

Учреждение Российской академии наук
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А. М. ОБУХОВА РАН

На правах рукописи

Гранберг Игорь Григорьевич

**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ
НАД НЕОДНОРОДНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ**

Специальность 03.00.16 – «Экология»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук

Москва 2008

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

Научный консультант: доктор физико-математических наук,
академик Георгий Сергеевич Голицын

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник НПО «Тайфун»
Арефьев Владимир Николаевич;
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой физики атмосферы
физического факультета МГУ
Куницын Вячеслав Евгеньевич;
доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник Института
океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Лапшин Владимир Борисович.

Ведущая организация: Российский государственный
гидрометеорологический университет

Защита диссертации состоится «16» апреля 2009 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 501.002.11 при Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова по адресу: 119992, ГСП-2, Москва, Воробьевы горы, МГУ им. М. В. Ломоносова, д. 1, стр. 2, физический факультет, аудитория 5-19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

Автореферат разослан « » 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 501.002.11

доктор физико-математических наук

Г. Б. Хомутов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ
ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ
НАД НЕОДНОРОДНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Актуальность темы исследования

Влияние неровностей поверхности Земли различных масштабов на состояние атмосферного пограничного слоя (АПС) огромно и с учетом процессов загрязнения атмосферы формирует возникновение ряда экологических проблем. Оно определяет и климатический режим, и текущую погоду не только в горных регионах, высота которых часто превышает высоту АПС, но и в крупных городах, особенно расположенных в холмистой или предгорной местности, где вследствие температурных инверсий в АПС значительно возрастает уровень загрязнения атмосферы и зачастую возникают смоги. Многие регионы Земли подвержены процессам опустынивания в результате антропогенных нагрузок и изменения климата. В пустынных регионах или местностях, подверженных процессам опустынивания, существенное влияние на структуру и состояние приземного слоя атмосферы оказывают даже небольшие неровности – песчаные барханы, которые за счет неравномерного нагрева верхушки барханов и межбарханых понижений вызывают явления отрыва и выноса аридного аэрозоля. При этом одним из важнейших процессов, влияющих на состояние атмосферы и почвы, является тепломассообмен в системе почва-атмосфера, что, в конечном счете, и влияет на климат. Таким образом, проблема опустынивания является актуальной общемировой климатической и социальной проблемой.

Исследование экологических проблем, связанных с влиянием неровностей поверхности Земли на загрязнение атмосферы является актуальнейшей задачей и она может быть решена путем вначале феноменологического описания соответствующего явления, а затем изучения физических механизмов этих процессов и математического моделирования этих явлений.

В конце 70-х – начале 80-х годов одной из наиболее актуальных проблем

стала проблема взаимодействия атмосферы с горными системами, для чего был проведен ряд экспедиций посвященных анализу влияния реальных горных массивов на процессы в различных слоях атмосферы. Подавляющее большинство гидродинамических моделей в это время были двумерными. Это было связано с трудностью моделирования полной трехмерной задачи обтекания реальных горных массивов реальными воздушными потоками. Для решения этих актуальных задач автором была создана новая трёхмерная негидростатическая модель обтекания препятствий произвольной формы потоком несжимаемой жидкости со свободной поверхностью и с соответствующим реальному профилю скорости для решения пространственной задачи обтекания воздушными потоками реальных горных массивов, что было принципиально новым подходом. В 1987-1989 гг. эта модель была использована для моделирования обтекания Украинских Карпат. Далее модель применялась и развивалась уже как модель слабосжимаемой адиабатической жидкости в целях решения актуальных задач обтекания горных массивов воздушными потоками для некоторых стран Средиземноморского региона (Израиля, Кипра). Такая проблема теперь решалась уже не только как гидродинамическая задача обтекания горных массивов, но и как часть актуальной задачи о переносе примеси над такими горными регионами. Заметим, что при этом процессе, вследствие образования застойных зон, возникают экологические проблемы, приводящие к опасным последствиям для здоровья людей и сообществ.

В настоящее время одной из актуальных и важных задач исследования окружающей среды является изучение и прогнозирование глобальных и региональных изменений в атмосфере и гидросфере Земли в связи с их воздействием на окружающую среду. К числу таких изменений относятся как природные катастрофы, так и более медленные, продолжающиеся месяцами и годами локальные изменения местного климата, в частности опустынивание, засухи и другие локальные мезо-метеорологические явления. В двадцатом веке хозяйственные и другие возмущения поверхности почвы привели к

значительному увеличению масштабов опустынивания

Такие территории являются серьезным источником аридного аэрозоля, который поступает в атмосферу во время пыльных бурь и, как показали наши исследования 1991–92, 1995–2007 гг., также в сухую жаркую погоду в отсутствие сильного ветра. Кроме хорошо известной эмиссии почвенных частиц, происходящей в организованных вихревых структурах пограничного слоя (например, пыльные дьяволы), существуют и другие механизмы подъема аридного аэрозоля, включающего тонкодисперсные фракции (<2.5 мкм). Хотя тонкодисперсный аэрозоль составляет относительно небольшую часть потока массы в атмосферу, но, учитывая его долгое время жизни в атмосфере и способность влиять на процессы конденсации и участвовать в физико-химических процессах, он оказывает важное климатическое и экологическое влияние. Поэтому особое внимание автора и его коллег было уделено решению актуальной и новой проблемы исследования процессов выноса тонко- и нанодисперсного аэрозоля из опустыненных регионов, ранее недостаточно изученных из-за технических трудностей измерений в запыленной и очень жаркой атмосфере.

Экспериментальное изучение основных факторов аэрозольного загрязнения атмосферы, вызывающих различные экологические проблемы в России, также является одной из наиболее актуальных задач. Актуальными задачами в этом направлении являются: получение информации об экологическом состоянии различных регионов России, включая исследование влияния региональной урбанизации на качество воздуха и экологию окружающей среды; проведение самолетных измерений трансконтинентального переноса атмосферных загрязнений над территорией России; оценка влияния пусков ракет-носителей на окружающую среду и решение других экологических задач в этом направлении, которые выполнены в рамках диссертационного исследования.

Опасными явлениями для здоровья населения также являются процессы глобального потепления и вследствие этого изменения климата, которые

сопровождается резкой перестройкой атмосферных процессов и учащением повторений опасных атмосферных явлений. Это приводит к серьезным последствиям для здоровья жителей различных возрастных групп в регионах России, сельчан и горожан. В больших городах основными причинами госпитализации и даже смертельных исходов в жаркие дни становятся ишемическая болезнь сердца, заболевания органов дыхания, центральной нервной системы, несчастные случаи и суициды. В зимнее время в средней полосе и на севере России в последние годы на физическое и ментальное здоровье дополнительное негативное воздействие оказывают продолжительные периоды аномально теплой и пасмурной погоды, как, например, зимой 2006–2007 гг., что также увеличивает заболеваемость наиболее распространенными социально-значимыми заболеваниями.

В этой связи чрезвычайно важным и актуальным становится решение задач, связанных с оценкой влияния климатических и метеорологических вариаций различного пространственно-временного масштаба на состояние популяционного здоровья людей.

Цель работы

Целью настоящей работы является теоретическое и экспериментальное исследование физических механизмов процессов аэрозольного загрязнения атмосферного пограничного слоя над неоднородными поверхностями, а также влияния вызванных ими экологических проблем на здоровье населения.

Задачи работы

1. Создание трёхмерной негидростатической модели обтекания препятствий произвольной формы потоком несжимаемой и слабосжимаемой адиабатической жидкости со свободной поверхностью и соответствующим реальному профилем скорости применительно к задачам обтекания воздушными потоками реальных горных массивов Украинских Карпат, некоторых стран Средиземноморского региона (Израиля, Кипра), а также ее использование как части актуальной задачи переноса загрязнений над горными регионами и возникающих при этом процессе экологических проблемах

вследствие образования застойных зон.

2. Изучение условий и механизмов формирования почвенной эмиссии тонкодисперсного (<2.5 мкм) пустынного аэрозоля со вновь осушенных территорий, проведение исследований химических и физических характеристик аридного аэрозоля и почвы с целью оценки их влияния на окружающую среду и климат; установление причин и определение условий образования «неподвижных» вертикальных термиков, выносящих аридный аэрозоль; параметризация процессов выноса субмикронной фракции агрегатных аэрозольных частиц в маловетреную жаркую погоду; обоснование гипотезы о структуре пограничного слоя атмосферы в аридных регионах.

3. Исследование экологических проблем, вызванных аэрозольным загрязнением атмосферы над территорией России:

- получение информации об экологическом состоянии различных регионов России и влиянии железной дороги на загрязнение атмосферы и почв вдоль железнодорожного полотна на основе комплексных измерений концентраций малых газовых примесей и аэрозолей в атмосфере;

- влияние региональной урбанизации (для мегаполисов Москвы и Пекина) на качество воздуха и экологию окружающей среды;

- оценка корреляции химических элементов в приземном аэрозоле с их содержанием в гидрозоле поверхностного слоя реки Обь;

- создание стратегии проведения самолетных измерений трансконтинентального переноса атмосферных загрязнений над территорией России;

- оценка влияния пусков ракет-носителей с космодрома Байконур на окружающую среду.

4. Исследование влияния климатических, метеосиноптических и антропогенных факторов на появление метеопатических реакций, затрагивающих как общее самочувствие метеочувствительных людей и сообществ, так и адаптационные процессы на уровне основных регуляторных систем организма. Организация мониторинга состояния воздушного бассейна

исследуемой территории, с оценкой особенностей концентрации и физико-химических характеристик трансграничного переноса аэрозоля

Научная новизна работы

Впервые для решения задач обтекания воздушными потоками горных массивов, связанных с анализом экологических ситуаций, возникающих вследствие переноса загрязнений, создана численная модель слабосжимаемой расслоенной адиабатической жидкости, дающая более точную картину распространения атмосферных загрязнений в расчётной области, чем модель несжимаемой жидкости.

С использованием этой модели были решены актуальные экологические задачи переноса примесей от крупных электростанций над территориями Израиля и Кипра для разработки предложений об оптимальных с экологической точки зрения мест расположения этих источников атмосферных загрязнений

Установлены основные механизмы выноса в атмосферу тонкодисперсного (<2.5 мкм) пустынного аэрозоля; определены причины и условия образования «неподвижных» вертикальных термиков, выносящих аридный аэрозоль.

Впервые выявлено и проанализировано явление выноса в маловетреную жаркую погоду субмикронной фракции (< 400 нм) агрегатных аэрозольных частиц, особенно опасных для здоровья населения окружающих территорий. Выдвинута, обоснована и подтверждена измерениями сети доплеровских содаров новая гипотеза о пространственной структуре пограничного слоя атмосферы в аридных регионах

Впервые создана физическая модель отрыва тонкодисперсных (менее 400 нм) аэрозольных частиц и предложена формула оценки зависимости концентрации выносимых частиц от температуры поверхности при скоростях ветра менее 3 м/с.

Это впервые позволяет включать в численные модели влияния опустыненных территорий на атмосферу оценку выноса тонкодисперсного

аэрозоля при малых скоростях ветра в зависимости от температуры поверхности, которую можно получить из спутниковых данных.

Впервые сделана оценка среднего значения массовой концентрации аэрозоля как в летний период, так и в зимний периоды во всех пяти природно-территориальных комплексов (ПТК) России.

Оценено влияние мегаполисов Москвы и Пекина на региональные климатические характеристики загрязнения атмосферы.

.Разработаны методические рекомендации для городских администраций по учету влияния загрязнения атмосферы Москвы и Пекина на здоровье населения.

Оценено влияние процессов опустынивания на состояние воздушной среды Пекина.

Впервые оценены корреляции содержания элементов в приземном аэрозоле с их содержанием в гидрозоле в поверхностном слое воды реки Обь.

Создана новая стратегии проведения самолетных измерений трансконтинентального переноса атмосферных загрязнений над территорией России.

Впервые оценено влияние ракеты Протон на атмосферу с помощью самолета-лаборатории.

Создана новая система оперативного медицинского прогноза погоды, предусматривающая синоптико-метеорологический мониторинг, оперативное выявление биотропных погод и гелиогеомагнитных ситуаций, систему оповещения медицинских учреждений и населения.

Впервые предложена модель количественной оценки индекса патогенности погоды , путем интегрирования дифференцированных по степени патогенности различных факторов погоды и загрязнения атмосферы.

Практическая значимость

Созданные система оперативного медицинского прогноза погоды и модель количественной оценки патогенности погоды – Индекс патогенности погоды (ИПП), предусматривающие синоптико-метеорологический мониторинг,

оперативное выявление биотропных погод, гелиогеомагнитных ситуаций, систему оповещения медицинских учреждений и населения используются Центральной клинической больницей РАН, Российским кардиологическим научно-производственным комплексом Минздрава и более чем 30 здравницами особо охраняемого эколого-курортного региона Кавказские Минеральные Воды.

Разработанная параметризация выноса тонкодисперсного (<400 нм) позволяет включать в численные модели влияния опустыненных территорий на атмосферу оценку выноса тонкодисперсного аэрозоля при малых скоростях ветра в зависимости от температуры поверхности, которая может быть получена из спутниковых данных

Впервые для решения задач обтекания воздушными потоками горных массивов, связанных с анализом экологических ситуаций, возникающих вследствие переноса загрязнений, создана численная модель слабосжимаемой расслоенной адиабатической жидкости, дающая более точную картину распространения атмосферных загрязнений в расчётной области, чем модель несжимаемой жидкости.

Предложенные на основании расчетов по созданной модели рекомендации о размещении крупных электростанций на территориях Израиля и Кипра были учтены Министерством энергетики Израиля и Высшим техническим советом Кипра, а созданные специальные версии модели для территорий этих стран были переданы для использования в практической работе метеослужб Израиля и Кипра.

Обработка многолетних данных измерений аэрозольных характеристик в атмосфере Москвы и Пекина, выполненная под руководством автора в рамках государственного контракта от 01 августа 2007 г. № 02.515.11.5081, позволила китайским участникам работы дать рекомендации, принятые и реализованные Администрацией Пекина, для снижения уровня аэрозольного загрязнения в Пекине во время Олимпиады–2008.

Основные положения, выносимые на защиту

Модель слабосжимаемой расслоенной адиабатической негидростатической жидкости, дающая более точную картину распространения атмосферных загрязнений в расчётной области, чем модель несжимаемой жидкости.

Применение этой модели для решения задач обтекания гор воздушными потоками, связанных с анализом экологических ситуаций, возникающих вследствие переноса загрязнений над реальными горными массивами,

Разработанная параметризация оценки выноса тонкодисперсного аридного аэрозоля (<400 нм) (при малых скоростях ветра в зависимости от температуры поверхности) позволяет включать ее в численные модели влияния опустыненных территорий на атмосферу.

Методические рекомендации для городских администраций по учету влияния загрязнения атмосферы Москвы и Пекина на здоровье населения

Созданная система оперативного медицинского прогноза погоды и модель количественной оценки ее патогенности – индекс патогенности погоды (ИПП), предусматривают синоптико-метеорологический мониторинг, оперативное выявление биотропных погод, гелиогеомагнитных ситуаций, оповещение медицинских учреждений и населения для проведения экстренной профилактики метеопатических реакций.

Апробация работы

Результаты работы были представлены на XI Всесоюзном семинаре по численным методам вязкой жидкости (Свердловск, 1988); Всесоюзном совещании «Численное моделирование состава и динамики свободной атмосферы» (Суздаль, 1988); Всесоюзном совещании «Состояние и охрана воздушного бассейна курортных регионов» (Кисловодск, 1990); 8-м Беер-Шеванском международном семинаре по МГД-потокам и турбулентности (Иерусалим, Израиль, 1996); Расширенной научной рабочей группе НАТО по научным, экологическим и политическим проблемам Прикаспийского региона (Москва, 1996); 14-й Международной конференции «Радиоактивность и атмосферные аэрозоли» (Хельсинки, Финляндия, 1996); Международном симпозиуме «Технологическое и цивилизационное воздействие на

окружающую среду. Ситуация на постсоветском пространстве» (Карлсруе, Германия, 1996); Международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли» (Санкт-Петербург, 1997); Международном симпозиуме по химии атмосферы и глобальному состоянию окружающей среды в будущем (Нагоя, Япония, 1997); Европейской аэрозольной конференции (Гамбург, Германия, 1997); 9-м международном симпозиуме по акустическому зондированию атмосферы и океана (Вена, Австрия, 1998); Международной конференции «Физика атмосферного аэрозоля» (Москва, 1999); 6-й Научной конференции по Международному глобальному атмосферно-химическому проекту (IGAC) (Болонья, Италия, 1999); Международной конференции «Аэрозоли и здоровье», (Карлсруе, Германия, 2000); Второй международной конференции памяти А. М. Обухова «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов» (Кисловодск, 2000); 7-й Международной конференции по атмосферным наукам и их приложениям к исследованиям качества воздуха и Выставке и рабочей группе по моделированию качества воздуха (Тайбей, Тайвань, 2000); Первой международной рабочей группе по пыльным бурям и связанному с ними осаждению аэрозоля (Сеул, Республика Корея, 2002); Третьей международной конференции к 200-летию Кавказских Минеральных Вод «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов» (Кисловодск, 2003); IV Международной конференции "Естественные и антропогенные аэрозоли" (Санкт-Петербург, 2003); Второй международной рабочей группе по минеральной пыли (Париж, Франция, 2003); Объединённой ассамблее Европейского геофизического общества, Американского геофизического общества и Европейского геофизического союза (Ницца, Франция, 2003); VIII Международной конференции по наукам об атмосфере и качеству воздуха (Цукуба, Япония, 2003); Международной конференции по загрязнению атмосферы (Дубай, 2004); I Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза (Вена, Австрия, 2004); Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ФГУ «ПГНИИК Росздрава», (Пятигорск,

2005); Совещании-семинаре ГМЦ России «Специализированное гидрометеорологическое обеспечение туризма и отдыха: состояние и перспективы развития», (Кисловодск, 2005); Тайваньско-российском двустороннем симпозиуме по водным и экологическим технологиям (Тайбэй, Тайвань, 2005); II Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза (Вена, Австрия, 2005); Научной ассамблее Международной ассоциации по метеорологии и наукам об атмосфере (Пекин, Китай, 2005); Международной конференции «Погода и биосистемы» в РГГМУ (Санкт-Петербург, 2006); Международном научном конгрессе Всемирной федерации водолечения и климатолечения (Андорра, 2006); III Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза (Вена, Австрия, 2006); Международной рабочей группе Международного научно-технического центра «Байкал-2006» (Иркутск, 2006); Рабочей встрече Американского геофизического союза (Сан-Франциско, США, 2006); Конференциях по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине», (Москва, 2006, 2007, 2008); Международном симпозиуме по физике и химии атмосферы (Чифу, Китай, 2007); Международном научном конгрессе «60-я сессия Всемирной федерации водолечения и климатолечения» (Милано-Мариттимо, Италия, 2007); IV Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза (Вена, Австрия, 2007); Международной научно-практической конференции «Проблемы экологической безопасности и сохранение природно-ресурсного потенциала» (Ставрополь, 2007); Конференциях "Рациональное природопользование" (Москва, 2007, 2008); XXIV Генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза (Перужда, Италия, 2007); V Генеральной ассамблее Европейского геофизического союза (Вена, Австрия, 2008); IV Всероссийском форуме «Здоровье нации – основа процветания России» (Москва, 2008); Международной конференции «Физика атмосферы, климат и здоровье» (Кисловодск, 2008); Втором санкт-петербургском международном экологическом форуме «Окружающая среда и здоровье человека» (Санкт-Петербург, 2008).

Структура и объём работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, результатов и выводов, и списка литературы. Работа изложена на страницах, содержит рисунков и таблиц, список литературы включает библиографических ссылок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. перечислены защищаемые положения, кратко по главам рассмотрены различные физические механизмы процессов аэрозольного загрязнения атмосферного пограничного слоя над неоднородными поверхностями, а также влияние вызванных ими экологических проблем на здоровье населения.

Возмущения воздушного потока, вызванные неровностями поверхности Земли (рельефом) охватывают спектр от нескольких метров до масштабов, сопоставимых с крупномасштабными звеньями общей циркуляции атмосферы. По каждому участку воздействия спектра таких неровностей на атмосферу возникают различные экологические проблемы, физические механизмы ряда из них исследованы в представляемой диссертационной работе, как по эмпирическим данным, так и путем численного моделирования

В первой главе изложены основные проблемы гидродинамического моделирования обтекания реальных горных массивов потоком жидкости (несжимаемой и слабосжимаемой адиабатической) со свободной поверхностью с соответствующим реальному профилю скорости и применение созданных автором моделей к решению задач гидродинамического обтекания Украинских Карпат, а для стран Средиземноморского региона (Израиля, Кипра) уже не только как гидродинамической задачи обтекания горных массивов, но и как решение актуальной экологической проблемы переноса примеси над горными регионами.

. Во второй главе описаны результаты экспедиционных и лабораторных исследований условий и механизмов формирования почвенной эмиссии

тонкодисперсного (<2.5 мкм) пустынного аэрозоля со вновь осушенных территорий в пустынях Приаралья и Калмыкии в 1991, 1992, 1995 – 2007 гг. Проблема воздействия пустынь на атмосферу обычно сводится к изучению пыльных бурь, которые рассматриваются с учетом двух условий: 1) замутненности атмосферы вследствие наличия в воздухе пыльной фракции и 2) скоростей ветра свыше 15 м/с. Исследования, проведенные под руководством автора коллективом сотрудников ИФА, НИФХИ им. Л.Я.Карпова и других институтов, показали наличие в атмосфере пылесолевых частиц и в периоды отсутствия пыльных бурь. В ходе наших исследований установлено, что в жаркое время года в отсутствие пыльных бурь конвективные процессы поднимают в воздух из песчаных массивов Калмыкии, состоящих из агрегатных частиц размером порядка 80-150 мкм, значительные количества долгоживущего аэрозоля размером менее 5 мкм (в том числе субмикронного (100-400нм)), который оказывает существенное влияние на формирование загрязнения атмосферы и, соответственно, на климат.

В третьей главе приведены результаты исследования ряда экологических проблем, вызванных аэрозольным загрязнением атмосферы над территорией России-

На основании результатов комплексных измерений концентраций малых газовых примесей и аэрозолей в атмосфере, полученные с борта вагона-лаборатории ВНИИЖТ МПС в экспедициях по маршруту Москва-Хабаровск-Москва: февраль–март 1998 г., июнь–июль 1999 г. и июнь–июль 2001 г., получена информация об экологическом состоянии различных регионов России и влиянии железной дороги на загрязнение атмосферы и почв вдоль железнодорожного полотна. При этом установлено, что суммарная массовая концентрация макрокомпонентов в летний период существенно превышает их содержание зимой, что можно объяснить более высокой степенью выноса и последующей эмиссией в атмосферу аэрозолей с поверхностных слоев почвы региона и грунта полотна железной дороги. На основании объединения экспериментальных работ и работ по численному

моделированию для оценки степени загрязнения атмосферы для мегаполисов Москвы и Пекина, выполнен статистический анализ вариаций концентраций газовых компонент загрязнения и массовой концентрации аэрозоля с размерами меньше 10 мкм (PM10) для Москвы и Пекина. Установлены закономерности внутрисуточной изменчивости концентраций примесей, оценены вклады в суммарную дисперсию вариаций концентраций примесей с различными временными масштабами.

Полученные результаты измерений концентраций ряда элементов в пробах аэро- и гидрозоля, отобранных в бассейне Средней Оби в июле–августе 1999 года, свидетельствуют о том, что во время отсутствия крупномасштабных вторжений воздушных масс на территорию Западно-Сибирской низменности содержание элементов в приземном аэрозоле в существенной мере коррелирует с их содержанием в веществе, взвешенном в обской воде.

В рамках работ по созданию стратегии проведения самолетных измерений трансконтинентального переноса атмосферных загрязнений над территорией России выработаны критерии благоприятных и неблагоприятных условий для проведения самолетных измерений концентраций компонентов и определены наиболее вероятные линии движения воздушных масс (линии тока) в регионе самолетных измерений.

Выполнена оценка влияния пусков ракет-носителей с космодрома Байконур на окружающую среду путем проведения самолетного эксперимента по лидарному зондированию выброса гарантийного запаса окислителя в результате разрушения второй ступени РН “Протон-К” при входе в плотные слои атмосферы (пуск от 16 июня 2001 г.), в котором велось отслеживание облака окислителя в атмосфере.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния климатических, метеосиноптических и антропогенных факторов на появление метеопатических реакций и, вследствие этого, на состояние здоровья людей, особенно больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Физиологические реакции, появляющиеся у людей в связи с неблагоприятными погодными условиями, получили название метеопатических реакций (МПР). Хотя МПР проявляются возникновением различных патологических реакций и носят, как правило, преходящий характер, но также могут вызывать изменения на уровне регулирующих систем организма.

Таким образом, состояние атмосферы, атмосферные процессы и атмосферные явления определяют условия жизнедеятельности человека, его самочувствие, состояние «комфорта» или «дискомфорта».

Первая глава посвящена решению задач численного моделирования обтекания воздушными потоками реальных горных массивов Украинских Карпат и стран Средиземноморского региона – Израиля и Кипра.

Локальная погода и вообще процессы мезометеорологического масштаба в самих Карпатах и в подветренной области в значительной мере определяются характеристиками общего синоптического процесса. Для исследования обтекания Украинских Карпат атмосфера моделировалась несжимаемой стратифицированной жидкостью. Эта модель, давая качественную картину гидродинамического обтекания, обладает рядом ограничений, если ее использовать для моделирования переноса примеси.

Одним из основных метеорологических процессов определяющих погоду в регионе Украинских Карпат являются юго-западные циклоны. Переваливание юго-западных циклонов через Карпаты – один из типовых синоптических процессов над Западной Украиной. Другим процессом в этом регионе является северо-западное холодное вторжение. Если при первом типе процесса основная масса воздуха движется почти “перпендикулярно” хребту, то при втором типе – почти “вдоль” хребта. Кавычки поставлены потому, что Карпаты на самом деле похожи на несимметричную подкову, а не на вытянутый в одном направлении хребет. Локальная погода и вообще процессы мезометеорологического масштаба в самих Карпатах и в подветренной области в значительной мере определяются характеристиками общего синоптического процесса.

Постановка задачи и описание использовавшихся моделей

Течения воздуха над горами протяженностью до 100 км можно моделировать потоком идеальной стратифицированной жидкости, обтекающим соответствующее препятствие, без учета ускорения Кориолиса. Так как доминирующими оказываются силы плавучести, возникает естественный масштаб длины – расстояние смещения, зависящее от величины параметра плавучести в стратифицированной жидкости $U/N \sim 1$ км, где N – частота Брента-Вяйсяля.

Поскольку атмосфера Земли подобна относительно тонкой пленке (вертикальный масштаб существенно меньше горизонтального) вертикально стратифицированной жидкости, система уравнений, описывающих движение такой идеальной жидкости с учетом вращения Земли, имеет вид

$$\rho \frac{d \vec{u}}{d t} = - \nabla p + \rho \vec{g} - 2\rho [\vec{\omega}, \vec{u}] \quad (2.1a)$$

$$\rho = \rho(\delta, p) \quad (2.1b)$$

$$p = \rho R T \quad (2.1c)$$

$$\frac{d \rho}{d t} + \rho \operatorname{div}(\vec{u}) = 0 \quad (2.1d)$$

$$\frac{d \sigma}{d t} = \varepsilon q(x, y, z, t) \quad (2.1e)$$

$$\delta H = c_v \delta T \quad (2.1f)$$

где $\frac{d}{d t} = \frac{\partial}{\partial t} + (\vec{u} \nabla)$, $\delta = \frac{1}{\chi} \ln \frac{p}{p_0} - \ln \frac{\rho}{\rho_0}$, $\varepsilon = \frac{1}{T_0}$, $\chi = \frac{c_p}{c_v}$, $R = c_p - c_v$.

здесь \vec{u} и $\vec{\omega}$ – векторы скорости течения потока и вращения Земли, p , T и ρ – давление, температура и плотность атмосферы, σ и H – энтропия и энтальпия, q – тепловой поток.

Чтобы выделить процессы определенных масштабов или термодинамических приближений, обычно применяются следующие предположения:

1). Несжимаемость. Здесь $d\alpha=0$, $\alpha=1/\rho$, $\sigma=-\ln(\rho)$, $c_v \rightarrow \infty$, $\chi \rightarrow \infty$, т.е. энтропия является логарифмом удельной емкости (обратной потенциальной плотности).

2). Адиабатичность. $\varepsilon=0$, γ_a – адиабатический градиент температуры,

$$\frac{g}{\theta} \frac{d\theta}{dz} - \text{частота плавучести Брента-Вяйсселя. } T = T_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}, \theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}},$$

$$-\frac{\partial T}{\partial z} = \gamma_a = 9.8^\circ/\text{км.}$$

$$\gamma = \frac{dT}{dz}, \frac{1}{\theta} \frac{d\rho}{dz} = \frac{\gamma_a - \gamma}{T} = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} - \frac{g}{c^2} \left(= \frac{N^2}{g} \right) \rho = \rho_\infty \left(1 - \frac{g\sigma}{c^2} \right)$$

3). Квазистатика. $\frac{dw}{dt} = 0$, т.е. вертикальные ускорения малы.

Если, промоделировать атмосферу стратифицированной жидкостью с такой же частотой Брента-Вяйсселя как в атмосфере, то для несжимаемой жидкости при $\rho = \rho_0 e^{-\frac{z}{H}}$, $H_H = 65$ км, высота адиабатической атмосферы $H_a = 28$ км, а высота однородной атмосферы $H_0 \sim 10$ км.

Поскольку нас интересуют движения ~ 100 км, то для таких масштабов горизонтальные адвективные компоненты малы в сравнении с вертикальными. Кроме того, так как характерное время жизни таких процессов порядка 1-2 дней, локальная плотность мало меняется со временем. Поскольку нас интересуют атмосферные процессы, при которых происходит перенос примеси (на расстояние порядка 10-100 км), то для таких мезометеорологических процессов

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = -\rho \operatorname{div} \dot{u} \quad w \frac{\partial \rho}{\partial z} = w \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_\sigma \frac{\partial p}{\partial z}, \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_\sigma = c^2 \right]$$

$$\operatorname{div}(\dot{u}) = \frac{gw}{c^2} \quad (\text{слабая сжимаемость}) \quad (2.2)$$

Рассмотрим систему (2.1) при условии $\varepsilon=0$. Так как $\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}$, введем соответствующую обратную величину ρ^* (потенциальную адиабатическую плотность) и давление в форме уравнения состояния $\bar{p} = \rho^* R T$. π^* и ρ^* являются так называемыми функциями Экснера. Определим величину R_1 , определяемую из условия сохранения формы градиента давления в правой части уравнений движения. После простых преобразований получим

$$R_1 = \frac{\chi R}{\chi - 1} \quad (2.3)$$

поскольку при $\varepsilon=0$, $\frac{d\theta}{dt} = 0$, и соответственно, $\frac{d\rho^*}{dt} = -\frac{1}{\theta^2} \frac{d\rho}{dt} = 0$. Так как ρ^*

устойчиво стратифицирована, то можем перейти к системе координат (x_1, y_1, ρ^*, t_1) и ввести $\varphi = \pi + g\rho^*z$.

Система уравнений (2.1) запишется в следующей форме

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho} \nabla \pi - 2[\boldsymbol{\omega}, \mathbf{u}] \quad (2.4a)$$

$$\frac{d\rho^*}{dt} = 0 \quad (2.4b)$$

$$\text{div}(\mathbf{u}) = \frac{gW}{c^2} \quad \text{или}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{g\rho}{c^2} \frac{dz}{dt} \quad (2.4c)$$

$$\pi = \rho R_1 T \quad (2.4d)$$

Легко видеть, что система уравнений (2.4) имеет практически тот же вид, что и для стратифицированной несжимаемой жидкости с координатами (x_1, y_1, ρ_1, t_1) , за исключением уравнения $\text{div}(\mathbf{u}) = \frac{gW}{c^2}$. Оказывается, что результаты для моделирования атмосферы стратифицированной несжимаемой жидкостью для Карпат можно интерпретировать как расчеты подобных (по координате и начальным полям) адиабатических процессов при $\frac{gW}{c^2} = 0$.

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{1}{\psi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} - gz \right) \frac{\partial z}{\partial x} + fv \quad (2.5a)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{1}{\psi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} - gz \right) \frac{\partial z}{\partial y} - fu \quad (2.5b)$$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\psi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} - gz \right) \quad (2.5c)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial(u\psi)}{\partial x} + \frac{\partial(v\psi)}{\partial y} = \frac{gW\psi}{c^2} \quad (2.5d)$$

$$\psi = \rho \frac{\partial z}{\partial \rho} \quad (2.5e)$$

или в "поточковой" форме

$$\frac{d}{dt}(u\varphi) + \frac{d}{dx}(u^2\varphi + \frac{gz^2}{2}) + \frac{d}{dy}(uv\varphi) = \frac{d\varphi}{d\rho^*} \frac{dz}{dx} - \frac{\varphi}{\rho^*} \frac{d\varphi}{dx} + fvu + \frac{gWu\varphi}{c^2} \quad (2.6a)$$

$$\frac{d}{dt}(v\varphi) + \frac{d}{dx}(uv\varphi) + \frac{d}{dy}(v^2\varphi + \frac{gz^2}{2}) = \frac{d\varphi}{d\rho^*} \frac{dz}{dy} - \frac{\varphi}{\rho^*} \frac{d\varphi}{dy} - fu\varphi + \frac{gWv\varphi}{c^2} \quad (2.6b)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} + \frac{d(u\varphi)}{dx} + \frac{d(v\varphi)}{dy} = \frac{gW\varphi}{c^2} \quad (2.6c)$$

$$z = \int_1^{\rho^*} \frac{\varphi}{\rho^*} d\rho^* \quad (2.6d)$$

$$\varphi = \int_{1-a}^1 (gz - \varphi \frac{dw}{dt}) d\rho^* \quad (2.6e)$$

Здесь $\varphi = \rho^* \frac{dz}{d\rho^*}$ является аналогом относительной толщины трубки тока.

В безразмерном виде у системы (3) есть три параметра $F_B^2 = \frac{u^2}{a^2 gH}$, $F_\Gamma^2 = \frac{u^2 H}{gL^2}$ и $F_c = \frac{g^w}{c^2}$. Здесь F_B^2, F_Γ^2 – вертикальное и горизонтальное числа Фруда соответственно, α и L – масштаб стратификации по ρ^* и горизонтальный масштаб потока.

С точки зрения физики, мы можем поставить следующие граничные условия: невозмущенное течение на наветренной границе (условие Лира) и на верхней границе условие свободной поверхности, $\varphi = 0$ и $\rho = \text{const}$, т. е. энтальпия на верхней границе такая же, как в невозмущенном потоке.

На выходе потока по x , мы ставим мягкие условия в виде $a_1 u + b_1 \frac{du}{dx} = 0$.

Так как задача решается численно, то естественно принять модель канала постоянной ширины, направленного вдоль невозмущенного потока. Начало канала – с наветренной стороны близ рельефа (обозначим эту абсциссу через $x - \infty$); конец – с подветренной стороны и достаточно далеко, чтобы уместилась хотя бы одна наиболее длинная волна (эта абсцисса $x + \infty$). При $x = x - \infty$ поток не возмущен и задан: при $x = x + \infty$ – что получится, но при этом общая масса вытекающего и вытекающего потоков должна быть одинакова. Итак,

$$\begin{aligned} x = x - \infty, \\ u = u_0(\rho), v = 0, \psi = \psi_0(\rho), \Phi = \Phi_0(\rho); \\ x = x + \infty, u + \alpha \frac{du}{dx} = 0, \end{aligned}$$

где α – параметр, подбираемый из условия сохранения массы; таким образом, α является функцией фиктивного времени.

Боковые стенки канала $y = \pm y_0$ непроницаемые, т. е. $y = \pm y_0 \quad v = 0$. Конечно-разностный аналог задачи (2) – (5) реализован на сетке ($X \times Y \times P$) – ($26 \times 15 \times 8$) точек с шагами, соответствующим размерным координатам 75 км по x и y и около 1 км по z .

Для решения системы уравнений (3) применена схема Лакса-Вендроффа с искусственной вязкостью по Лapidусу. Мы находим $u^{n+1}, v^{n+1}, \psi^{n+1}$ при $\rho^* = \text{const}$

из уравнений и затем путем интегрирования по ρ^* от нижней до верхней границ, и φ путем интегрирования по ρ^* от верхней границы до нижней обтекаемой поверхности.

Возникает новый параметр Фруда $F_c = \frac{g^w}{c^2}$. Мы можем пересчитать результаты, полученные для несжимаемой жидкости как для слабосжимаемой жидкости при этом, высота слабосжимаемой атмосферы получается 10546 м, т. е. незначительно отличается от стандартной $H_{st} = 10794$ м.

Отметим, что каждая из решавшихся далее с использованием этой модели экологических задач являлась новым исследованием влияния процессов загрязнения атмосферы на экологию и, следовательно, здоровье населения.

Результаты численного моделирования обтекания воздушными потоками горных массивов Украинских Карпат и стран Средиземноморского региона – Израиля и Кипра

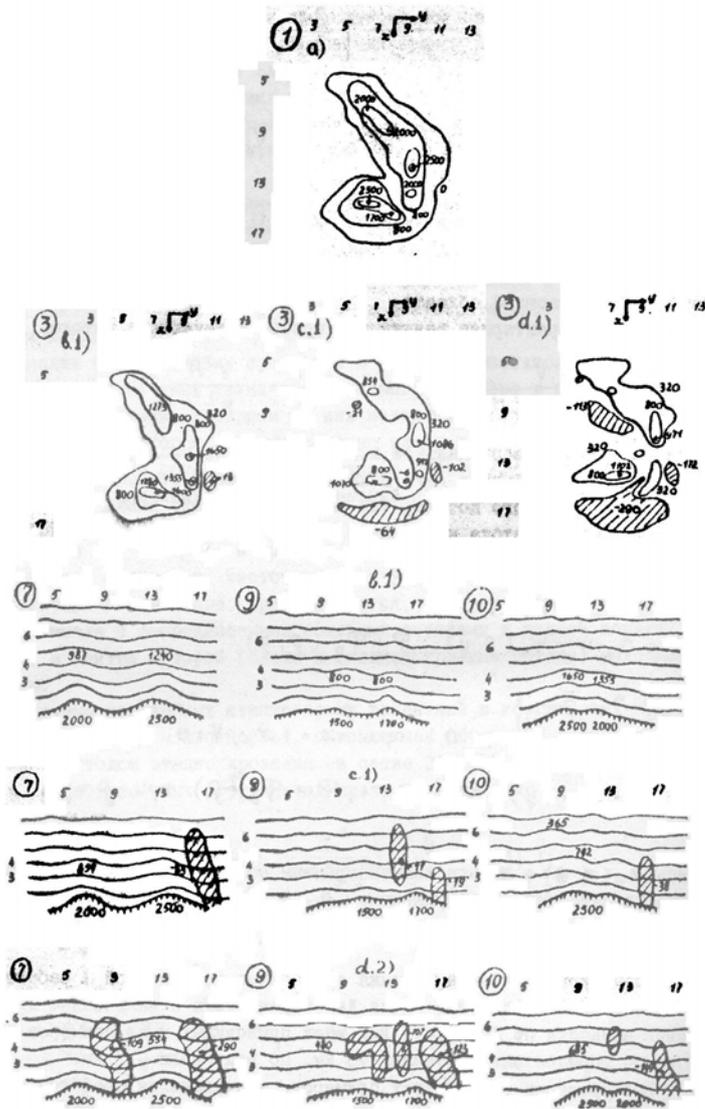
Рельеф Карпат не слишком крутой, поэтому не возникает противоток, который мог бы развалить решение. Схематически рельеф показан на рис. 1а. В начальный момент задавалась скорость вдоль канала без горы $t=0$, $u = u_0 = const(10 \text{ м/с})$.

В процессе интегрирования по времени гора (Карпаты) “росла”, пока не достигала нужных размеров “Рост” горы вносил возмущение в поток. Это возмущение продолжало развиваться после “остановки” “роста” горы до тех пор, пока не устанавливался стационарный режим. За стационарный режим принимали такой, при котором

$$\max |f_{i,j,k}^{(n+1)\Delta t} - f_{i,j,k}^{n\Delta t}| < \varepsilon$$

для любой искомой функции (параметр γ подбирался эмпирическим путем; гора “устанавливалась” примерно за 300 временных шагов). Установившийся режим достигался примерно за 2500-3000 шагов. Поясним коротко процедуру счета. На $n+1$ -м временном шаге $u^{n+1}, v^{n+1}, \psi^{n+1}$ вычислялись по методу Лакса-Вендроффа; z^{n+1}, Φ^{n+1} определялись интегрированием по ρ от 1 до ρ_B . Вводилась слабая счетная вязкость по Лapidусу пропорционально модулю градиента скорости в виде $(\Delta x)^2 \cdot \mu \frac{d}{dx} (\psi | \frac{du}{dx} | \frac{du}{dx})$ Это соответствует коэффициенту вязкости (горизонтальной) перед оператором Лапласа порядка $10^4 \text{ м}^2/\text{с}$; в безразмерном виде $O(0,01)$.

Рис. 1. Иллюстрация пространственного обтекания Карпат при среднем северо-западном потоке без сдвига и со сдвигом скорости: а – гипсометрическая



карта Карпат в метрах («квазиобволакивающая» орография). Нечётные числа указывают нумерацию точек сетки горизонтальной плоскости. Среднее значение показано толстой стрелкой; в.1) – отклонение функции тока (м) от третьего расчётного уровня для постоянного потока $U = 10$ м/с. Этот уровень (плотность) соответствует приблизительно 3,5 км высоты. Отрицательные области заштрихованы; с.1) – то же для потока с вертикальным сдвигом $U = 10 + 10^{-3} z$; d.1) то же для потока с вертикальным и горизонтальным сдвигом, $U =$

$$10 + 10^{-3} z + 10^{-4} y.$$

На рис. 1 приведены примеры обтекания Карпат с различным профилем натекающего потока: постоянной скоростью, потоком с вертикальным сдвигом, Затем, так как у нас были получены данные о вертикальных профилях ветра в трех пунктах поперек потока – Львове, Новом Крапивнике и Ужгороде, мы рассмотрели случай, когда натекающий поток имел как вертикальный, так и горизонтальный сдвиг скорости ветра $u = (10 + 10^{-3} z + 1,3 \cdot 10^{-5} y)$ м/с.

Карпаты для первого примера моделировались в сглаженном виде, затем

точки сетки были наложены на рельефную физическую карту Карпат, что определило “высоты” нижнего слоя точек сетки.

Решение имело сложный характер. Зона максимально “крутых” поверхностей тока (рис. d 1) примерно совпала с зоной максимальных осадков. Если рассмотреть движение по такой поверхности влажной воздушной массы, то ее опускание, а затем резкий подъем будут, очевидно, способствовать выпадению осадков. Таким образом, результаты численного моделирования обтекания Карпат качественно описывают некоторые особенности локального климатического режима региона. При этом установлено, что динамические факторы играют существенную роль в таком неадиабатическом процессе, как повышенное выпадение осадков в Закарпатской области при прохождении гонуэзских циклонов.

Из результатов численного моделирования обтекания Карпат следует, что количественные характеристики возмущений воздушного потока сильно зависят и от точности представления рельефа в модели, и от того, насколько сдвиговые характеристики натекающего потока соответствуют реальным потокам.

Анализ топографической карты горных регионов показывает существование ряда гор, характеризующихся горизонтальным масштабом, который близок к масштабу плавучести (1 км). При моделировании переноса примеси с шагом, близким к горизонтальным масштабам рельефа, необходимо учитывать вертикальные ускорения.

Влияние таких препятствий простирается выше границы планетарного пограничного слоя, и, поскольку сила плавучести может генерировать вихри, которые могут вызывать как “захваченные” волны (горизонтальные вблизи слоя инверсии), так и вертикально распространяющиеся волны, которые могут проникнуть даже в верхние атмосферные слои, влияя на перенос пассивной примеси. Поэтому, для исследования переноса примеси в регионах с большим количеством горных массивов (Израиля, Кипра) необходимо учитывать негидростатичный характер процесса.

Используем систему уравнений (2.6) (в предположении адиабатичности и

слабой сжимаемости) для решения актуальных задач обтекания горных массивов воздушными потоками Израиля и Кипра. Такая проблема теперь решалась уже не только как гидродинамическая задача обтекания горных массивов, но и как часть актуальной задачи о переносе примеси над такими горными регионами. Анализ топографии центрального района Израиля показывает, что расчетную область можно разделить на четыре части : первая - море и береговая зона; вторая - Иудейские Горы, высота которых порядка от 200 м до 1 км, ширина около 40–50 км; третья – озеро Кинерет и Мертвое море, высота ниже уровня моря от 300 до 400 м и ширина около 40 км; четвертая – Иорданские Горы, высота которых около 1 км и ширина около 40 км (внутри расчетной области). Такой рельеф заставляет натекающий поток приспосабливаться до натекания на горные массивы. Поэтому, высота инверсионного слоя и вообще высота поверхности потока увеличивается перед горами. Особый случай представляет район Хайфы, где Кармельские Горы практически начинаются от берега моря. Поэтому расчет переноса примеси в этом районе особенно сложен, так как характеристика движения в основном определяется топографией.

Обтекание центрального района Израиля с шагом сетки 5 км приведено на рис. 2. Рисунок показывает отклонения поверхностей постоянной потенциальной температуры от невозмущенного состояния. Из анализа поверхности потока высотой 1 км видно, что поверхность начинает приподниматься за 10- 15 км до первой изолинии высотой 100 м по сравнению с невозмущенной поверхностью. Поверхность течения в районе Мертвого моря и Киннерета более изрезанная.

Расчеты, показанные на рис. 3 и относящиеся к району Хайфы, с шагом 2 км, показывают возможность “проседания” поверхностей тока, возникновения застойных зон (слабо проветриваемой зоны) к востоку Кармельского хребта. Этот рисунок также дает изолинии отклонения (в соответствующих единицах) поверхностей постоянной потенциальной температуры от невозмущенного состояния. Очевидно, что топография оказывает слабое влияние на расстоянии

10 км от гор к южной части расчетной области. Поверхность течения начинает приподниматься на расстоянии около 10 км от Хадеры, т. е. учитывая протяженность планетарного пограничного слоя, возможен дальний перенос влияния примесей от локальных источников в этом регионе.

Isolines for surface potent. $T_l=8$ ($1=2\text{km}$) $1st.\rightarrow Z=2\text{km}$

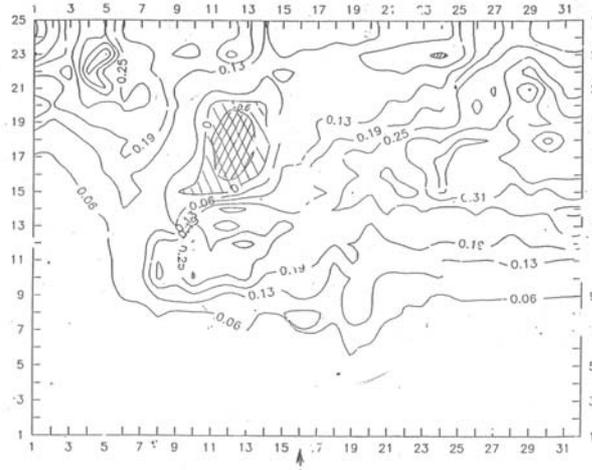


Рис. 2. Изолинии приземной потенциальной температуры для центрального района Израиля.

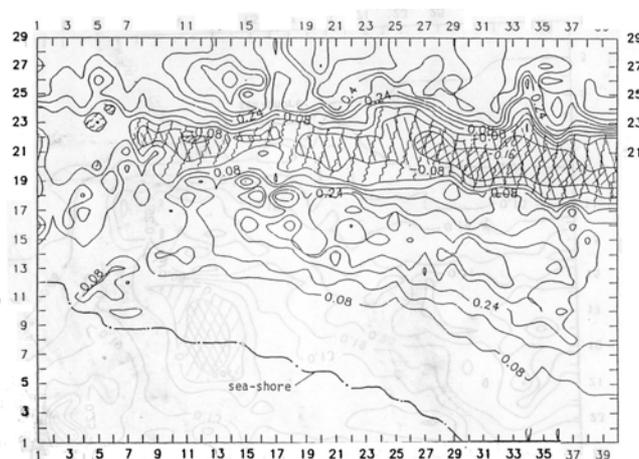


Рис. 3. Изолинии приземной потенциальной температуры для района Хайфы.

Теперь применим систему уравнений (2.6) для расчета обтекания Кипра, большую часть которого занимают горы.

Из результатов анализа реальных данных, полученных из Метеорологического Центра Кипра, одним из самых типичных синоптических процессов для Кипра является западный перенос. Направление ветра позволяет нам поставить задачу обтекания для Кипра, как задачу в канале.

Из рассмотренных примеров обтекания горных систем атмосферными потоками моделирование задачи обтекания Кипра с точки зрения правильной постановки гидродинамической проблемы представляется наиболее корректной. Действительно, так как Кипр представляет из себя остров размером около 140 км с юга на север и 230 км с запада на восток, взяв область для расчета размером порядка 300*400 км и поместив Кипр в центр расчетной области, мы вправе рассматривать задачу в канале в предположении, что на боковых стенках выполняется условие непротекания, а навстречу потоку возмущения

уменьшаются. Согласно данным метеослужбы Кипра, существуют два наиболее важных с точки зрения синоптических масштабов атмосферных процессов – западный перенос и южный ветер (из Африки). Большая часть осадков выпадает при западных ветрах. Поскольку, как и при обтекании Северного Израиля, решение задачи обтекания использовалось для моделирования задачи переноса примеси, необходимо сочетать решение задачи как для всего Кипра, так и для его основного курортного района Ларнака – Лимассол.

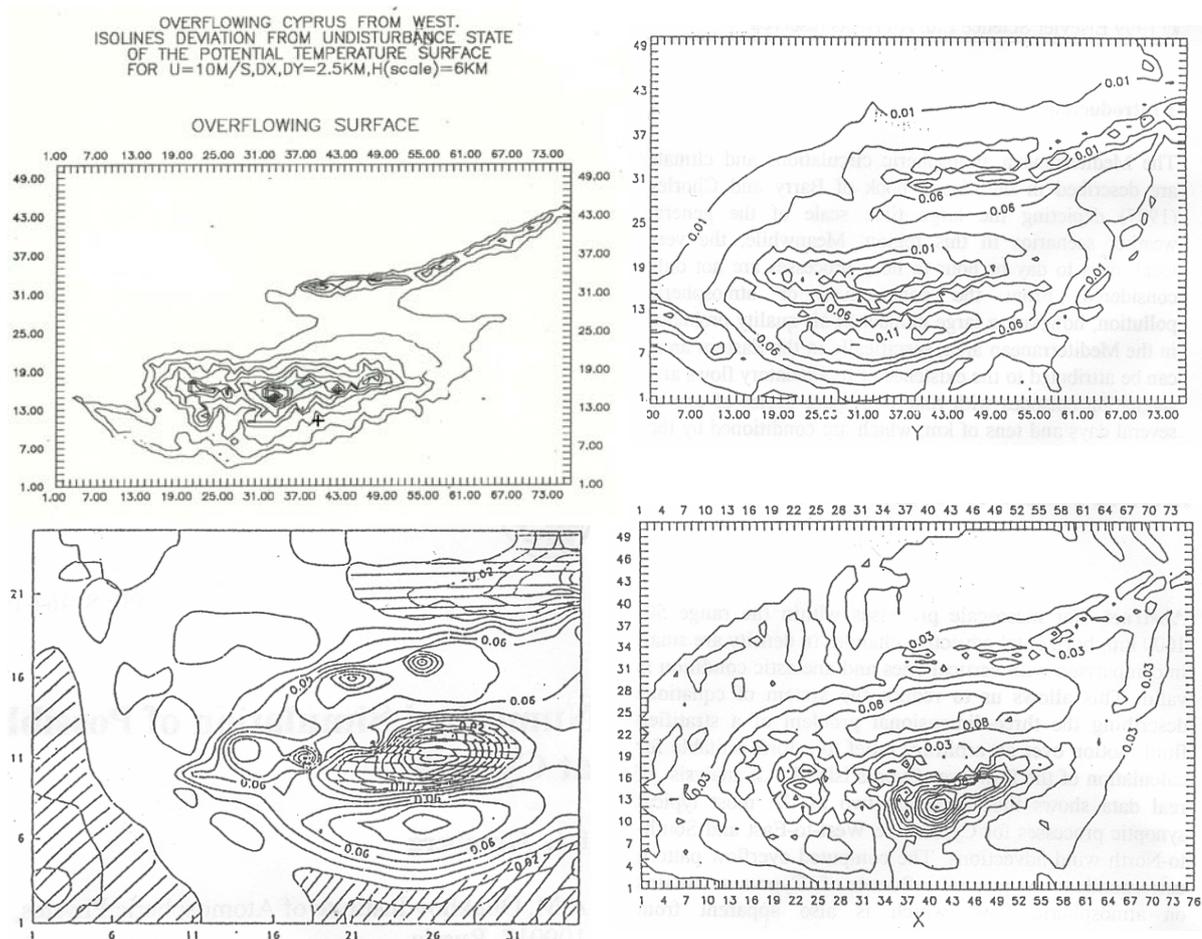


Рис. 5. Моделирование обтекания Кипра.

Выбор района Зиги для моделирования (мелкомасштабные процессы) был произведен из-за присутствия источников примесей. Шаг сетки по вертикали определяется необходимостью учета движений в нижних слоях атмосферы, и так как в соответствии с данными, для типичного нижнего атмосферного слоя высота инверсии равняется около 500 м.

Расчеты для этого региона с шагом сетки 2 км указывают на возможность возникновения застойных (слабо-проветриваемых) зон к югу от хребта

Профитис Елиас (рис. 6). При определенных условиях зоны проседания поверхностей потока могут возникать и между горами (рис. 5). Таким образом, даже чисто гидродинамическое моделирование обтекания различных горных районов Кипра может дать информацию и о местах торможения внешнего потока, (где развитие городской инфраструктуры и производство энергии, сопровождающееся выбросом загрязнений, нежелательно). Поэтому была дана рекомендация о желательном расположении крупной электростанции в районе, отмеченном крестиком на рис. 5.

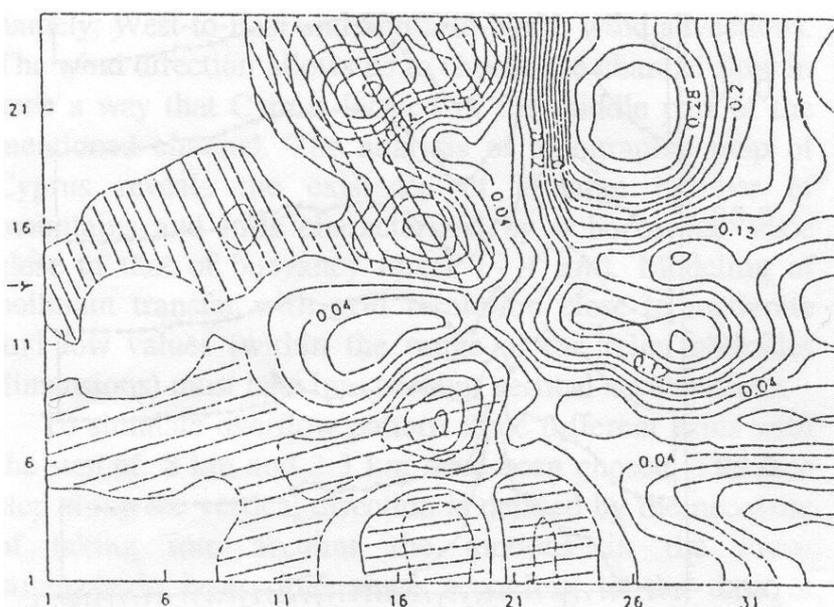


Рис. 6. Расчеты для региона Зиги с шагом сетки 2 км

Вторая глава посвящена исследованию влияния вновь опустыненных территорий на аэрозольное загрязнение атмосферы и на возникающие при этом экологические проблемы для окружающих регионов.

Можно выделить два типичных метеорологических процесса, приводящих к выносу пылесолевых частиц в атмосферу в аридных регионах: пыльные бури на холодном фронте и неоднородное нагревание барханной поверхности. Поскольку поверхность бархана наклонена к горизонту, то даже небольшой (1-2°C) перепад температуры на расстоянии 10 - 15 м вызывает микроциркуляцию типа горно-долинного ветра. Измерения перепада температуры на длине бархана дают величину 5-10°C. Эти микроциркуляционные ячейки охватывают приземный слой толщиной порядка нескольких десятков метров, но они включаются в более крупные ячейки,

обусловленные процессами в планетарном слое атмосферы, которые в свою очередь связаны с процессами субсиноптического и синоптического масштаба.

Процесс возникновения микромасштабных циркуляционных ячеек типа бриза и горно-долинного ветра, вызванных градиентами температуры на малых пространственных масштабах можно объединить общим термином “термоконвекция”. Несмотря на то, что термоконвекция вызывает слабые ветры - порядка 3-5 м/с, этого оказывается достаточным для создания и поддержания пылевых структур и, значит, пылесолепереноса.

В литературе, в основном, предполагается, что основным механизмом эрозии почвы при сильном ветре и эмиссии частиц почвы в атмосферу при пыльных бурях являются сальтационные процессы, при которых частицы с размерами порядка 20-100 мкм (такие частицы легче всего отрываются от поверхности турбулентными напряжениями). поднимаются в приповерхностном слое и при падении на поверхность выбивают частицы более мелких размеров, которые переносятся турбулентными движениями в высокие слои атмосферы. Сальтация крупных частиц почвы и является основным механизмом, инициирующем пыльную бурю. Существующие модели влияния аридных территорий на экспериментальные данные связывают параметры эмитированных поверхностью частиц с величиной динамической скорости в приземном пограничном слое u^* и не учитывают термоконвективные процессы, зависящие от нагрева поверхности.

Эмиссия почвенных частиц, происходящая в организованных вихревых структурах пограничного слоя (например, пыльные дьяволы), возникает при достаточно сильном ветре с динамической скоростью превышающей ~20 см/с. В тоже время, результаты проведенных натурных измерений указывают на возможность выноса тонкодисперсного аэрозоля из почвы в условиях, которые не классифицируются как пыльные бури (величина динамической скорости ниже критического значения). Наблюдаемые в экспериментах выносы тонкодисперсного аэрозоля с размерами частиц менее 1 мкм не могут быть объяснены подобным образом, за исключением случаев формирования в

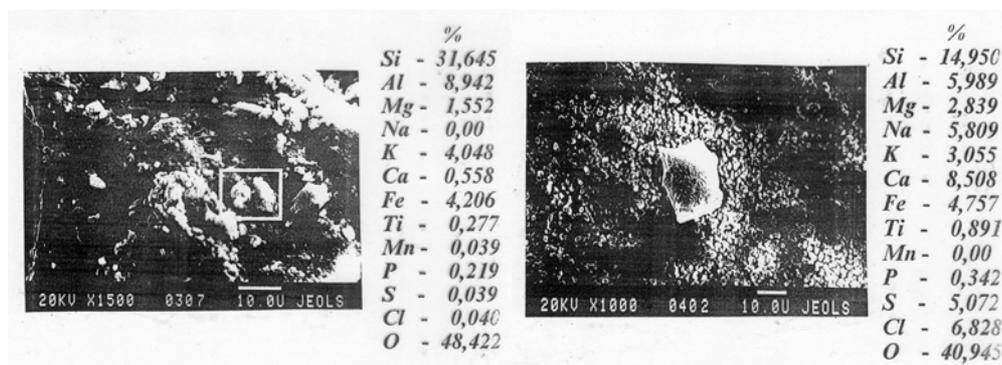
пограничном слое интенсивных вихрей (типа «пыльных дьяволов»), которые могут создавать локальные области с высокой скоростью потока. Однако, как показывают измерения, пыльные дьяволы обычно не поднимают тонкодисперсный аэрозоль. Однако, при обтекании неровностей подстилающей поверхности – барханов, в случаях сильной температурной неоднородности подстилающей поверхности, вызывающих усиление локальных ветров, тонкодисперсный аэрозоль может выноситься в атмосферу.

3 Полевые исследования – результаты и анализ данных

Проведенные в 1991-1992 гг. полевые экспериментальные исследования в Приаралье в соответствии с существующими в литературе представлениями были направлены на изучение влияния пыльных бурь на атмосферу и условий формирования интенсивных вихревых структур, термиков и "неподвижных столбов" (вертикальных струй).

Эти комплексные экспериментальные исследования были продолжены в 1995-1999гг в единственной в Европе пустыне (Черные земли Калмыкии), Они включали наземные и самолетные измерения выносов и распределения аэрозоля в пограничном слое. При полевых исследованиях использовались локальные датчики и дистанционные методы зондирования, включая оптические, акустические и лидарные. Анализ данных по распределению аэрозоля и метеорологических данных показал присутствие в атмосфере значительного количества тонкодисперсного аэрозоля(<3-5 мкм), поднимаемого в атмосферу при жаркой маловетреной погоде с относительной влажностью воздуха ниже 40%.

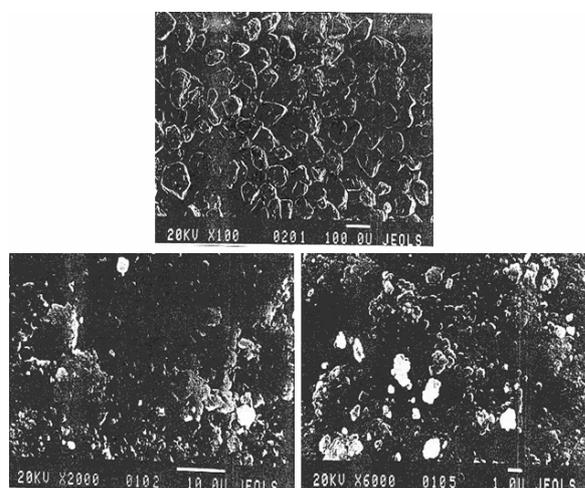
Анализ функций распределения аэрозольных частиц вблизи поверхности Земли и при самолетных измерениях на высоте~1км показал, что в отсутствие сильного ветра в воздух поднимаются частицы(<3-5 мкм). При этом проводился анализ содержания элементов с использованием оптической и электронной микроскопии в грунте и пробах аэрозоля во время полётов на самолёте, который показал различие элементного состава приземного аэрозоля и самолетных проб.



Содержание элементов в грунте и пробах аэрозоля во время полётов на самолёте в 1996 году

Рис. 7.

Таблица 1.



Относительное содержание в грунте пустынь частиц различных размеров.

| Размер частиц, мкм | <1 | 1-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-50 | 50-250 |
|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| Калмыкия | | | | | | | |
| Содержание % | 6.2 | 2.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 2.5 | 86.6 |
| Дубаи | | | | | | | |
| Содержание % | 1.78 | 0.44 | 0.11 | 0.34 | 0.15 | 0.35 | 96.36 |

Рис 8. Фотографии одной и той же частицы грунта размером более 100 мкм в масштабе 100, 10 и 1 мкм.

Причина состоит в том, что в агрегатных частицах аридного аэрозоля содержится значительное (даже по массе) количество тонкодисперсного аэрозоля. В аридных ландшафтах ночью из-за высокой влажности происходит слипание более крупных частиц с мелкими и образование агрегатных частиц размером 80-150 мкм, днем же при высоких температурах воздуха поверхность земли нагревается, в приземном слое образуется значительный температурный градиент. При этом происходит дегидратация агрегатных частиц с выделением тонкодисперсных частиц (0.01-0.5 мкм). Анализ полученных данных показывает, что интенсивность выноса почвенных частиц в атмосферу прямо зависит от погодных условий. Как только устанавливается жаркая погодная ситуация даже

на короткий срок (несколько десятков минут) начинается вынос тонкодисперсного аэрозоля. При этом возникают микроинверсионные слои, и концентрация частиц под ними начинает расти с высотой. Однако, при изменении этой ситуации вследствие появления облачности или других явлений, снижающих нагрев почвы, вынос резко уменьшается.

Из литературы известно, что вынос аэрозоля из вновь опустыненных регионов в несколько раз превышает вынос из “старых” пустынь, хотя с количественной стороны мощность таких источников аридного аэрозоля и интенсивность выноса такого аэрозоля пока недостаточно изучены. Различие в количестве выносимого тонкодисперсного аэрозоля между новыми и старыми пустынными регионами объясняется установленным в ходе наших предшествующих исследований различным содержанием в агрегатных (размером 150-200 мкм) частицах, из которых состоят пустыни, тонкодисперсного аэрозоля. Так, например, в песках Калмыкии и Приаралья содержится (по массе) до 10% тонкодисперсного аэрозоля размером до 5 мкм, а в песках Дубая в 3-4 раза меньше.

Согласно данным наших исследований установлено, что вынос аэрозоля осуществляется при различных типах конвективных процессов: от небольших вихрей и термиков до колонн или столбов больших размеров высотой до 2 км и продолжительного времени жизни, возникающих в безветренную погоду над термически и рельефно неоднородной барханного типа пустыней в сухую жаркую погоду. Интенсивность эмиссии зависит от характеристик ландшафта и пограничного слоя. Экспедиционные исследования показали, что в отсутствие пыльных бурь наиболее существенное значение для выноса имеют конвективные и вихревые структуры в неустойчивом пограничном слое, потоки у неровностей. Впервые установлено, что в сухую жаркую погоду над песчаными барханными ‘блюдцами’ на высоте 1-2 м возникают микроинверсии температуры и влажности. По нашим наблюдениям, этот процесс происходит при температурах воздуха выше 25°C и относительной влажности <40%. При этом градиент температуры в нижнем (5 см) слое достигает в отсутствие

внешнего ветра 200-500 К/м, т. е. возникает сильно неустойчивый приповерхностный пограничный слой. В ходе наших исследований впервые особое внимание уделялось изучению механизмов выноса тонкодисперсного (<400 нм) аэрозоля. В результате наших исследований была выдвинута и обоснована гипотеза о структуре пограничного слоя атмосферы в аридных регионах и впервые было установлено, что механизмы подъёма субмикронного аэрозоля размером менее 400 нм, и более крупного аэрозоля, различны.

Рис. Структура атмосферного пограничного слоя в пустынных регионах

Рис. 9. Вихрь высотой около 20 м (сверху); пылевые столбы (в середине), которые в

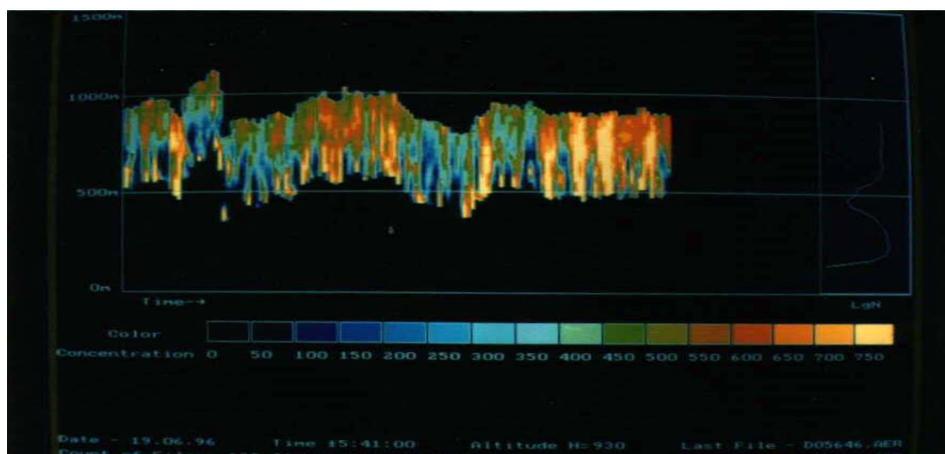


дальнейшем образуют аэрозольные «пузыри», поднимающиеся в верхнюю часть АПС (внизу).

Согласно нашим исследованиям, при дегидратации агрегатных частиц, состоящих из частиц размером 80–150 мкм, выделяется тонкодисперсный аэрозоль. Эти тонкодисперсные частицы (10–400 нм) вначале скапливаются в приповерхностном слое, а затем за счет сильного температурного (вертикального и горизонтального) градиента проходят сквозь вязкий подслой и

в виде вихрей или просто конвективных потоков поднимаются в верхнюю часть пограничного слоя атмосферы, где образуют аэрозольные облака, которые переносятся на дальние расстояния. В ходе экспедиционных исследований наблюдались различные структуры: движущиеся вихри с высотой в несколько десятков метров (при средней скорости ветра 4–8 м/сек), практически неподвижные колонны с высотой более 100 м и временем жизни 10–20 мин. (при слабом ветре). Указанные структуры регистрировались только при слабом ветре (до 4 м/сек).

Лидарные измерения показали существование различных структур аэрозольных облаков: с ясно выраженной стратификацией и без нее. Были зафиксированы различные стадии развития пылевых выносов: подынверсионные аэрозольные слои и пылевые столбы в области выноса. Обнаружено существование тонких аэрозольных слоев (около 100 м) с относительно высокой концентрацией.



Пространственная структура распределения аэрозоля в пограничном слое. Лидарные измерения с борта самолёта на высоте 1 км в Калмыкии.

Рис. 10.

Измерения в нижней части пылевых столбов на высоте 0,5–1 м показали, что температура воздуха в столбе превышает температуру окружающего воздуха на 1–2°C и на больших высотах практически сравнивается с температурой окружающего воздуха. Получена база данных, включающая значения массовой концентрации частиц и распределения частиц аэрозоля по размерам в атмосфере на трех высотах 0,5 м, 1 м и 2 м, а также значения скорости ветра, температуры и

относительной влажности воздуха. При анализе обработанных данных экспериментальных натуральных и лабораторных исследований механизмов выноса и переноса частиц в атмосферу установлено, что существуют несколько механизмов поступления тонкодисперсных частиц в атмосферу из приповерхностных горизонтов пустынных почв в зависимости как от погодных условий, так и от размеров частиц. Также установлено, что возникновение пылевых столбов в пустыне при слабом ветре (не более 1–2 м/с) в солнечную погоду происходит при генерации потока мелких частиц с диаметром порядка 0,05–0,4 мкм с поверхности песчаного грунта. Механизм выноса аэрозолей, характерный для песчаных бурь, здесь не действует, поскольку он связан с наличием отрывных течений в пограничном слое, и для его проявления необходимо, чтобы скорость ветра была порядка десяти метров в секунду. Приповерхностный слой атмосферы в аридных районах в жаркую сухую погоду обычно характеризуется сильным градиентом температуры (как показывают измерения в Калмыкии, его величина может превышать 10 К/см), что создает условия для преодоления частицами тонкодисперсного аэрозоля вязкого подслоя. Поэтому этот фактор, вероятно, является одной из основных причин, способствующих эмиссии тонкодисперсного аэрозоля в атмосферу при слабом ветре. В ходе наших исследований была исследована зависимость распределения концентрации аэрозоля по высоте от термической стратификации пограничного слоя. При устойчивой стратификации, (когда потенциальная температура повышается, в то время как энергия турбулентности уменьшается с высотой), концентрация в целом экспоненциально падает по высоте. При неустойчивой стратификации наблюдались кратковременные явления роста концентрации аэрозоля с высотой, связанные, по-видимому, с микроинверсиями температуры и влажности. При конвекции концентрации пыли стремятся к константе. Конвекция зарождается в неустойчиво стратифицированном слое, образуемом у поверхности земли при нагреве ее солнечным излучением, и является механизмом, с помощью которого потенциальная энергия этого слоя переходит в кинетическую энергию вертикальных и горизонтальных движений.

Начальными импульсами для развития конвекции служат микромасштабные возмущения, всегда присутствующие в приземном слое. При неустойчивой стратификации эти возмущения быстро вырастают до размеров крупных вихрей, называемых термиками. Под действием сил плавучести термики приобретают значительные скорости подъема и могут проникать в расположенный выше устойчивый слой. Рассматриваемая конвекция является одной из форм термической турбулентности и имеет широкий спектр размеров турбулентных вихрей. Проявлением такой конвекции в атмосфере являются облака "хорошей погоды".

Конвекция является важным фактором тепло- и массопереноса в атмосфере, и способна поднять большое количество соли и пыли в верхние слои атмосферы.

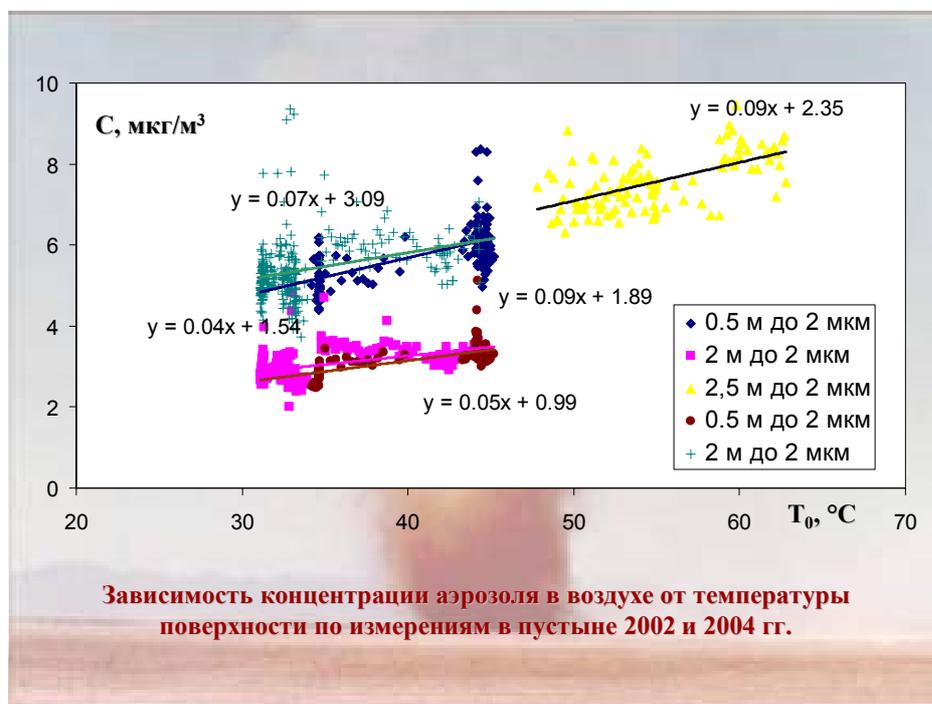


Рис. 11.

Проведенная систематизация экспедиционных исследований и корреляционный анализ результатов измерений позволяют выделить три различные ситуации, характеризующих корреляционные связи между массовыми концентрациями частиц различных фракций, а именно: ветровой вынос, термоконвективный вынос и промежуточное состояние, когда присутствуют элементы как ветрового, так и конвективного выноса.

На основании анализа результатов экспедиционных измерений потока

выноса тонкодисперсного пустынного аэрозоля для случаев термоконвективного выноса при слабом ветре и жаркой погоде можно установить следующие закономерности. В предположении, что механизм перемешивания воздуха в приповерхностном слое при большом вертикальном градиенте температуры (температура поверхности 50–60 градусов, относительная влажность 20–30%, ветер 2–3 м/с) практически не отличается от механизма свободной конвекции, автором предложена эмпирическая формула для оценки потока выноса тонкодисперсного (меньше 0,4 мкм) пустынного аэрозоля с использованием формул для турбулентного потока тепла q и коэффициента обмена

$$K_q = 0,14 H^{1/2} |\Delta T|^{3/2} \text{ кал/см}^2 \text{ мин},$$

$$K(H) = 0,13 H^{3/2} |\Delta T|^{1/2} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$F = k_0 (\Delta T)^{1/2} \frac{dC}{dz} \text{ при } \varphi_0 < 0,3 \text{ и } \eta \leq 2, \text{ где}$$

F – поток выноса тонкодисперсного аэрозоля,

$$k_0 = 0,0325 \text{ м}^2/(\text{К}^{1/2} \cdot \text{с}),$$

φ_0 – относительная влажность воздуха на высоте 1,5 м в долях от 1,

T – температура воздуха (на 0,5 и 2 м),

C – концентрация аэрозоля <2 мкм (на высотах 0,5 и 2,5 м),

η – облачность в баллах.

$$\text{Или приближённо } F \approx k_0 (\Delta T)^{1/2} \frac{dC}{dT} \frac{dT}{dz}$$

и при $dT = 15 \text{ К}$, $dz = 0,5 \text{ м}$, $dC/dT = 0,07 \text{ мкг/К}$, $k_0 = 0,0325 \text{ м}^2/(\text{К}^{1/2} \cdot \text{с})$, получаем количественную оценку потока выноса тонкодисперсного аридного аэрозоля: $F \sim 0,3 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ для вертикального потока массы частиц с аридных участков поверхности. Заметим, что в численных моделях, учитывающих вынос аридного аэрозоля из пустынь, при обычно используемых формулах:

$$Q_{i,j,l} = C_1 C_2 u_{i,j,l}^{*2} (1 - u_{0,i,j,l}^* / u_{i,j,l}^*) W_{i,j,l} R_{i,j,l} \quad F = C \times u_*^4 \left(1 - \frac{u_*^t}{u_*}\right) \times (1 - f_l R_l) \quad u_* \geq u_{*t},$$

u^* учитывается, когда она больше 0,4 м/с.

Вынос тонкодисперсного аридного аэрозоля растёт пропорционально росту

температуры поверхности: $C = k * T^*$, где C – концентрация тонкодисперсного аэрозоля, T^* – температура поверхности, k – коэффициент. Таким образом, вынос тонкодисперсного аэрозоля из пустынь можно оценивать по температуре поверхности, которую можно получить из спутниковых данных. Это позволяет включать в численные модели влияния опустыненных территорий на атмосферу оценку выноса тонкодисперсного аэрозоля при малых скоростях ветра, что ранее никогда не делалось.

В третьей главе рассмотрены исследования некоторых экологических проблем, вызванных аэрозольным загрязнением атмосферы над территорией России.

Целью комплексных измерений концентраций малых газовых примесей и аэрозолей в атмосфере с помощью вагона-лаборатории являлось получение информации об экологическом состоянии регионов, влиянии железной дороги на загрязнение атмосферы и почв вдоль железнодорожного полотна, а также данных для верификации математических моделей, описывающих перенос и трансформацию примесей в атмосфере.

Анализ результатов комплексных измерений концентраций малых газовых примесей и аэрозолей в атмосфере, полученные с борта вагона-лаборатории ВНИИЖТ МПС в экспедициях по маршруту Москва–Хабаровск–Москва в 1998, 1999 и 2001 гг., выполненных при участии автора как координатора программы аэрозольных измерений, показал, что, несмотря на различие по рельефу, общим климатическим особенностям и повышением массовой концентрации аэрозолей в промышленных центрах для всех пяти исследованных природно-территориальных комплексов (ПТК) среднее значение массовой концентрации аэрозоля в летний период изменялось от 20–30 мкг/м³ в дневные часы, до 30–40 мкг/м³ в ночные часы, что характерно для изменения суточного хода аэрозоля. В тех случаях, когда измерения проводились в одно и то же время, достаточно близок и ход изменения массовой концентрации. В шлейфах промышленных центров, а также в городах, среднее значение массовой концентрации аэрозоля повышалось до 100–120 мкг/м³. В выходные дни

среднее значение массовой концентрации аэрозоля ниже, чем в рабочие, в несколько раз. В зимний период среднее значение массовой концентрации аэрозоля во всех пяти исследованных природно-территориальных комплексах составляло 20–30 мкг/м³ как в дневные, так и в ночные часы, и было ниже, чем в летнее время. Также наблюдается суточный ход изменения массовой концентрации аэрозоля. В большинстве промышленных центров и городах значение массовой концентрации аэрозоля повышается до 80- 100 мкг/м³, что также ниже, чем в летнее время.

Анализ элементного состава атмосферного аэрозоля показал, что суммарная массовая концентрация макрокомпонентов в летний период существенно превышает их содержание зимой, что можно объяснить более высокой степенью выноса и последующей эмиссией в атмосферу аэрозолей с поверхностных слоев почвы региона и грунта полотна железной дороги. Суммарная массовая концентрация микрокомпонентов в зимний период превышает летнюю практически во всех ПТК, за исключением Дальневосточного региона. Данное обстоятельство указывает на наличие дополнительных техногенных источников поступлений аэрозолей в атмосферу в этот период.

Исследования по влиянию региональной урбанизации на качество воздуха и экологию окружающей среды выполненное под руководством автора в рамках государственного контракта от 01 августа 2007 г. № 02.515.11.5081 включало анализ многолетних данных измерений аэрозольных характеристик атмосферы мегаполисов Москвы и Пекина по концентрации субмикронных частиц, по содержанию сажевой компоненты и по параметру конденсационной активности.

Анализ близких по мощности источников загрязнения атмосферы мегаполисов Москвы и Пекина показал, что существенно различающиеся условия адвекции и конвекции в атмосфере этих городов, приводят к значительным различиям в уровнях загрязнения атмосферы – в Пекине они существенно выше как в среднем, так и в экстремальных случаях. Вместе с тем наиболее вероятные уровни загрязнения в осенний период, как приземных

концентраций сажи и субмикронного аэрозоля, над городом Пекином не на много выше, чем средние значения для осеннего периода измерений в Москве.

Экстремальные уровни загрязнения в Пекине наблюдаются, в основном, при южных и юго-восточных направлениях ветра в сочетании с температурными инверсиями и малым изменением скорости ветра с высотой.

Проведенные одновременные измерения параметров аэрозолей в городах Москва и Пекин показали, что массовая концентрация аэрозольных частиц в измеряемый период в некоторые дни существенно превышает допустимые концентрации и достигает 1000 мкг/м^3 в Пекине и 800 мкг/м^3 в Москве, что связано, по-видимому, с наличием большого количества транспорта. В отдельные дни концентрация аэрозолей падает ниже предельно допустимой и составляет порядка 30 мкг/м^3 , что, видимо, связано со сменой воздушных масс.

Установлено, что как в Москве, так и в Пекине воздействие загрязненного атмосферного воздуха на здоровье людей сочетается с негативным воздействием климатических факторов. Разработанные методические рекомендации по учёту влияния загрязнения городской атмосферы Москвы и Пекина на здоровье людей включает в себя как комплексное изучение состояния загрязнённости атмосферы (особенно в случае возникновения инверсий, ведущих к резкому нарастанию загрязнения воздуха), так и оценку влияния климатических и метеорологических факторов с одновременным контролем степени биотропности погоды у метеочувствительных людей при различных типах погоды: антициклоническом, циклоническом и фронтальном, вызывающих изменения артериального давления и другие отрицательные реакции организма.

Важно было выявить вклад городских, региональных и природных источников в загрязнение атмосферы. Поэтому особое внимание было уделено исследованию влияния региональных факторов на состояние качества воздуха. Синхронные измерения концентрации субмикронного аэрозоля, проведенные на фоновой региональной станции ИФА КАН (гора Синлун 150 км северо-восточнее г. Пекина на высоте 1000 м над уровнем моря), показали

хорошую корреляцию уровней загрязнения с мегаполисом, как для сажи, так и тонкодисперсного аэрозоля. При этом в период наблюдений с 29 октября по 12 ноября наблюдались три смога как в Пекине, так и в 150 км от него с высокой концентрацией не только тонкодисперсного аэрозоля но и сажи и бенз(а)пирена.

- Типичные примеры измерения загрязнения атмосферы в Москве и Пекине



Междугодичная изменчивость массовой концентрации субмикронного аэрозоля в приземном слое городов Пекин и Москва по данным осенних измерений 1992 - 2006 годов.

Рис. 12.

В отличие от г. Москвы на качество воздуха в г. Пекине существенное влияние оказывают крупные промышленные объекты, находящиеся от г. Пекина в радиусе порядка 1000 км. Смоги Пекина – это более трети всех состояний воздушного бассейна города, они мелкодисперсны, основной размер частиц находится в пределах 0,2–0,4 мкм. Они хорошо аппроксимируются одномодальным логнормальным распределением. В смоговых ситуациях высокие концентрации примесей распространяется на обширную территорию, охватывая регион размером 300–500 км. С одной стороны, такое скопление аэрозоля и парниковых газов оказывает существенное влияние на климат, а с другой стороны, на здоровье населения на большой территории.

Таким образом, существенная часть аэрозольного и сажевого загрязнения как в Пекине, так и в Москве обусловлена вкладом региональных источников.

При анализе условий возникновения локальных аэрозольных выносов в особо охраняемом эколого-курортном регионе Кавказские Минеральные Воды,

установлено, что средняя картина поведения примесей во всех обследованных городах Кавказских Минеральных Вод практически тождественна. В утренние часы по мере активизации автотранспорта в приземном воздухе быстро нарастает концентрация NO , субмикронного и сажевого аэрозоля от 30 до 150 мкг/м^3 , особенно в случаях сжигания сухой травы или мусора. Измерения на Кисловодской высокогорной станции (высота более 2 км) позволяют, в сочетании с траекторным анализом движения частиц на высотах 2-3 км, зафиксировать дальний трансграничный перенос аридного аэрозоля из пустынных регионов – Калмыкии, Турции или Сахары.

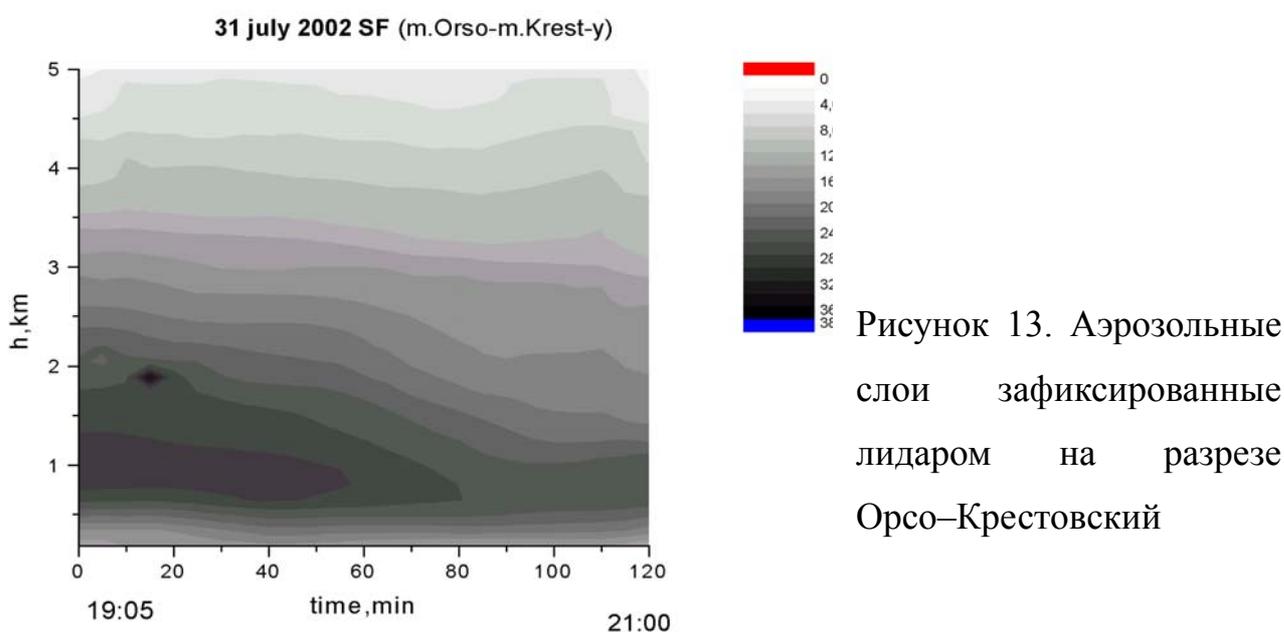


Рисунок 13. Аэрозольные слои зафиксированные лидаром на разрезе Орсо–Крестовский

Исследования пространственно-временной изменчивости динамики переноса примесей в атмосфере над акваторией Байкала зафиксировали явление трансграничного переноса через Приморский хребет из региона Иркутска, Ангарска, Черемхова. Выполненные ранее исследования показали, что южная котловина оз. Байкал загрязнена значительно сильнее северной части Байкала вследствие трансграничного переноса через Приморский хребет и по долине Ангары из региона Иркутска, Ангарска, Черемхова. Одной из причин этого является орографические особенности региона Байкала. Основные воздушные потоки западного и северо-западного направлений в атмосферном пограничном слое перетекают через Приморский хребет, ибо Байкальский хребет значительно выше.

Результаты оценки корреляции химических элементов в приземном аэрозоле с их содержанием в гидрозоле поверхностного слоя воды реки Обь; свидетельствуют о том, что во время отсутствия крупномасштабных вторжений воздушных масс на территорию Западно-Сибирской низменности содержание элементов в приземном аэрозоле в существенной мере коррелирует с их содержанием в веществе, взвешенном в обской воде. Тем самым констатируется общность механизмов обогащения этих взвесей химическими элементами: поступления в воду и воздух частиц почво-грунтов со сходным элементным составом на обширных пространствах водосбора и формирования приземной аэрозольной компоненты атмосферы.

На основании созданной автором стратегии проведения самолетных измерений трансконтинентального переноса атмосферных загрязнений над территорией России для разных сезонов выработаны критерии благоприятных и неблагоприятных условий для проведения самолетных измерений концентраций компонентов. Разработана технология стартового метеорологического обеспечения для проведения самолетных измерений и проведено предварительное моделирование переносов примеси с помощью подготовленной системы прогноза изменения метеорологических параметров с использованием специальной версии мезомасштабной метеорологической модели MM5.

Разработанная модель расчета распространения компонентов ракетного топлива (КРТ), выбрасываемых в атмосферу на пассивном участке движения ракеты-носителя (РН) протестирована при проведении самолетного эксперимента по лидарному зондированию выброса гарантийного запаса окислителя в результате разрушения второй ступени РН “Протон-К” при входе в плотные слои атмосферы (пуск от 16 июня 2001 г.). Установлено, что при снижении до высоты порядка 10–12 км облако попадает в атмосферу с довольно высоким содержанием влаги. Здесь окислитель вступает в реакцию с парами воды. Эти реакции, конечным результатом которых является азотная кислота, идут со значительным выделением тепла, в результате чего облако и

окружающая атмосфера нагревается, и парогазовая смесь практически прекращает оседать.



Рис. 14. Фотография рассеивания парогазового облака из компонентов ракетного топлива.

Глава 4 посвящена исследованию влияния климатических, метеосиноптических и антропогенных факторов на здоровье населения

Различные сочетания параметров погоды вызывают различные виды ответных реакций. Здоровый человек легко приспосабливается к довольно значительным изменениям состояния атмосферы, однако, тем не менее, только в определенных границах, выше или ниже которых могут возникать стрессовые ситуации или катастрофы (чрезмерная жара – температура воздуха выше $+40^{\circ}\text{C}$, чрезмерный холод температура воздуха ниже -40°C ; ураганы; атмосферные вихри; крупный град; высокие перепады давления воздуха и др.). У больного человека приспособительные возможности к воздействию атмосферных процессов ослаблены, поэтому порог их чувствительности к этим воздействиям снижен.

Проведенные в последние десятилетия комплексные климато-медико-физиологические исследования выявили наличие высокой чувствительности людей с заболеваниями органов кровообращения, дыхания, нервной системы, пищеварения к воздействию погодных условий, гелиогеофизических факторов и содержания примесей в приземной атмосфере. Это подтверждается как клиническими наблюдениями, так и состоянием жизнеобеспечивающих систем организма метеочувствительных людей.

Исследования в этом направлении в нашей стране начались с работ профессора И. И. Григорьева. Наблюдения показали, что при неблагоприятной погоде метеопатические реакции развиваются не только у больных, но и у 35–45% практически здоровых людей, обладающих повышенной метеолабильностью, в том числе у детей разного возраста.

В период прохождения атмосферного фронта отмечаются наиболее резкие изменения всего погодного комплекса (температуры, давления, влажности воздуха, часто сопровождающихся обильными осадками, сильными ветрами).

На опасное влияние атмосферных загрязнений на больных, страдающих кардиосклерозом, гипертонической болезнью и др., еще в середине 80-х годов обратил внимание первый директор Института физики атмосферы АН СССР академик АН СССР А. М. Обухов.

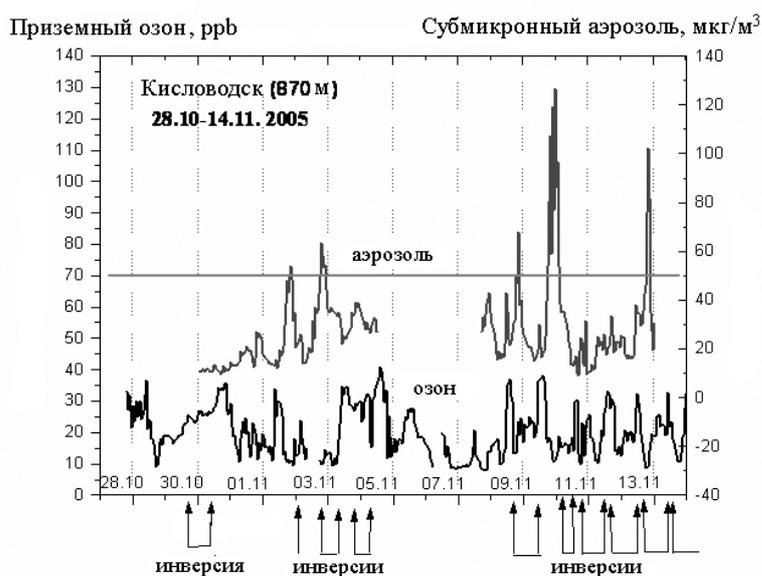


Рис. 15. Концентрации субмикронного аэрозоля и озона в приземном слое воздуха в г. Кисловодске осенью 2005 года. Горизонтальной линией обозначена предельно допустимая концентрация (ПДК) субмикронного аэрозоля для курортов КМВ.

Также отмечены инверсии температуры в приземном слое атмосферы, способствующие накоплению в воздухе загрязняющих примесей.

При резком увеличении аэрозольного загрязнения городов Кавминвод за счёт прихода загрязнённой массы воздуха из района Запорожья при ясном небе и хорошей погоде на следующий день было отмечено несколько предположительно связанных с этим летальных исходов. В последние годы, в связи с пониманием обстоятельства, что понятие неблагоприятных синоптико-метеорологических условий обязательно должно включать оценку

уровня атмосферных загрязнений, автором были инициированы исследования в плане разработки критериев неблагоприятности погодных условий.

Для наиболее распространенных аэрозольных загрязнителей в ходе наших исследований выявлены критерии для оценки уровней отклонений от фона и установлены пределы чувствительности человека к воздействию различных метеорологических величин и загрязнений атмосферы, т. е. «критерии» биотропного действия различных элементов погоды. В 2004–2005 гг. на базе курортов КМВ была создана система оперативного медицинского прогноза погоды, предусматривающая синоптико-метеорологический мониторинг, оперативное выявление биотропных погод и гелиогеомагнитных ситуаций, систему оповещения медицинских учреждений курортов и отдыхающих с целью проведения плановой и экстренной метеопрофилактики. В качестве основы разработанного нами ОМПП используется типизация биотропных погодных условий на основе анализа биоклиматограмм и одновременного мониторинга состояния здоровья людей с различными заболеваниями.

Табл. 2.

| МЕДИЦИНСКИЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ПО КАРДИОЦЕНТРУ И ЦКБ на 1 июля 2008 | | | | | | |
|--|--|------|-------------|------|---------------|------------|
| Метеорологические элементы | 21:00-09:00 | | 09:00-21:00 | | ср. климатич. | |
| | Мин | Макс | Мин | Макс | ночь | день |
| Температура воздуха, °С | 11 | 21 | 15 | 23 | 14.май | 20.январь |
| Скорость ветра, м/с | 2 | 6 | 2 | 6 | 01.январь | 02.февраль |
| Направление ветра, румбы | С-З | СЗ | С | СЗ | | |
| Общая облачность, баллы | 2 | 10 | 8 | 10 | 05.июнь | 07.январь |
| Нижняя облачность, баллы | 2 | 10 | 8 | 10 | 03.январь | 05.март |
| Относительная влажность воздуха, % | 58 | 89 | 48 | 91 | 85 | 60 |
| Атмосферное давление, мм рт. ст. | 741 | 743 | 740 | 742 | 741.0 | 741.0 |
| Весовое содержание кислорода, г/м ³ | 265 | 279 | 263 | 275 | 281.1 | 275.8 |
| Эффективная температура, усл. | 10 | 19 | 13 | 21 | | |
| Сумма осадков, мм за 12 часов | временами осадки | | | | | |
| Уровень биологически активного излучения Солнца | Слабо выраженная биологическая активность УФВ солнечной радиации | | | | | |
| Влияние суммарного излучения Солнца на теплоощущение людей | Слабо ощущимо | | | | | |

| МЕДИЦИНСКИЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ПО КАРДИОЦЕНТРУ И ЦКБ на 1 июля 2008 (продолжение) | |
|--|--|
| Геомагнитная активность | Геомагнитная обстановка спокойная с отдельными слабовозмущенными периодами (А _p =4) |
| Неблагоприятные атмосферные явления | Временами осадки. Высокая внутрисуточная изменчивость содержания кислорода в атмосфере. Периодами высокая влажность воздуха |
| Варианты дискомфорта по уровню загрязнения приземной атмосферы | |
| Возможные варианты дискомфорта | Прохладо-комфортные условия. Периодами явления природной «духоты» и природной гипоксии |
| Стратификация атмосферы | Неустойчивый тип стратификации атмосферы. Ложбина. Теплый фронт |
| Вероятный клинический синдром метеопатической реакции | Слабый, а временами умеренный риск появления метеопатических реакций у больных М2, М3 (ГБ, ВСД, ИБС, сосудистыми расстройствами и др.) |
| Медицинский тип погоды | 2-Б - относительно благоприятный, во второй половине дня периодами 3-Б - неблагоприятный |
| Потребность в медицинском контроле | Возможно больным М3, периодами М2, М3 |
| Плановая метеопрофилактика | Всем больным в качестве плановой профилактики метеопатических реакций показаны аэронофитотерапия, климатолечение, лечебная физкультура, прогулки на свежем воздухе, витаминные отвары и другие оздоравливающие процедуры |
| Рекомендации по проведению дополнительного обследования | Плановое обследование больных. Дополнительное обследование на усмотрение куратора, в связи с прохождением влажного теплого фронта |

На основании проведенных исследований разработана модель количественной оценки взаимосвязи метеопатий от погодных, геофизических и антропогенных факторов в форме комплексного ИПП, включающего около 50 метеорологических и 20 параметров загрязнения атмосферы путем интегрирования выпадающих в фиксированные промежутки времени дифференцированных по степени патогенности различных факторов погоды:

$$\text{ИПП} = \text{СТП} * [k_1 T + k_2 \Delta T_{\text{мс}} + k_3 \Delta T_{\text{кн}} + k_4 P + k_5 \Delta P_{\text{мс}} + k_6 \Delta P_{\text{кн}} + k_7 V + k_8 N + k_9 (\text{UF-B})/N + k_{10} e + k_{11} \text{O}_2 + k_{12} \Sigma I/\text{KUI} + k_{13} \text{O}_3 + k_{14} \text{CA} + k_{15} \text{ИЗА} + k_{16} \text{ПЗА} + k_{17} S]/n,$$

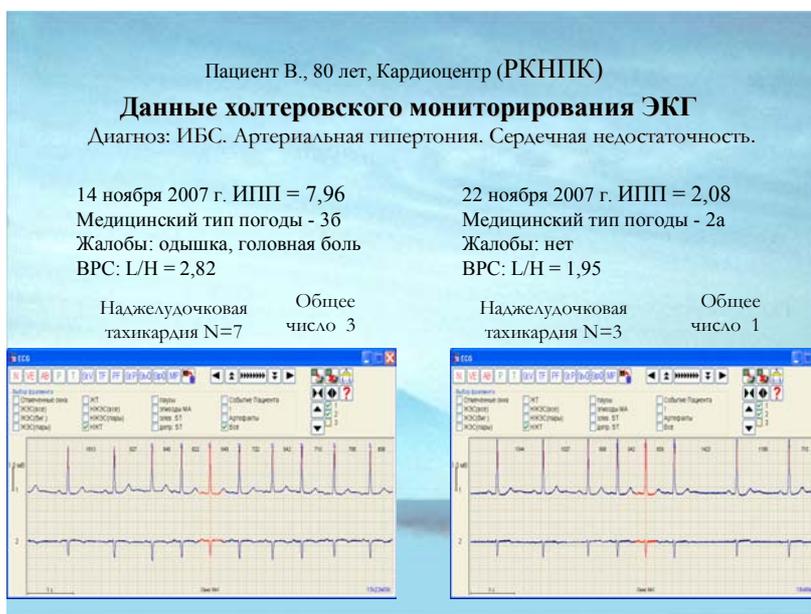
где: **ИПП**—индекс патогенности погоды (определяется для каждого компонента погоды, а затем суммируется и делится на число рассмотренных погодных компонентов); **СТП** – синоптический тип погоды; **ЭЭТ** – эквивалентно-эффективная температура для нормально одетого человека, условная температура; **ΔT_{мс}** – межсуточная изменчивость температуры воздуха в град. С; **ΔT_{кн}** – отклонения температуры воздуха от средней климатической нормы для данного дня или промежутка времени в град. С; **ΔT_{вс}** – внутрисуточная амплитуда температуры воздуха, град. С; **ΔP_{мс}** – межсуточная изменчивость давления воздуха в гПа; **ΔP_{кн}** - отклонения давления воздуха от средней климатической нормы в гПа; **V** – скорость ветра в м/с; **N** – площадь покрытия небосвода нижней облачностью в %; **UF-B** – интенсивность суммарной эритемогенной ультрафиолетовой солнечной радиации, мэр/м²; **f** – относительная влажность воздуха, %; **O₂** – весовое содержание кислорода в приземной атмосфере в г/м³; **KUI** – коэффициент униполярности ионов в приземной атмосфере в э.з./см³; **O₃** – уровень концентрации приземного озона (среднечасовые в ppb); **CA** - уровень массовой концентрации субмикронного аэрозоля, мкг/м³; **ИЗА** - индекс загрязнения атмосферы, **ПЗА** - потенциал загрязнения атмосферы, **S** – опасные атмосферные ситуации; **Ap** – индекс геомагнитной активности; **n** – число рассматриваемых параметров; **k₁; k₂; k₃; k₄** и т.д. – коэффициенты, величина которых зависит от степени биотропности выделенных выше компонентов погоды.

ИПП определяется для каждого синоптического типа погоды: **A** – антициклонический тип атмосферной циркуляции; **B** – циклонический тип атмосферной циркуляции; **B** – фронтальный тип атмосферной циркуляции.

Интеграл ИПП, разработанный для условий низкогорного курорта (региона Кавказских Минеральных Вод) для «фронтальных погод» оказался в три и более раз выше, чем для благоприятных и относительно благоприятных

погод. Система Медицинского прогноза погоды (МПП) и модель ИПП в настоящее время апробируется для Москвы и Московского региона с целью уточнения методики предсказания неблагоприятных типов погоды для мегаполисов.

Рис. 14. Данные холтеровского мониторинга ЭКГ



При этом нами, в отличие от ранее составлявшихся Медицинских прогнозов погоды (МПП), обычно учитывавших только метеорологические факторы, в ОМПП включены порядка 20 факторов загрязнения атмосферы. Это особенно важно, поскольку в последнее время в различных регионах России составлялись медицинские прогнозы погоды по упрощённой схеме, недостаточно учитывающей многообразие метеопроцессов, и вообще не учитывающей уровень атмосферных загрязнений и других факторов состояния

Возможность применения результатов наших исследований и идей в области влияния глобального изменения климата на здоровье населения России видится в создании в России системы многофакторной оценки влияния глобального изменения климата на здоровье населения России при эффективном использовании медицинского прогноза погоды и принципиально новой системы управления динамикой здоровья населения, построенной по профилактическому принципу на основании предложенного академиком РАМН А. Н. Разумовым системного подхода к вопросам здоровья человека

организации системы обеспечения здоровья здорового человека.

Заключение

В заключении подытожены проведенные исследования и намечены пути их дальнейшего развития.

Результаты и выводы

1. Создана физическая модель механизма отрыва тонкодисперсных (менее 400 нм) аэрозольных частиц, предложена формула оценки зависимости концентрации выносимых частиц от температуры поверхности при скоростях ветра менее 3 м/с.

2. Выявлено и проанализировано явление выноса субмикронной фракции (< 400 нм) агрегатных аэрозольных частиц в маловетреную жаркую погоду, что особенно опасно для здоровья населения окружающих территорий.

3. Установлены основные механизмы выноса в атмосферу тонкодисперсного (<2.5 мкм) аридного аэрозоля; определены причины и условия образования вертикальных термиков, выносящих аридный аэрозоль.

4. Создана численная модель слабосжимаемой расслоенной адиабатической жидкости, позволяющая решать задачи обтекания воздушными потоками горных массивов, связанных с анализом экологических ситуаций, возникающих вследствие переноса загрязнений. С использованием этой модели были решены актуальные задачи переноса загрязнений от крупных электростанций над территориями Израиля и Кипра, необходимые для разработки предложений об оптимальных с экологической точки зрения мест расположения этих источников атмосферных загрязнений.

5. Оценено влияние мегаполисов Москвы и Пекина на региональные климатические характеристики загрязнения атмосферы.

6. Разработаны методические рекомендации для городских администраций по учету влияния загрязнения атмосферы Москвы и Пекина на здоровье населения.

7. Оценено влияние процессов опустынивания на состояние воздушной среды Пекина.

8. Создана новая система оперативного медицинского прогноза погоды, предусматривающая синоптико-метеорологический мониторинг, оперативное выявление биотропных погод и гелиогеомагнитных ситуаций, систему оповещения медицинских учреждений и населения.

9. Разработана модель количественной оценки индекса патогенности погоды, включающая около 50 метеорологических и 20 параметров загрязнения атмосферы, путем интегрирования дифференцированных по степени патогенности различных факторов погоды и загрязнения атмосферы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

I. Литература по списку ВАК

1. Гранберг И. Г., Дикий Л. А. Стационарирование в линейной задаче обтекания гор воздушным потоком. Изв. АН СССР, ФАО, т.8, №3, с. 264-269, 1972.
2. Гранберг И. Г. Численное моделирование задачи обтекания гор воздушным потоком // Изв. АН СССР, ФАО, т.15, №12, с.1235-1243, 1979.
3. Гранберг И. Г. Пространственная задача обтекания препятствия потоком несжимаемой стратифицированной жидкости (численное моделирование). Изв. АН СССР, ФАО, т.19, №14, с.357-365, 1983.
4. Гранберг И.Г. О влиянии сдвига скорости потока на характер обтекания препятствия несжимаемой стратифицированной жидкостью // Известия АН СССР, ФАО, т. 19, № 11, с. 1139-1150, 1983.
5. Гранберг И. Г. Численное моделирование обтекания Карпат юго-западными потоками // Изв. АН СССР, ФАО, 1987, т. 23, № 3.
6. Гранберг И. Г., Добрышман Е. М. Численное моделирование обтекания Карпат // Метеорология и гидрология, 1989, № 9, с. 33-41.
7. Гранберг И. Г. О моделировании атмосферных процессов обтекания горных массивов сжимаемой стратифицированной жидкостью // Известия РАН, ФАО, 1997, т. 33, № 3, с. 409-411.
8. V. Panin, N. F. Elansky, I. B. Belikov, I. G. Granberg, A. V. Andronova, Yu. I. Obvintsev, V. M. Bogdanov, A. M. Grisenko, and V. S. Mozgrin. Estimation of Reliability of the Data on Pollutant Content Measured in the Atmospheric Surface Layer in the TROICA Experiments // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 37, Suppl. 1, 2001, pp. S81-S91.
9. В. Е. Павлов, И. А. Суторихин, И. Г. Гранберг, С. Ф. Карбышев, Г. А. Ковальская, В. В. Микушин. Соотношение концентраций элементов в аэро- и гидрозоле в бассейне Средней Оби // ДАН РАН, т. 380, № 6, 2001, стр. 813-815.
10. I.B.Belikov, I.G.Granberg, E.M.Dobryshman, A.F.D'yachkov, N.F.Elansky, A.S.Emilenko, V.V.Kopeikin, and E.V.Fokeeva. En-Route Measurements of Atmospheric Pollution in the Region of Caucasus Mineral Waters // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, V. 37, Suppl. 1, 2001, pp. S102-S109.
11. E.A. Oberlander, C.A.M. Brenninkmeijer, P.J. Crutzen, N.F. Elansky, G.S. Golitsyn, I.G. Granberg, D.H. Scharffe, R. Hofmann, I.B. Belikov, H.G. Paretzke, and P.F.J. van Velthoven, 2002. Trace gas measurements along the Trans-Siberian railroad: The TROICA 5 expedition// *J.Geophys.Res.*, V. 107, No D14, P. 10.1029/2001JD000953. (ACH 13-1 - 13-15)
12. Andronova A.V., Granberg I.G., Grisenko A.M., Gubanova D.P., Zudin B.V., Iordanskii M.A., Lebedev V.A., Nevskii I.A. and Obvintsev Yu.I. Studies of the Spatial and Temporal Distribution of Surface Aerosol along the Trans-Siberian Railroad // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2003. V.39. Suppl. 1. P. S27-S34.
13. A.V. Andronova, I.G. Granberg, M.A. Iordanskii, V.M. Kopeikin, V.M. Minashkin, I.A. Nevskii and Yu.I. Obvintsev. Sources and Composition of aerosols over the Region of Caucasus Mineral Waters // *Izv., Atmo. Ocean. Phys.*, Vol. 39, Suppl. 1, 2003, pp. S35-S40.
14. Hurst D. F., Romashin P. A., Elkins J. W., Oberlander E. A., Elansky N. F., Belikov I. B., Granberg I. G., Golitsyn G. S., Grisenko A. M., Brenninkmeijer C. A. M., and Crutzen P. J. Emissions of ozone-depleting substances in Russia during 2001 // *J. Geophys. Res.*, Vol. 109, D14303, doi: 10.1029/2004JD004633, 2004.
15. Андронова А. В., Гранберг И. Г., Губанова Д. П., Зудин Б. В., Иорданский М. А., Лебедев В. А., Минашкин В. М., Невский И. А., Обвинцев Ю. И. Пространственно-временное распределение и элементный

состав атмосферного аэрозоля на трассе Москва–Хабаровск // Оптика атмосферы и океана, том 20, 2007, № 10, стр.910-916.

16. J.-D. Paris, P. Ciais, P. Nedelec, M. Ramonet, B. D. Belan, M. Yu. Arshinov, G. S. Golitsyn, I. Granberg, A. Stohl, G. Cayez, G. Athier, F. Boumard and J.-M. Cousin. The YAK-AEROSIB transcontinental aircraft campaigns: new insights on the transport of CO₂, CO and O₃ across Siberia // *Tellus* 60B, 2008, DOI: 10.1111/j.1600-0889.2008.00369.x.

17. Гранберг И. Г., Голицын Г. С., Разумов А. Н., Истошин Н. Г., Ефименко Н. В., Рогоза А. Н., Алёхин А. И., Ревич Б. А., Артамонова М. С., Поволоцкая Н. П. Оценка влияния климатических и метеорологических факторов на здоровье населения // *Вестник Российской военно-медицинской академии*, 3 (23) – 2008, приложение 2, с. 414.

18. Гранберг И. Г., Голицын Г. С., Ефименко Н. В., Поволоцкая Н. П., Погарский Ф. А. Разработка системы многофакторной оценки влияния глобального изменения климата на здоровье населения России // *Технологии живых систем*, 2008 г., т. 5, № 5-6, с. 11-19.

19. И. Г. Гранберг, В. Ф. Крамар, Р. Д. Кузнецов, О. Г. Чхетиани, М. А. Каллистратова, С. Н. Куличков, М. С. Артамонова, Д. Д. Кузнецов, В. Г. Перепелкин, Д. В. Перепелкин, Ф. А. Погарский. Исследование пространственной структуры атмосферного пограничного слоя сетью доплеровских содаров // *Известия РАН, Физика атмосферы и океана*, 2008 (принято в печать).

20. Е. Б. Гледзер, И. Г. Гранберг, О. Г. Чхетиани. Динамика воздуха вблизи поверхности почвы и конвективный вынос аэрозоля // *Известия РАН, Физика атмосферы и океана*, 2008 (принято в печать).

21. И. Г. Гранберг, М. С. Артамонова, Ю. С. Балин, И. В. Латышева, Л. О. Максименков, В. Л. Макухин, В. Л. Потемкин. Перенос примесей из промышленных районов на озеро Байкал // *Известия РАН, ФАО*, 2008 (принято в печать).

II. Публикации в рецензируемых журналах, расширенные тезисы и аннотируемые отчёты

1. Dobryshman E. M., Granberg I. G. Numerical simulation of the tree-dimensional orographic flow over the Carpathians // *Research activities in atmospheric and oceanic modeling. WMO Report, No 11*, pp. 537-540, 1980.

2. Гранберг И. Г. Численное моделирование обтекания несжимаемой стратифицированной жидкостью реального горного рельефа (Карпат) // *Моделирование в механике*, т. 3 (20), № 6, сборник научных трудов, с. 136-139, 1989.

3. Гранберг И. Г. Трёхмерное численное моделирование обтекания Карпат с использованием натуральных данных // *Материалы Всесоюзного совещания «Численное моделирование состава и динамики свободной атмосферы»*, г. Суздаль, февраль 1988. М.: Московское отделение Гидрометеоздата – 1991, с. 129-139.

4. I. Granberg. Numerical simulation of the three dimensional orographic flow over Cyprus by inelastic fluid // *Research activities in atmospheric and ocean modelling, WMO Report, 792, 25*, p. 512-515, 1997.

5. I.G. Granberg, G.S. Golitsyn, A.V. Andronova, G.I. Gorchakov, E.M. Dobryshman, V.M. Ponomarev, P.O. Shishkov, B.V. Vinogradov. Studies of the transfer of arid aerosol from Kalmykia Black Lands and its influence on environment. // In: *Proceedings of the NATO ARW on The Scientific, Environmental, and Political Issues of the Circum-Caspian Region, Moscow, Russia, 13-16 May 1996*, edited by Dr. M.Glantz and Dr. I.S. Zonn. Kluwer, Netherlands, 1997, pp. 145-153.

6. Granberg I.G., Suspension of dust aerosol in newly desertified area // *Extended Abstr. of Int. Symp. on Atmos. Chemistry and Future Global Environ. Nagoya, Japan, 1997*, 139-142.

7. G.S Golitsyn., I.G. Granberg, A.E. Aloyan, A.V. Andronova, G.I. Gorchakov, V.M. Ponomarev, P.O. Shishkov. Study of emissions and transport of dust aerosol in Kalmykia Black Lands // *J. Aerosol. Sci.*, 1997, vol. 28, Suppl. 1, pp.

8. Kallistratova M.A., V.F. Kramar, R.D. Kuznetsov, I.G. Granberg, G.Yu. Chirokova, B.S. Agrovskii. Use of acoustic and laser sounding for study of the mechanisms of arid aerosol convective displacement in new desert regions of Kalmykia // Proc. 9 Int. Symposium on Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans. Vienna, Austria, 1998, pp. 215-218.

9. Голицын Г.С., Гранберг И.Г., Алоян А.Е., Андропова А.В., Арутюнян В.О., Виноградов Б.В., Габунщина Э.Б., Горчаков Г.И., Добрышман Е.М., Пономарев В.М. Исследование термоконвективных выносов аридного аэрозоля в Черных Землях Калмыкии // В сб. "Естественные и антропогенные аэрозоли" под ред. Л.С. Ивлева. С-Петербург, 1998, с. 342-348.

10. Голицын Г.С., Андропова А.В., Виноградов Б.В., Гранберг И.Г., Кудерина Т.М., Пономарев В.М. Вынос почвенных частиц в аридных регионах (Калмыкия, Приаралье) // Международная конференция «Физика атмосферного аэрозоля», Москва, 12-17 апреля 1999, труды конференции, стр.127-138.

11. I.G. Granberg. Numerical simulation of possible extreme events due to orography at Cyprus // Phys. Chem. Earth (B), Vol. 24, № 6, pp. 649-652, 1999.

12. Андропова А. В., Гранберг И. Г., Губанова Д. П., Зудин Б. В., Иорданский М. А., Минашкин В. М., Невский И. А., Обвинцев Ю. И., Осипов В. П., Черлина И. Е. Оценка коэффициента гибели озона на аэрозольных частицах по экспериментальным данным экспедиции "TROICA" // Сборник докладов 2-й Международной конференции, «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов», стр.11-22, 2000.

13. Беликов И. Б., Гранберг И. Г., Добрышман Е. М., Дьячков А. Ф., Еланский Н.Ф., Емиленко А. С., Копейкин В. М., Фокеева Е. В. Маршрутные измерения загрязнения атмосферы в регионе Кавказских Минеральных Вод // Сборник докладов 2-й Международной конференции, «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов», стр. 32-44, 2000.

14. Голицын Г. С., Еланский Н. Ф., Гранберг И. Г., Крутцен П. Й., Бреннинкмейер С. А. М., Недорчук Б. Л., Богданов В. М., Грисенко А. М., Панин Л. В., Лаврова О. В. Газовые примеси в атмосфере над территорией России – задачи и основные результаты российско-немецких экспериментов TROICA // Сборник докладов 2-й Международной конференции, «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов», стр. 45-63, 2000.

15. G. S. Golitsyn, I. G. Granberg, A. V. Andronova, S. S. Zilitinkevich, V. V. Smirnov, V. M. Ponomarev. Investigation of boundary layer fine structure in arid regions // Water, Air, and Soil Pollution: Focus 3: 245-257, 2003. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

16. Голицын Г. С., Гранберг И. Г., Еланский Н. Ф. Инновационные методы оценки качества воздушной среды курортов Кавминвод // В кн.: Биоресурсы биотехнологии инновации юга России. Пятигорск. С. 125-134, 2003.

17. Emilenko A., Granberg I., Gengchen V., Kopeikin V., Obvintsev Yu., Sologub R. Optical demonstration of dust darkness according to observation in Beijing // Optical Technologies for Atmospheric, Ocean, and Environmental Studies. Proceedings. SPIE – The International Society for Optical Engineering, v. 5832, pp. 198-202, 2004.

18. Рубинштейн К. Г., Р. Ю. Игнатов, М. С. Гусева, Новикова И. В., И. Г. Гранберг. Динамическая детализация краткосрочных численных прогнозов с помощью региональной численной модели на примере курортного региона Минеральные Воды // Метеоспектр, № 3, 2005, с. 7-16.

19. I. G. Granberg, A. V. Andronova, M. S. Artamonova, M. A. Iordansky, V. M. Minashkin, Ju. I. Obvintsev, V. M. Ponomarev, M. N. Voloshinov. Aerosol measurements in the atmospheric boundary layer over Russia // 2005

Taiwan-Russia Bilateral Symposium on Water and Environmental Technology. Taiwan, R.O.C.: Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, 2005, 111-129.

20. Teffo J.L., Gerbig C., Nedellec P., Filippi D., Ciaï P., Galdemard P., Granberg I., Camy-Perret C., Mondelain D., YAK-AEROSIB, Progress Report #1, Page 11/11, YAK-RP-00001-CEA, 19 May 2005.

21. Jean-Daniel Paris, Philippe Nedelec, Michel Ramonet, Georgy S. Golitsyn, Boris D. Belan, Igor G. Granberg, Mikhail Y. Arshinov, Gilles Athier, Fridric Boumard, Jean-Marc Cousin, Philippe Ciaï. Lower Troposphere Stratification and Pollutant Transport over Siberia in April 2006 // Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl., 2006, Vol. 87, No. 52, Abstract A34A-07.

22. В. А. Васин, Н. В. Ефименко, Л. И. Жерлицына, З. В. Картунова, С. И. Ляшенко, Р. И. Мкртчян, Н. П. Поволоцкая, А. П. Скляр, И. Г. Гранберг, А. Я. Арабов, В. В. Савиных, И. А. Сеник, К. Г. Рубинштейн, М. Д. Козлова, А. В. Кнутас. К вопросу о совершенствовании системы медицинского прогноза погоды на курортах Федерального значения – Кавказских Минеральных Вод // Доклад. Материалы Международной конференции «Погода и биосистемы». Санкт-Петербург. 11-14 октября 2006 г. С. 179-188.

23. I. Granberg, A. Andronova, M. Artamonova, O. Chkhetiani, M. Iordansky, M. Kallistratova, L. Maksimenkov, V. Ponomarev, K. Roubinstein, A. Skorokhod Study of dust inflation mechanisms and processes of aerosol transport process in Siberia-Asian region // Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 04536, 2006, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-04536.

24. Granberg I.G.; Grechko E.I. Modeling of transboundary carbon dioxide and other mixtures (as passive) transfer over Siberia within ISTC 3032 project, in couple with AEROSIB-YAK project // Proceedings of International Workshop ISTC "Baikal-2006". Irkutsk, August 15-19, 2006, pp. 84-86.

25. Grechko E.I., Granberg I.G. The study of atmospheric pollution transport from Europe to Pacific region using ground-based and satellite measurements // Proceedings of International Workshop ISTC "Baikal-2006". Irkutsk, August 15-19, 2006, pp. 127-129.

26. Гранберг И. Г., Поволоцкая Н. П., Голицын Г. С., Васин В. А., Гинзбург А. С., Ефименко Н. В., Мкртчян Р. И., Жерлицына Л. И., Картунова З. В., Максименков Л. О., Погарский Ф. А., Савиных В. В., Сеник И. А., Скляр А. П., Рубинштейн К. Г. Некоторые особенности этиологии и патогенеза ишемической болезни сердца на основе изучения их связи с экологическими и синоптико-метеорологическими факторами на горных курортах России // Патогенез, 2007, №3, с. 27-38.

27. I. Granberg, G. Golitsyn, A. Andronova, M. Artamonova, E. Grechko, M. Iordansky, A. Kazansky, V. Kramar, L. Maksimenkov, F. Pogarsky. Estimation of a vertical flux of fine-dispersed arid aerosol in the absence of dust storms // The International Symposium on Atmospheric Physics and Chemistry. May 15-19, 2007, Qufu, Shandong, China, pp. 27-31.

28. Гранберг И. Г., Г. С. Голицын, Г. Г. Матвиенко, Ван Гэнчэнь, Ван Пуцай, А. С. Гинзбург, Б. Д. Белан, М. В. Панченко, Е. И. Гречко, А. С. Емиленко, А. В. Джола, А. В. Андропова, В. М. Минашкин, К. Г. Рубинштейн, М. С. Артамонова, Л. О. Максименков, Ф. А. Погарский. Влияние региональной урбанизации на качество воздуха и экологию окружающей среды // Материалы конференции «Рациональное природопользование», Москва, 17-18 декабря 2007 г., с. 43-47.

29. Федеральное агентство по науке и инновациям. ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А.М. ОБУХОВА РАН. УДК 624.01(07), ВКГ ОКП № госрегистрации 0120.0 709999. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ "Влияние региональной урбанизации на качество воздуха и экологию окружающей среды" федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012

годы» (мероприятие 1.5 - VII очередь) по лоту 1: 2007-5-1.5-00-02 «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований с участием иностранных научных организаций в области рационального природопользования» (промежуточный), ШИФР «2007-5-1.5-00-02-029» в рамках государственного контракта от 01 августа 2007 г. № 02.515.11.5081. Этап № 1 “Модернизация передвижного комплекса аппаратуры для исследования влияния региональной урбанизации с учётом его эксплуатации в крупных городах”, 2007.

30. Федеральное агентство по науке и инновациям. ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А.М. ОБУХОВА РАН. УДК 624.01(07), ВКГ ОКП № госрегистрации 0120.0 709999. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ "Влияние региональной урбанизации на качество воздуха и экологию окружающей среды" федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» (мероприятие 1.5 - VII очередь) по лоту 1: 2007-5-1.5-00-02 «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований с участием иностранных научных организаций в области рационального природопользования» (годовой). ШИФР «2007-5-1.5-00-02-029» в рамках государственного контракта от 01 августа 2007 г. № 02.515.11.5081. Этап № 2 “ Проведение измерений концентрации примесей в Пекине и Москве, подготовка данных для моделирования формирования загрязнения в обоих городах”, 2007.

31. Г. С. Голицын, И. Г. Гранберг, Н. В. Ефименко, Н. П. Поволоцкая. Атмосфера и здоровье // Земля и вселенная, 2008 (принято в печать).

Список сокращений

| | |
|--------------------|---|
| АН СССР | Академия наук Союза Советских Социалистических Республик |
| АПС | атмосферный пограничный слой |
| ВНИИЖТ МПС | Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта Министерства путей сообщения |
| г. | год, город |
| гг. | годы |
| ГМЦ | Гидрометцентр |
| ИЗА | индекс загрязнения атмосферы |
| ИПП | Индекс патогенности погоды |
| ИФА | Учреждение Российской академии наук Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН |
| ИФА КАН | Институт физики атмосферы Китайской академии наук |
| Кавминводы | Кавказские Минеральные Воды |
| км | километр |
| К/м | кельвин на метр |
| КРТ | компоненты ракетного топлива |
| м | метр |
| МГД-поток | магнитогазодинамический поток |
| метеослужба | метеорологическая служба |
| мкг/м ³ | микрограмм на кубический метр |
| мкм | микрометр |
| МНТЦ | Международный научно-технический центр |
| МПП | Медицинский прогноз погоды |
| МПР | метеопатические реакции |
| м/с | метр в секунду |
| НАТО | НАТО – North Atlantic Treaty Organization (Организация Североатлантического договора) |
| НИФХИ | Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова |
| ОМПП | Оперативный медицинский прогноз погоды |
| ПЗА | потенциал загрязнения атмосферы |
| ПГНИИК | Пятигорский государственный научно-исследовательский институт курортологии Федерального медико-биологического агентства |
| ПДК | предельно допустимая концентрация |
| ПТК | природно-территориальный комплекс |
| РАМН | Российская академия медицинских наук |
| РАН | Российская академия наук |
| РГГМУ | Российский государственный гидрометеорологический университет |
| рис. | рисунок |
| РКНПК | Российский кардиологический научно-производственный комплекс |
| РН | ракета-носитель |
| Росздрав | Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию |
| СА | субмикронный аэрозоль |
| см | сантиметр |
| СТП | синоптический тип погоды |
| ФГУ | федеральное государственное учреждение |
| ЦКБ РАН | Центральная клиническая больница Российской академии наук |
| ЭЭТ | эквивалентно-эффективная температура |
| IGAC | The International Global Atmospheric Chemistry Project |
| PM10 | содержание в воздухе аэрозоля с диаметром частиц 10 мкм и менее |
| °С | Градусы Цельсия |