укрепить конструктивный диалог между учеными и представителями бизнеса и гражданского общества.

И самую объективную и достоверную информацию о последних достижениях науки в области исследования атмосферы и климата можно найти в телеграм-канале ИФА им. А.М. Обухова РАН (t.me/ifa_ran).





Составитель *И.А. Репина*

Редакторы *В.А. Семенов, А.С. Гинзбург, А.В. Чернокульский, О.Г. Чхетиани*

В оформлении использованы фото

*И.А. Репиной,
М.В. Варенцова,
А.В. Лариной,
Е.А. Малиновской,
О.В. Федоровой,
О.Г. Чхетиани,
Е.А. Шишова и др.*

Макет, вёрстка *Т.Е. Виноградова-Ян*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Адрес: 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, стр.1

Юридический адрес: 119017, Г.МОСКВА, ВН.ТЕР.Г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ОКРУГ ЯКИМАНКА,
ПЕР ПЫЖЕВСКИЙ, Д. 3, СТР. 1

Тел: +7 (495) 951-55-65

Факс: +7 (495) 953-16-52 ИФА им. А.М. Обухова РАН

E-mail: ifaran@ifaran.ru

Пресс-служба ИФА им. А.М. Обухова РАН: media@ifaran.ru

