



Всемирная
Метеорологическая
Организация

Погода • Климат • Вода

Том 58 (1) - Январь 2009

Бюллетень

Тематические статьи | Интервью | Новости | Книжное обозрение | Календарь

www.wmo.int

Погода, климат и воздух, которым мы дышим

Послание
Генерального секретаря

4

Изменение климата
и качество воздуха

10

Загрязнение воздуха,
пыльные и песчаные бури
и индийский муссон

22

Деятельность ВМО
по исследованиям и
разработкам в Африке

41

Углеродосодержащий
аэрозоль

54

Атмосферные осаджения
в океан: морские
экосистемы и климат

61



Парниковые газы и
загрязнение городов

16



Управление качеством воздуха
и прогнозирование погоды во время
Олимпийских игр в Пекине

31



Качество воздуха,
погода и климат
в Мехико

48

...приоритетной задачей
для международного научного сообщества
является разработка комплексных систем
мониторинга, средств усвоения данных и
прогностических моделей,
которые интегрируют разнообразные данные
в рамках взаимосвязанной структуры.

Гай П. Брассер

Бюллетень

Официальный журнал
Всемирной Метеорологической
Организации

Том 58 (1) - Январь 2009 г.

Генеральный секретарь М.Жарро
Заместитель
Генерального секретаря Хун Янь
Помощник
Генерального секретаря Дж.Ленгоаса

Бюллетень ВМО издается ежеквартально (январь, апрель, июль, октябрь) на английском, французском, русском и испанском языках.

Редактор: Хун Янь
Помощник редактора: Юдит К.К.Торрес

Редакционная коллегия
Хун Янь (председатель)
Ю. Торрес (секретарь)
Ж. Асрар (исследования климата)
Л. Барри (атмосферные исследования и окружающая среда)
Г. Лав (погода и уменьшение опасности бедствий)
Е. Манаенкова (политика, международные связи)
Р. Мастерс (развитие, региональная деятельность)
Б. Ниензи (климат)
Б. Райан (спутники)
Д. Чезл (стратегическое планирование)
А. Тайджи (вода)
Дж. Вильсон (образование и обучение)
Веньян Жанг (информационные системы и системы наблюдения)

Стоимость подписки		
	Обычная почта	Авиапочта
1 год	60 шв.фр.	85 шв.фр.
2 года	110 шв.фр.	150 шв.фр.
3 года	145 шв.фр.	195 шв.фр.

E-mail: pubsales@wmo.int

Авторское право © Всемирная метеорологическая организация 2008 г.

Право на публикацию в печатной, электронной или какой-либо другой форме принадлежит ВМО. Краткие выдержки из статей, опубликованных в Бюллетене, могут быть перепечатаны без разрешения при условии полного и четкого указания источника. Письма в адрес редакции, а также заявки на публикацию, перепечатку или перевод статей целиком или частично следует направлять на имя редактора.

Употребляемые обозначения и изложение материала в Бюллетене ВМО не означают выражения со стороны Секретариата Всемирной Метеорологической Организации какого бы то ни было мнения относительно правового статуса страны, территории, города или района, или их властей, или относительно делимитации их границ.

Статьи или рекламные объявления, печатающиеся в Бюллетене ВМО, выражают личное мнение их авторов или рекламодателей и не обязательно отражают точку зрения ВМО. Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции в статьях или рекламных объявлениях не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и им отдано предпочтение перед другими компаниями или продукцией того же рода, не упомянутыми в статьях или рекламных объявлениях.

Содержание

В этом номере	2
Выступление Мишеля Жарро, Генерального секретаря ВМО, по случаю Всемирного метеорологического дня 2009 г.	4
Всемирная климатическая конференция-3	8
Последствия изменения климата для качества воздуха. Гай П. Брассер	10
Глобальная атмосфера: парниковые газы и загрязнение городов. Юн Нисбет и Мартин Мэннинг	16
Возможное влияние загрязнения воздуха, а также пыльных и песчаных бурь на индийский муссон. Уильям К.М. Ло, Ку-Мунг Ким, Кристина Н. Хсу, Брент Н. Холбен	22
Управление качеством воздуха и прогнозирование погоды во время Олимпийских игр 2008 года в Пекине. Джанджи Ван, Сяое Чжан, Том Кинен, Йихон Дуан	31
Деятельность ВМО по исследованиям и разработкам в области качества воздуха, погоды и климата в Африке. Андре Камга Фоамохо, Хосе Мария Балдасано, Эмилио Кувас Агулло, Аида Дионгу-Ньянг, Карлос Перес Гарсия-Пандо, Юджин Пулмен, Мейдлейн Томсон	41
Качество воздуха, погода и климат в Мехико. Луиза Т. Молина, Бенжамин де Фой, Оскар Васкес Мартинес, Виктор Гюго Парамо Фигуероа	48
Углеродосодержащий аэрозоль – проблема, остающаяся нерешенной. Карл Еспен Иттри, Кэтрин Лунд Мюре, Кьетил Торсет	54
Влияние атмосферных осадений в океан на морские экосистемы и климат. Роберт А. Дьюс, Джеймс Н. Гэллоуэй и Питер С. Лисс	61
50 лет назад... ..	67
Некролог	70
Новости Секретариата ВМО	71
Календарь	76
Всемирная Метеорологическая Организация	77
Члены Всемирной Метеорологической Организации	78

Новости о деятельности ВМО и последних событиях можно найти в информационном бюллетене *MeteoWorld* (<http://www.wmo.int/meteoworld>) в рубрике НОВОСТИ домашней страницы ВМО (<http://www.wmo.int/news/news.html>) и на Web-страницах программ ВМО, вход на которые осуществляется через домашнюю страницу ВМО (<http://www.wmo.int>).

WMO Bulletin

www.wmo.int/bulletin_en

Public Information Products and Website Management Unit
World Meteorological Organization (WMO)

7bis, avenue de la Paix
Case postale No. 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Tel.: + 41 22 730 84 78
Fax: + 41 22 730 80 24
E-mail: jtorres@wmo.int

В этом номере



В этом году темой Всемирного метеорологического дня является «Погода, климат и воздух, которым мы дышим». Номер Бюллетеня построен вокруг этой темы и представляет статьи по вопросам качества воздуха и его состояния в городских районах и их окрестностях, связи отложения загрязняющих веществ, включая азот, с изменением погоды и климата и воздействия этого отложения на верхний слой океана. Как обычно, номер Бюллетеня за январь открывается посланием Генерального секретаря по случаю Всемирного метеорологического дня.

В период между 1800 и 2007 гг. доля населения земного шара, проживающего в городах, выросла с 3 до 50 процентов. В результате мегаполисы и «горячие точки» в регионах развивались в условиях антропогенных выбросов загрязняющих веществ и изменений в землепользовании, которые имеют большие последствия для окружающей среды как в самих региональных «горячих точках», так и в более широком масштабе. Загрязнение воздуха в густонаселенных районах оказывает значительное негативное влияние на здоровье людей по всему миру. Прогнозирование качества воздуха в городских районах является одним из видов обслуживания, предоставление которого необходимо для того, чтобы люди ежедневно могли принимать меры предосторожности и чтобы можно

было определить политические меры по сокращению выбросов для достижения контрольных уровней загрязнения. Используя программу Глобальной службы атмосферы (ГСА), проект ГСА по научным исследованиям в области городской метеорологии и окружающей среды и Всемирную программу метеорологических исследований (ВПМИ), ВМО повышает возможности своих стран-членов в прогнозировании качества воздуха и иллюстрировании связей между метеорологией и качеством воздуха.

Химический состав атмосферы, погода и климат тесно взаимосвязаны. Наблюдается рост выбросов на Дальнем Востоке и в Южной Америке, в то время как в Европе и Северной Америке уровень выбросов стабилизировался или снижается. Экономика приобретает глобальный характер с важными последствиями для межконтинентального переноса загрязнения воздуха, самолетных выбросов (Международная организация гражданской авиации) и судовых выбросов (Международная морская организация). Изменения в методах обработки сельскохозяйственных угодий и в физическом климате приводят к сжиганию большего объема биомассы и более масштабным лесным пожарам. Перенос загрязнения воздуха через национальные, региональные и континентальные границы является важным аспектом глобальной цикличности загрязнения

воздуха, включая воздействие на Арктику и на прилегающие моря.

Загрязнение воздуха и изменение климата оказывают друг на друга взаимное влияние. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций по изменению климата концентрирует внимание на влиянии, которое оказывают на изменение климата долгоживущие парниковые газы. Аэрозоли (прямо и косвенно) и тропосферный озон оказывают радиационное воздействие на климат, которое, как ожидается, изменит распределение синоптических метеорологических моделей и распределение метеорологических элементов, таких, как осадки и ветер, на региональном уровне. Масштаб изменения и его социальное воздействие, недостаточно хорошо изучены, но, вероятно, будут существенными.

Изменчивость и изменение климата имеют последствия для химического состава атмосферы в связи с тем, что изменяют факторы, которые влияют на жизненный цикл (источники, перенос, химическое/физическое преобразование и удаление) загрязняющего вещества в атмосфере, например, температуру, свойства земной поверхности (засуха и растительный покров), облачный покров, осадки (включая продолжительность сухих периодов) и свойства перемешивания пограничного слоя. Адаптация общества к изменению

климата имеет последствия для химического состава атмосферы, например, в связи с изменениями в выбросах в результате потребления энергии, так как система производства энергии движется в направлении более интенсивного использования возобновляемых источников энергии, включая биотопливо. ВМО, имея реальные возможности, должна играть ведущую роль в техническом анализе того, как изменение и изменчивость климата и загрязнение воздуха оказывают взаимное влияние друг на друга на региональной и глобальной основе, и несет за это особую ответственность, так как это взаимовлияние вызывает безотлагательную озабоченность, воздействуя на общество по всему миру. Масштаб этого воздействия еще недостаточно хорошо изучен, но может быть значительным (загрязнение воздуха, наводнения,

засухи, водоснабжение, снабжение продовольствием).

Загрязняющие воздух вещества могут оказывать влияние как на погоду, так и на климат. Растет осведомленность о том, что включение реальных данных по аэрозолям и озону в модели прогнозирования погоды повысит шансы на увеличение точности прогнозов. В то же время подготовка прогнозов качества воздуха осуществляется с использованием лучших в мире систем метеорологического прогнозирования, а именно тех систем, которые эксплуатируются оперативными центрами метеорологического прогнозирования.

Атмосферный компонент биохимического цикла химически активного азота, включая его связь с поглощением углерода в экосистемах,

недостаточно хорошо изучен. Химически активный азот проникает различные составляющие окружающей среды, при этом ежегодно производится приблизительно 165 мегатонн азота, из которых 75 процентов так или иначе связаны с сельским хозяйством, а 25 процентов – со сжиганием ископаемых видов топлива и промышленным использованием азота. Проблемы, поставленные на карту и имеющие отношение к ВМО, касаются качества водоснабжения и связи между циклом химически активного азота, загрязнением воздуха и изменением климата.

Оиштейн Хов,
Председатель Объединенного
научного комитета по загрязне-
нию окружающей среды и химии
атмосферы Комиссии ВМО
по атмосферным наукам

ПОГОДА,
КЛИМАТ
И ВОЗДУХ,
КОТОРЫМ МЫ
ДЫШИМ



Всемирная
Метеорологическая
Организация
Погода • Климат • Вода

www.wmo.int

Погода, климат и воздух, которым мы дышим

Выступление Мишеля Жарро, Генерального секретаря ВМО,
по случаю Всемирного метеорологического дня 2009 года

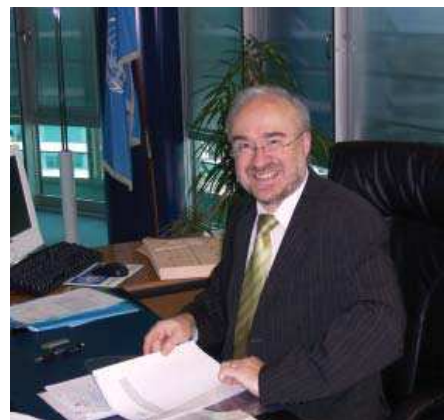
Каждый год Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и международное метеорологическое сообщество празднуют Всемирный метеорологический день в ознаменование вступления в силу Конвенции ВМО 23 марта 1950 г. ровно через 30 дней после даты сдачи на хранение 30-й ратификационной грамоты или документа о присоединении стран-членов. С этого дня ВМО взяла на себя функции бывшей Международной метеорологической организации (ММО), учрежденной Первым Международным метеорологическим конгрессом (Вена, сентябрь 1873г.) в целях содействия международному сотрудничеству в области метеорологии, включая координацию наблюдений и стандартизацию приборов.

Через год после такой реструктуризации, в 1951 г., ВМО стала специализированным учреждением системы Организации Объединенных Наций. Сегодня с гораздо большим членским составом, насчитывающим 188 стран и территорий, ВМО расширила свой мандат, включив в него проблемы воды и окружающей среды.

С тех пор стало традицией концентрировать внимание ежегодного празднования Всемирного метеорологического дня на какой-либо соответствующей теме; Исполнительный Совет ВМО постановил, что темой Всемирного метеорологического дня в 2009 г. будет «Погода, климат и воздух, которым мы дышим». Эта тема особенно уместна в тот момент, когда сообщества по всему миру стремятся достичь цели в области развития, сформулированные в Декларации тысячелетия

Организации Объединенных Наций, особенно в области здравоохранения, продовольствия, водной безопасности, искоренения нищеты, а также стремятся повысить эффективность своей деятельности в области предотвращения опасности и смягчения последствий стихийных бедствий, 90 % из которых непосредственным образом связаны с опасными явлениями, обусловленными погодой, климатом и водой, подпадая таким образом под мандат ВМО. Кроме того, ученые и специалисты в области медицины все чаще осознают критическую взаимосвязь между погодой, климатом, составом воздуха, которым мы дышим, и их воздействием на здоровье человека.

На протяжении многих веков людям удавалось достаточно хорошо адаптироваться к воздействию погодных условий и климата посредством внесения необходимых изменений в свое жилье, производство продовольствия, энергоснабжение и образ жизни, обеспечивая гармонию с условиями климата и окружающей среды. Тем не менее за последние десятилетия рост населения, увеличение потребления энергии и промышленное развитие вносили свой вклад в выброс газов и частиц, которые могут оказывать и оказывают воздействие на здоровье человека. Таким образом, астма, сердечная недостаточность, рак легких и многие другие заболевания усугубились или даже были спровоцированы по причине ухудшения качества воздуха. Кроме того, загрязнение воздуха влияет на мировую экономику, продовольственную и водную безопасность и устойчивое развитие по причине повреждения растений, сельскохозяйственных культур и экосистем.



Мишель Жарро, Генеральный секретарь ВМО

Интересно вспомнить, что Гиппократ (около 460–377 до н. э.), которого многие считают «отцом медицины», отверг суеверие в пользу научных наблюдений, классифицировал болезни и разработал ряд моральных и профессиональных норм, которые сохраняют свою актуальность и сегодня. В частности, в его работе «О воздухе, воде и местности», написанной в V веке до н. э., рассматривается воздействие климата, водоснабжения и регионов на здоровье человека и сравниваются геофизические условия жизни в Европе и Азии. Во времена Гиппократа в целом считалось, что существуют только четыре элемента: земля, воздух, огонь и вода с присущими им качествами — холодом, засушливостью, жарой и влажностью. Если все они присутствовали в организме человека в правильных количествах и нужных местах, то это означало, что человек здоров, однако если такой баланс был нарушен, то нарушалось и здоровье. Сегодня мы знаем, что следовые количества газов и частиц в воздухе оказывают значительное влияние на климат, погоду и качество воздуха.

Метеорологи, климатологи и специалисты в области химии атмосферы в настоящее время содействуют смягчению воздействия погоды, климата и качества воздуха, которым мы дышим, работая сообща, с тем чтобы обеспечить специалистов в области медицины и ученых, занимающихся окружающей средой, прогнозами и анализами атмосферного распределения, концентрации и переноса газов и частиц в атмосфере.

В начале 1950-х годов ВМО начала осуществлять новаторскую деятельность по координации наблюдений за составом атмосферы и его анализу. Информация о парниковых газах, аэрозолях и озоне, а также о классических метеорологических и гидрологических параметрах в настоящее время собирается на регулярной основе с использованием глобальных сетей наземных станций в точке и станций дистанционного зондирования, шаров-зондов, воздушных судов и спутников. Это способствовало пониманию изменяющегося химического состава атмосферы и позволило сформировать научную основу для наших нынешних познаний о воздействии погодных условий и климата на качество воздуха, а также об обратном воздействии компонентов воздуха на нашу погоду и климат.

Многочисленные примеры такой новаторской деятельности ВМО можно проследить на научных исследованиях, начатых в контексте Международного полярного года и Международного геофизического года и осуществляемых усилиями национальных метеорологических и гидрологических служб (НГМС) стран – членов ВМО в сотрудничестве с другими международными организациями. В этой связи ВМО принимает активное участие в международных усилиях по оценке изменяющейся атмосферы с точки зрения загрязнителей воздуха, таких как приземный озон, смог, твердые частицы, двуокись серы и окись углерода, большинство из которых являются непосредственным следствием промышленного, городского и автомобильного сжигания ископаемых топлив. ВМО входила в число организаций, учредивших три крупные международные конвенции, касающиеся состава атмосферы: Конвенцию Экономической комиссии Организации

Объединенных Наций для Европы о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979 г.), Венскую конвенцию об охране озонового слоя (1985 г.) и Рамочную конвенцию Организации Объединенных Наций об изменении климата (1994 г.). Сегодня ВМО продолжает оказывать поддержку этим жизненно важным международным механизмам принятия глобальных мер.

На многих загрязняющих воздух побочных продуктах промышленной революции также лежит ответственность за другие изменения, которые мы наблюдаем сегодня в нашем климате и которые находятся за пределами диапазона естественной изменчивости, которую можно ожидать только от астрономических и геофизических воздействий. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), одним из спонсоров которой является ВМО, выпустила свой Четвертый доклад об оценке и получила престижную Нобелевскую премию мира в 2007 г. Ее выводы заключаются в том, что изменение климата не вызывает сомнений и происходит, по всей вероятности, по причине увеличения антропогенных выбросов парниковых газов. По заключению МГЭИК ожидается дальнейшее увеличение частоты и интенсивности наводнений, засух и других погодных и климатических экстремальных явлений в результате изменения климата, в частности тепловых волн, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на здоровье человека, усугубить случаи загрязнения и вызвать лесные пожары.

Ветер, дождь, снег, солнечный свет и температура могут иметь различную степень влияния на перенос и устойчивость атмосферных загрязнителей. Городское тепло может задерживать загрязняющие вещества, в то время как дождь и снег, как правило, вымывают их из атмосферы в почву и океаны. Ученые могут использовать метеорологические модели для целей оценки и прогнозирования режимов загрязнения воздуха. Своевременные, актуальные и точные предсказания качества воздуха в этой связи способствуют защите жизни и имущества людей, а также дополняют более традиционные метеорологические прогнозы.

Несмотря на то, что развитие региональных прогнозов качества воздуха значительно улучшилось за последние 30 лет, их своевременная доставка местным общинам по-прежнему нередко представляет собой проблему. Тем не менее прогнозы качества воздуха выпускаются все большим числом НГМС, многие из которых также предоставляют широкий спектр индексов качества воздуха и сообщений о нем, таких как схемы с цветовой кодировкой. Поскольку форма, в которой каждый регион выпускает свои сообщения, в значительной степени различается, ВМО содействует подготовке кадров в целях обеспечения максимальной эффективности такой продукции и ее выгод для общества.

Эта продукция сейчас необходима как никогда ранее. По подсчетам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по причине загрязнения воздуха ежегодно преждевременно



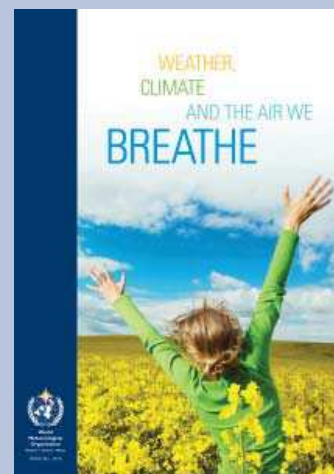
умирают в среднем 2 миллиона человек. Даже сравнительно низкие концентрации озона, твердых частиц и связанных с ними загрязняющих веществ могут значительным образом сказаться на состоянии дыхательного тракта и сердца, особенно в развивающихся странах, в связи с чем прогнозы качества воздуха позволяют обеспечить жизненно важные возможности в области заблаговременного предупреждения и помогают уменьшить опасности, связанные с атмосферными загрязнителями.

По мере того как мегаполисы разрастаются и распространяются, проблема городского загрязнения становится актуальной для все большего количества людей по всему миру. Примерно половина мирового населения проживает в крупных городах, во многих из которых отсутствует мониторинг качества воздуха в какой-либо форме, особенно в развивающихся странах. В связи с чем мобилизация ресурсов и разработка соответствующей политики, направленной на мониторинг и решение проблемы загрязнения воздуха в этих странах, представляет собой все более сложную задачу. Глобальная служба атмосферы (ГСА) и Всемирная программа метеорологических исследований ВМО активно расширяют набор услуг в области качества воздуха, предоставляемых в настоящее время через НГМС стран – членов ВМО. В некоторых странах уже началась реализация ряда проектов, направленных на улучшение прогнозирования загрязнения воздуха и предотвращение последствий, связанных с таким загрязнением.

В дополнение к координации прогнозирования качества воздуха ВМО содействует исследовательской деятельности в области загрязнения воздуха. Взвешенные частицы или аэрозоли имеют важное значение для определения поглощения или отражения тепла земной поверхностью, облаками и атмосферой, а также для формирования облаков и осадков. Несмотря на то, что дождь вымывает большинство аэрозолей из нижних слоев атмосферы в течение нескольких дней, некоторые частицы могут сохраняться в течение более длительных периодов времени в более сухих воздушных массах и в верхних слоях атмосферы с различными

Ко Всемирному метеорологическому дню 2009 г., темой которого является «Погода, климат и воздух, которым мы дышим» выпускаются книга-раскладка, брошюра (ВМО-№ 1035) и плакат.

Доступ к Веб сайту, посвященному Всемирному метеорологическому дню, будет осуществляется с домашней страницы ВМО (<http://www.wmo.int/wmd/>). Первоначально на сайте будут размещены брошюра и плакат (в формате pdf) и послание Генерального секретаря. Другие материалы будут дополнительно размещаться по мере их готовности.



последствиями. В этой связи аэрозольные исследования стали одной из основных областей исследований и будут являться основным компонентом следующего поколения моделей прогнозирования климата и погоды.

Качество атмосферного воздуха также имеет важное значение с точки зрения песка и пыли, которые снижают видимость, наносят ущерб сельскохозяйственным культурам и влияют на местный климат. Решение конкретных проблем, связанных с песчаными и пыльными бурями, является одной из основных целей Системы ВМО предупреждений о песчаных и пыльных бурях и оценке, которая поддерживает развитие соответствующих конкретных прогнозов, а также исследование и оценку воздействий песчаных и пыльных бурь. Ряд стран – членов ВМО и партнерских организаций в настоящее время осуществляют исследования и оперативное прогнозирование таких опасных явлений, последствия которых особенно ощутимы в северной части Африки, Азии и Северной Америке.

Кроме того, НГМС стран – членов ВМО и некоторые из партнерских организаций ВМО играют ключевую роль в мониторинге чрезвычайных экологических ситуаций и реагировании на них. В результате чрезвычайных ситуаций, таких как разлив промышленных химических веществ, извержение вулкана, переносимые по воздуху трансмиссивные болезни или авария на АЭС, может произойти выброс опасных веществ, последующее рассеивание и распространение которых может

быть спрогнозировано метеорологами. В этой связи Программа ВМО в области деятельности по реагированию на чрезвычайные ситуации способствует численному моделированию загрязняющих веществ в воздухе в рамках сети региональных специализированных метеорологических центров ВМО в тесном сотрудничестве с ВОЗ, Международным агентством по атомной энергии, Международной организацией гражданской авиации и другими партнерами.

Посредством своих программ, имеющих отношение к проблеме качества воздуха, ВМО и НГМС ее стран-членов повышают осведомленность о тесной взаимосвязи между погодой, климатом и воздухом, которым мы дышим, предоставляя наиболее актуальную и достоверную информацию лицам, принимающим решения, и общественности. Для такой совместной деятельности необходимо сотрудничество со стороны множества сообществ и секторов, а ее значение будет отображено в этом году в контексте Всемирной климатической конференции (ВКК-3), которая будет проводиться в Женеве с 31 августа по 4 сентября.

В ходе таких жизненно важных усилий НГМС будут по-прежнему придавать динамику защите здоровья человека и окружающей среды. Уверен, что тема Всемирного метеорологического дня 2009 г. будет способствовать дальнейшему вовлечению всех стран-членов и партнеров ВМО на самом высоком уровне, и хотел бы поздравить их от всей души по этому случаю.

Всемирная климатическая конференция-3

Климатический прогноз
и информация
для принятия решений



Женева, Швейцария
31 августа – 4 сентября 2009 года

Международный центр конференций в Женеве



Климат дает обществу не только широкие возможности, но и подвергает его различным рискам. На протяжении нескольких десятилетий ВМО расширяет возможности метеорологии, гидрологии и связанных с ними наук о Земле для предоставления услуг, позволяющих человечеству противостоять климатическим условиям.

Разработанные ВМО системы и стандарты облегчают сбор, обработку и совместное использование данных климатических наблюдений для предоставления услуг, обеспечивающих защиту жизни и имущества, и для стимулирования социально-экономического развития. Посредством первой и второй всемирных климатических конференций ВМО и ее партнеры объединили усилия всего мира в решении проблем климата,

относящихся к науке и политике, с целью лучшего понимания и смягчения влияния изменения климата.

После проведения Первой климатической конференции (1979 г.) были организованы Всемирная климатическая программа ВМО, Всемирная программа исследований климата (при совместном финансировании ВМО, Международного совета по науке и Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО) и Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (при совместном финансировании ВМО и Программы ООН по окружающей среде), которой была вручена Нобелевская премия мира в 2007 году.

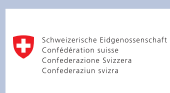
Вторая Всемирная климатическая конференция (1990 г.) потребова-

ла создать конвенцию о климате, которая должна стать дополнительным импульсом к международной деятельности в области изменения климата. В результате в 1992 г. была разработана Рамочная конвенция ООН по изменению климата. Кроме того, по результатам конференции была создана Глобальная система наблюдений за климатом и даны рекомендации в отношении дальнейшего выполнения Всемирной климатической программы.

ВКК-3 основывается на лучшем понимании климатической системы и на достижениях в области научных аспектов климатической информации и предсказания климата, которые позволят повысить благосостояние общества. Большое внимание на конференции будет уделено органи-



Спонсоры:



Более качественная климатическая информация во имя лучшего будущего

http://www.wmo.int/pages/world_climate_conference/

зации обслуживания, которое позволит лицам, принимающим решения, лучше управлять возможностями, которые предоставляет климат, и рисками, связанными с экстремальными климатическими условиями, а также позволит сообществам лучше адаптироваться к долгосрочным изменениям климата.

Огромное количество данных, сбор и долгосрочное хранение которых осуществляет ВМО, а также глобальные телекоммуникационные системы и системы обработки данных в значительной мере способствуют развитию климатических услуг и продукции. К ним относятся карты потенциальных рисков и возможностей, их повторяемость, потенциальные возможности использования источников возобновляемой энергии, управление городским хозяйством, прогнозы возможных вспышек болезней и точные прогнозы климата.

Глобальные, региональные и национальные центры прогнозирования климата имеют возможность выпускать полезные климатические прогнозы и информацию. Однако эти возможности неодинаковы в разных регионах и разных странах. Необходимо расширить возможности развивающихся и наименее развитых стран, которые позволили бы им выпускать точную и полезную продукцию и услуги.

При выпуске продукции и услуг необходимо учитывать потребности разных слоев общества. Следует усовершенствовать мониторинг и прогноз климата и разработать соответствующие политические принципы. Каждая страна в отдельности не в силах добиться выполнения этих

требований. Мир обслуживает единая климатическая система, которая перераспределяет тепло, энергию и другие составляющие атмосферы и океана, поэтому важную роль играет глобальное сотрудничество.

Адекватный мониторинг климатической системы позволяет своевременно обнаружить трансграничный перенос опасных веществ. Необходимо объединить усилия всего мира для усовершенствования обслуживания климатическими прогнозами и информацией, которое внесет значительный вклад в выполнение целей в области развития Декларации тысячелетия, Рамочной конвенции ООН по изменению климата, Балийского плана действий и Хиогской рамочной программы действий по уменьшению опасности бедствий.

ВКК-3 создаст международные рамки для развития климатического

обслуживания, которое заполнит пробел между докладами об оценках МГЭИК и услугами, необходимыми для адаптации к изменению и изменчивости климата на региональном и отраслевом уровнях.

Предполагается также, что ВКК-3 задаст направление для рассмотрения опасных явлений, связанных с климатом, таких, как засухи, паводки, экстремальный холод, волны тепла, голод и вспышки определенных заболеваний, которые, помимо угрозы для жизни, влияют на здоровье и такие первоочередные нужды, как пища, вода и энергия.

Чтобы обеспечить успех конференции, мы поддерживаем ее широкую рекламу и призываем участвовать в ней. Для ознакомления с программой конференции и получения другой информации посещайте наш Web-сайт (см. ниже).



QUINET

Последствия изменения климата для качества воздуха

Гай П. Брассер*

Введение

Изменения в химическом составе атмосферы, которые явились результатом массовой индустриализации, интенсивного сельского хозяйства и урбанизации, а также движения автотранспорта, судоходства и воздушного движения, прямо и косвенно привели к повышению радиационного воздействия и в итоге к будущим изменениям в температуре и гидрологическом цикле Земли.

Самый крупный вклад в радиационное воздействие внесло увеличение концентрации углекислого газа, который является продуктом сгорания ископаемого топлива. Выбросы других парниковых газов, включая метан и закись азота, также возросли в результате деятельности человека. Озон, который является химически активным газом, не только важен для нашей защиты от вредного ультрафиолетового излучения, но также является еще и парниковым газом, который при высоком уровне смога вреден для здоровья человека и растений. Наконец, выброс в атмосферу диоксида серы, которая является прекурсором частиц сульфатного аэрозоля, технического углерода и частиц органического вещества, также оказывает воздействие на ра-

диационный перенос в атмосфере с последствиями для климатической системы. Субмикронные частицы сульфатного аэрозоля рассеивают часть входящей радиации обратно в пространство, в то время как частицы промышленного углерода поглощают значительное количество коротковолновой солнечной радиации и оказывают влияние на поток земной длинноволновой радиации.

Кроме того, аэрозоли обуславливают образование ядер конденсации, которые способствуют формированию облачных капель. Их присутствие в атмосфере ведет к заметным изменениям в альбедо облаков и во времени их существования, при этом оказывается косвенное влияние на климат Земли. Присутствие большого количества аэрозолей может также оказать воздействие на вертикальную устойчивость атмосферы, а при выпадении на поверхность частицы могут уменьшить альбедо снега и вновь с последствиями для климата.

Происходящее весьма непросто оценить количественно, так как здесь задействованы сложные микрофизические и химические процессы. Таким образом, воздействие на климат химических соединений, в особенности загрязнения воздуха, трудно оценить. Но еще труднее оценить воздействие изменения климата

на химический состав воздуха, и в особенности на качество воздуха.

В настоящей статье будут кратко рассмотрены процессы, которые определяют взаимодействие климатической системы и химического состава атмосферы в различных масштабах. В частности, будут рассмотрены различные процессы, посредством которых ожидаемые изменения в температуре и количестве осадков, вызванные деятельностью человека, могут оказать воздействие на качество воздуха в будущем.

Влияние климата на фоновый химический состав атмосферы

Для проецирования эволюции средней температуры и интенсивности осадков в грядущие столетия использовались модели климата (IPCC, 2007). Если для модельных расчетов используется сценарий «обычного развития», ожидаемое увеличение глобальной средней приземной температуры в конце XXI века составляет 2,8°C, при этом среднее потепление на поверхности суши составит 3,5°C, а в Арктике достигнет 7°C. Эти изменения, которые, как ожидается, произойдут, если не будут приняты срочные меры по сокращению выбросов парниковых газов, окажут существенное влияние на сопряженную физико-, химико-

* Национальный центр атмосферных исследований, Боулдер, Колорадо, США

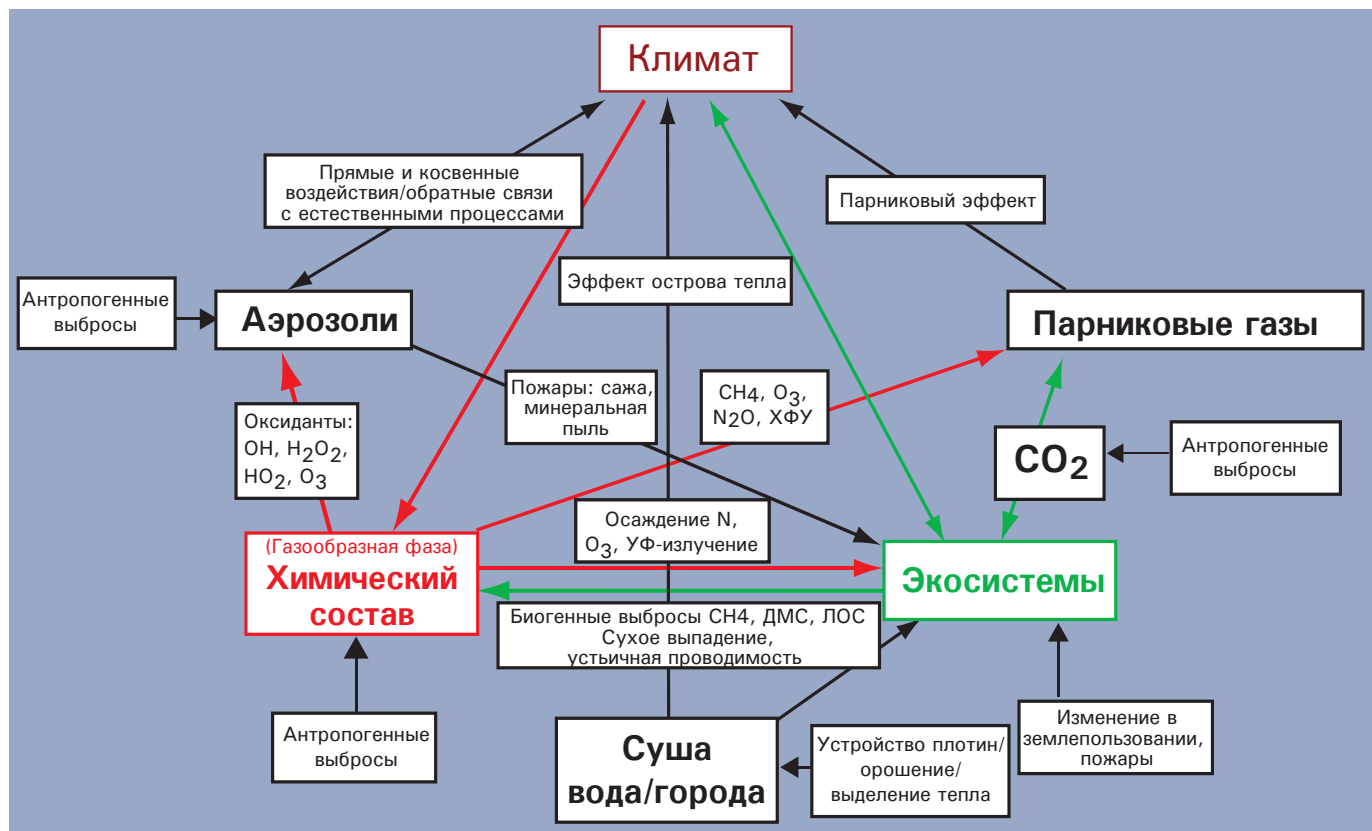


Рисунок 1 – Схематическое представление взаимодействий между климатом, атмосферными химическими активными газами, парниковыми газами, аэрозолями, экосистемами и водохозяйственной системой (из Сох, по личному контакту)

биолого-гидрологическую систему, которая обуславливает эволюцию планеты во временных масштабах от десятилетий до столетий.

Как показано на рис.1, взаимодействие континентальных и океанических экосистем, гидрологических, биохимических, фотохимических и климатических систем отличается большой сложностью, поэтому, для того чтобы их понять, необходимы лабораторные исследования, наблюдения и моделирование.

Особо приоритетной задачей для международного научного сообщества является разработка комплексных систем мониторинга, средств усвоения данных и прогностических моделей, которые интегрируют разнообразные данные в рамках взаимосвязанной структуры. Люди вносят возмущения в систему Земли не только посредством выбросов парниковых газов, но и посредством производства и выпуска в атмосферу

химически активных соединений и аэрозолей, а также посредством изменения в землепользовании (например, посредством обезлесения, орошения и урбанизации). Все эти антропогенные изменения и обусловленное ими изменение климата могут влиять на изменения химического состава атмосферы.

Влияние изменения климата на содержание в атмосфере химически активных газов и аэрозолей может происходить посредством различных механизмов:

- Изменения в температуре атмосферы влияют на скорость прохождения химических реакций;
- Изменения в атмосферной влажности влияют на образование и разрушение химических соединений, в особенности на интенсивность потери тропосферного озона;
- Частота и интенсивность молний влияет на образование в атмосфере окиси азота, при этом пря-

мое воздействие оказывается на озоновый баланс в верхних слоях тропосферы;

- Изменения в атмосферной облачности влияют на состав атмосферы, изменяя проникновение солнечной радиации, и, следовательно, фотохимическую активность в атмосфере; водный и гетерогенный химический состав атмосферы, связанный с наличием облаков, также подвергается изменению;
- Изменения в частоте и интенсивности осадков, обусловленные изменением климата, влияют на интенсивность распада способных к распаду веществ и, следовательно, на их удаление из атмосферы;
- Изменения в приземной температуре и количестве осадков влияют на выброс и осаждение химических соединений и удаление поверхностных осадков растительностью и почвой;
- Изменения в температуре океана влияют на обмен между атмо-



ферой и океаном таких веществ, как диметилсульфид, которые являются источником сульфатных аэрозолей;

- Изменения в частоте и интенсивности продолжительных периодов неподвижного воздуха влияют на распространение загрязняющих веществ и увеличивают частоту и интенсивность случаев загрязнения, оказывающего сильное воздействие на здоровье людей;
- Изменения в общей циркуляции атмосферы влияют на дальний перенос загрязняющих веществ с континента на континент;
- Изменения в конвективной активности ведут к изменениям в вертикальном переносе соединений в химическом составе верхнего слоя тропосферы;
- Изменения в обмене между стратосферой и тропосферой влияют на содержание химических соединений, включая озон, в верхних слоях тропосферы;
- Изменения в интенсивности приземного ветра над континентом изменяют концентрацию частиц в засушливых районах и, следовательно, аэрозольную нагрузку в тропосфере;
- Изменения в интенсивности приземного ветра над океаном изменяют обмен малыми газовыми примесями в зоне взаимодействия океана и атмосферы и влияют на

выброс частиц морской соли в пограничный слой атмосферы.

Хорошим примером взаимодействия между климатом и атмосферными химическими системами является действие изопрена, являющегося биогенным углеводородом, который в больших количествах выбрасывается в атмосферу растительностью. Объем таких выбросов значительно возрастает с ростом температуры листьев растений. После выброса в атмосферу изопрен окисляется, что способствует образованию вторичных органических аэрозолей, а при высоком уровне оксидов азота – образованию озона. Большая часть оксидов азота, присутствующих в атмосфере, поступает в атмосферу в результате процессов сгорания.

Таким образом, ожидается, что потепление климата увеличит поступление в атмосферу биогенных углеводородов, таких как изопрен, которые способствуют ухудшению качества воздуха в региональном масштабе; образуют дополнительное количество озона и аэрозолей, оказывающих воздействие на здоровье людей и климат.

Вторым хорошим примером взаимодействия между климатом и химическим составом атмосферы является испускание оксида азота почвенными

бактериями; это испускание чувствительно к температуре и влажности почвы, и изменение климата окажет на него воздействие. Растущее число стихийных пожаров в районах, где засухи становятся более частыми или более интенсивными, приведет к значительно большему объему выбросов продуктов сгорания, таких как монооксид углерода, оксид азота, сажа и другие соединения, с большими последствиями для качества воздуха в региональном и даже в глобальном масштабе.

Наконец, обусловленный климатом рост частоты молний может стать причиной большего числа стихийных пожаров, особенно в бореальных регионах, при этом вырастет объем выбросов в атмосферу пирогенных химических соединений. В каждом случае влияние оказывается не только на качество воздуха, но и на радиационное воздействие, а следовательно, на климатическую систему. Положительные обратные связи между химическими и климатическими системами можно определить, но их роль в комплексной системе Земли, возможно, затенена другими, более интенсивными отрицательными обратными связями, которые поддерживают климат в рамках приемлемых пределов, по крайней мере, в прогнозируемом будущем.

Количественная оценка механизмов взаимосвязи между химическим составом атмосферы и климатом требует разработки комплексных моделей системы Земля, которые учитывают общепризнанные взаимодействия химических и климатических процессов. Несколько групп ученых в мире используют в настоящее время такие модели, например, для оценки скорости восстановления стратосферного озона (после снятия с промышленного производства галоидоуглеродов) в условиях изменяющегося климата. Основная надежда, которую связывают с этими моделями, заключается в том, что они также предоставят информацию о реагировании тропосферы, особенно озона и аэрозолей, на изменение климата.

Для оценки реагирования тропосферного озона на изменение климата в течение XXI века использовалось несколько моделей переноса химических веществ (см. например, Brasseur et al., 2006; Stevenson et al., 2006). В исследовании Stevenson et al. для оценки того, как изменение климата повлияет на тропосферный озон к 2030 г., использовалось девять глобальных моделей. Хотя для моделей характерно значительное различие, они предполагают, что при более теплом климате концентрация озона должна понизиться в низких слоях тропосферы по мере повышения концентрации водяного пара, вызванного ростом испарения с земной поверхности.

В то же время концентрация озона должна увеличиваться в верхних слоях тропосферы в результате увеличения количества озона, поступающего из стратосферы. Несмотря на последние успехи, достигнутые в исследованиях с использованием моделей, определенных выводов относительно силы или даже знака обратной связи между озоном и климатом в настоящее время не существует. Аналогично, изменения в вероятности случаев высокой концентрации озона в ответ на изменение климата остаются нерешенным вопросом.

В сопряженных химико-климатических моделях состава атмосферы следует учитывать роль аэрозольных частиц. Проблема сложная, потому что, помимо воздействия сульфатных аэрозолей, следует рассматривать роль сажи и органических аэрозолей. Органические аэрозоли образуются большей частью в результате окисления биогенных органических газов, за которым следует конденсация полуплетучих обогащенных кислородом органических молекул. Как указано выше, большая доля газообразных органических соединений выпускается растительностью, а соответствующие выбросы сильно зависят от температуры. Таким образом, ожидается, что потепление климата увеличит выбросы биогенных углеводородов и, следовательно, послужит

Концентрация приземного озона (мкг/м^3) 8 августа 2003 года

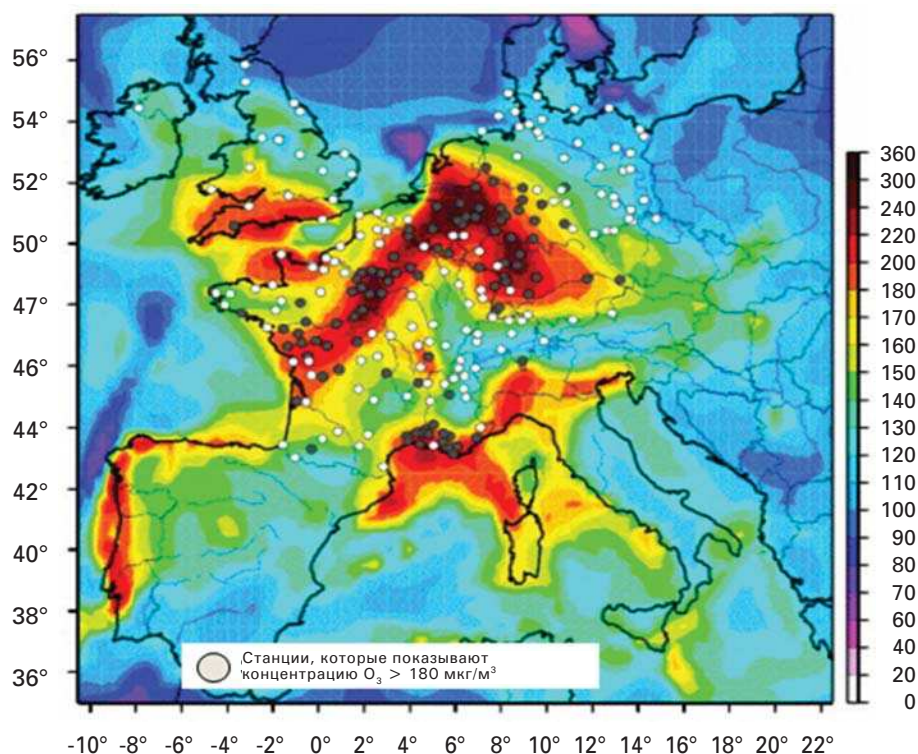


Рисунок 2 – Концентрация приземного озона (в мкг/м^3) 8 августа 2003 г. (во время волны тепла в Европе в 2003 г.), рассчитанная Vautard et al., 2005. Указаны станции, которые показывают концентрацию, превышающую 180 мкг/м^3 (из Vautard et al., 2005).

причиной образования органических аэрозолей.

Современные модели климата дают упрощенное представление аэрозольных процессов; в интерпретации аэрозольных процессов, а особенно в представлении формирования вторичных органических аэрозолей, модели далеки от реальности. Изменение климата окажет влияние на прекурсоры аэрозолей, в частности на биогенные летучие органические соединения. Сдвиги в периоде и интенсивности таких климатических режимов, как явление Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНКО) в тропической части Тихого океана окажет влияние на режим осадков в различных частях мира. Во время Эль-Ниньо в таких регионах, как Индонезия, где осадки сдержанны, а горение биомассы интенсивно, объемы выброса частиц и газа возрастут.

В нашем понимании изменений качества воздуха в глобальном масштабе в результате изменения климата многое остается неизвестным. Сюда относятся потенциальные изменения,

которые можно ожидать вследствие изменений в переносе веществ на большие расстояния, вентиляции в пограничном слое океана и атмосферы, транстропопаузном обмене. Необходимо также лучше оценить потенциальные изменения в выбросах с поверхности суши и последующем осаждении на поверхность вследствие изменения климата. Экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях, а также исследования с использованием спутников и моделей помогут решить некоторые из этих вопросов.

Воздействие волн тепла на качество воздуха в региональном масштабе

Волны тепла дают возможность оценить, как загрязнение воздуха может развиваться в условиях будущего изменения климата. В этой связи волна тепла, которая наблюдалась в западной и центральной частях Европы в августе 2003 г., является интересным примером. В течение

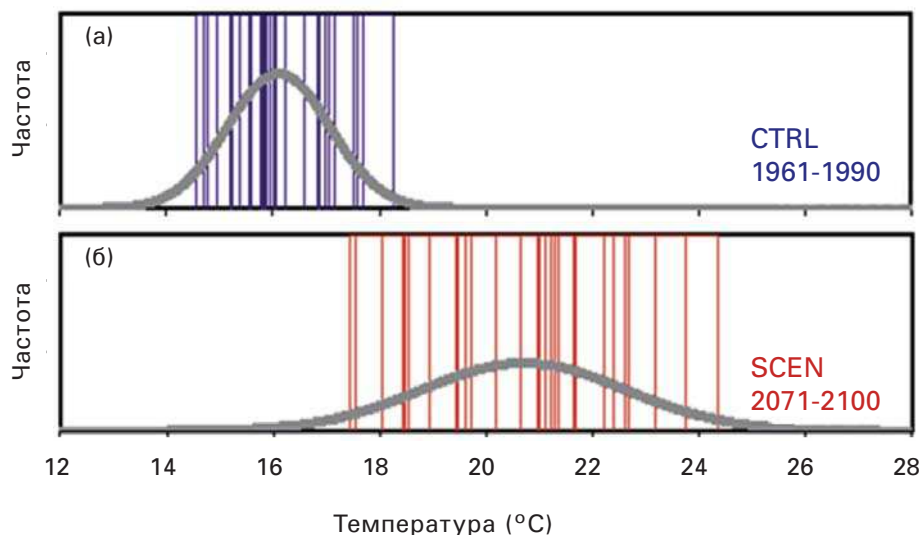


Рисунок 3 – Моделирование с помощью региональной климатической модели Schar et al. (2004) средней температуры и ее изменчивости в северной части Швейцарии для периодов 1961–1990 гг. и 2071–2100 гг. (сценарий СДСВ А2) соответственно. Вероятность волн тепла в будущем возрастает.

первых двух недель августа температура в этих районах Европы была особенно высокой, при этом суточный максимум температуры в Париже находился между 35 и 40°C, т.е. превышал климатологическую среднюю температуру для этого периода года более чем на 10°C. Как сообщалось, уровень смертности в нескольких странах вырос на 50–100 %. В целом, было зарегистрировано на 30 тыс. смертей больше, чем обычно (15 тыс. во Франции, 5 тыс. в Германии, 6 тыс. в Испании, 5 тыс. в Португалии, и 50 тыс. в Соединенном Королевстве) (Trigo et al., 2005). Повреждение сельскохозяйственных культур, оползни, вызванные таянием снега в тундре на высоких широтах, вспышки лесных пожаров и т.д. нанесли значительный ущерб экономике.

Во время этого периода исключительно высоких температур наблюдались высокие уровни образованного фотохимическим путем озона, особенно в центральной части Франции и юго-западной части Германии. Например, 8 августа многие станции сообщали о концентрациях озона, превышающих 180 мкг/м³, что значительно выше нормы качества воздуха (см. рис. 2). Полагается, что одна треть смертей, случившихся в этот период, обус-

ловлена проблемами со здоровьем, вызванными этими чрезмерными концентрациями озона.

Считается, что высокие концентрации озона в период волны тепла в августе 2003 г. объясняются несколькими факторами. Во-первых, рост температуры способствовал образованию озона в тропосфере химическим путем. Во-вторых, низкая атмосферная влажность понизила разрушение озона, а также образование гидроксильного радикала, который разрушает ряд загрязняющих воздух веществ, включая вещества, являющиеся прекурсорами озона. В-третьих, высокая температура и отсутствие осадков оказали влияние на растительность, что привело к значительному сокращению в удалении озона и других соединений из атмосферы посредством сухого осаждения на поверхность Земли. В-четвертых, выброс биогенных прекурсоров озона, таких как изопрен, в условиях высокой температуры значительно увеличился. Сообщалось, что увеличение выброса изопрена достигало 60–100% (Solberg et al., 2008). Наконец, стабильная метеорологическая ситуация, наблюдавшаяся в течение двух недель, создала благоприятные условия для удерживания загрязняющих веществ в пограничном слое и для активного фотохимического процесса.

Помимо этих условий на местах, экстремальная засуха содействовала вспышке стихийных пожаров. Например, Португалия пережила один из самых худших сезонов пожаров. По оценкам Hodzic et al. (2007) около 130 кило тонн мелких аэрозольных частиц (PM_{2.5}) поступило в атмосферу в результате пожаров, наблюдавшихся в Европе во время периода волны тепла, что привело к средней концентрации PM_{2.5} в приземном слое в размере 40–200% (до 40 мкг/м³). Эти крошечные аэрозольные частицы, состоящие, в основном из органического вещества и технического углерода, могут глубоко проникать в дыхательные системы человека и, следовательно, представляют опасность для здоровья. Hodzic et al. (2007) также сообщают, что наличие над Европой надземных слоев дыма в значительной степени изменило радиационные свойства атмосферы: результаты модельных расчетов показывали снижение скорости фотолиза на 10–30% и увеличение радиационного воздействия атмосферы – на 10–35 Вт/м² в течение периода сильного влияния пожаров на большей части территории Европы.

Случаи загрязнения воздуха могут быть более частыми и более серьезными в условиях будущего изменения климата. Модели климата показывают, что вероятность волн тепла значительно возрастет в течение текущего столетия. Например, модели применительно к Швейцарии предполагают, что не только средняя температура в стране значительно возрастет, но и стандартное отклонение температуры к концу XXI века удвоится (см. рис. 3 и Schar et al., 2004). Таким образом, сухое и теплое лето должно наблюдаться чаще, а волны тепла, подобные волне тепла 2003 г., в Европе в среднем могут иметь место каждый второй год. Глобальные модели (МГЭИК, 2007) показывают, что стандартное отклонение температуры, а, следовательно, и вероятность волн тепла, вырастет во многих частях мира. В результате, более частые случаи высокой концентрации озона ожида-

ются не только в урбанизированных районах Северного полушария, но также и в странах с формирующейся экономикой (например, в Китае и Бразилии), на которые оказывают воздействие как быстрая индустриализация, так и интенсивное сжигание биомассы. Так как страны Европы и Северной Америки предпринимают попытки сократить антропогенные выбросы, загрязнение воздуха может стать более устойчивым, чем ожидается, из-за изменения климата.

Выводы

Таким образом, высокие концентрации озона, наблюдавшиеся во время волны тепла 2003 г., явились результатом сочетания метеорологических, химических и биологических факторов. Есть вероятность, что такие случаи будут в будущем более частыми. Необходимо более глубокое понимание связей, существующих между климатом, экосистемами и биохимическими циклами, так как взаимосвязь между этими различными системами оказывает непосредственное влияние на качество воздуха. Поскольку мы рассматриваем региональные, а также глобальные аспекты этой взаимосвязи, важно подойти к проблеме загрязнения воздуха и в свете системы Земля. Модели будущего должны отражать процессы, связанные:

- с физическим климатом, включая межмасштабную динамику и микрофизику;
- с химическим составом атмосферы (химически активные газы и аэрозольные частицы) и биохимическими циклами (включая циклы углерода и азота);
- с наземными экосистемами и гидрологическими процессами

(управляемые и неуправляемые экосистемы);

- с взаимодействием природных и социальных систем (энергетика, сельское хозяйство, прибрежные системы и другие антропогенные системы).

Одна из интеллектуальных задач на будущее заключается в том, чтобы не только лучше понимать поведение различных компонентов системы Земля, но и развивать науку, изучающую взаимодействие с тем, чтобы судьбу нашей планетарной системы можно было лучше моделировать, используя комплексные численные модели.

Выражение признательности

С благодарностью выражается признательность Клер Граньер, Алме Ходзик, Жану-Франсуа Ламарку и Кристине Видмайер за проведенные дискуссии.

Литература

- BRASSEUR, G.P., M. SCHULTZ, C. GRANIER, M. SAUNOIS, T. DIEHL, M. BOTZET, E. ROECHNER and S. WALTERS, 2006: Impact of climate change on the future chemical composition of the global troposphere, *J. Climate*, 19, 3932–3951.
- HODZIC, A., S. MADRONICH, B. BOHN, S. MASSIE, L. MENUT and C. WIEDINMYER, 2007: Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: Mesoscale modeling of smoke emissions, transport and radiative effects, *Atmos. Chem. and Phys.*, 7 (15), 4043–4064.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007: Climate Change 2007—The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment (S. SOLOMON, D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR and H.L. MILLER (Eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

SCHÄR, C., P.L. VIDALE, D. LÜTHI, C. FREI, C. HÄBERLI, M.A. LINIGER and C. APPENZELLER, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves, *Nature*, 427, 332–336.

SOLLBERG, S., Ø. HOV, A. SVØDE, I.S.A. ISAKSEN, P. CODEVILLE, H. DE BACKER, C. FORSTER, Y. ORSILINI and K. UHSE, 2008: European surface ozone in the extreme summer 2003, *J. Geophys. Res.*, 113, D07307, doi: 10.1029/2007JD009098.

STEVENSON, D.S., F.J. DENTENER, M.G. SCHULTZ et al., 2006: Multimodel ensemble simulations of present-day and near-future tropospheric ozone, *J. Geophys. Res.*, 111, D8301, doi:10.1029/2005JD006338.

TRIGO, M.C., R. GARCIA-HERRERA, J. DIAZ, I.F. TRIGO and M.A. VALENTE, 2005: How exceptional was the early August 2003 heatwave in France?, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L10701, doi:10.1029/2005GL022410.

VAUTARD, R., C. HONORÉ, M. BEEKMANN and L. ROUIL, 2005: Simulation of ozone during the August 2003 heatwave and emission control scenarios, *Atmos. Environ.*, 39, 2957–2967.



Глобальная атмосфера: парниковые газы и загрязнение городов

Юн Нисбет¹ и Мартин Мэннинг²

Введение

В течение 50 лет, с тех пор как Дейв Килинг начал осуществлять мониторинг двуокиси углерода в Мауна Лоа (Гавайские острова) и на Южном полюсе, ученые ведут наблюдения за парниковыми газами и другими газовыми микропримесями в глобальной атмосфере. Полученные результаты коренным образом изменили наше представление о биогеохимии и показали, что деятельность человека оказывает влияние на изменение климата и качество воздуха. Точные измерения концентраций газовых микропримесей, начатые Дейвом Килингом, привели от захватывающего научного исследования к самым серьезным социально-экономическим и политическим проблемам, которые когда-либо стояли перед человечеством.

Только благодаря точным и откалиброванным измерениям газовых микропримесей в нескольких пунктах мы смогли составить надежные кадастры источников и поглотителей парниковых газов и загрязняющих веществ, от которых зависит качество воздуха. Было четко определено антропогенное влияние на атмосферу. В то же время возникло некоторое понимание масштаба ущерба, который могут нанести неконтролируемые изменения в атмосфере. В настоящее

...мониторинг атмосферы обеспечивает нас наиболее исчерпывающими данными о биогеохимических изменениях в быстро теплеющем мире.

время этим обусловлен глобальный пересмотр направления и планирования экономической деятельности.

Технический прогресс, необходимый для того, чтобы избежать опасных изменений в атмосфере, обходится дорого, однако доказано, что бездействие обойдется еще дороже. Последствия ухудшения качества воздуха и изменения климата могут обернуться триллионами долларов (Burtraw et al., 2003; Metz et al., 2007; Sitch et al., 2007). По иронии судьбы, несмотря на международное внимание, уделяемое глобальному изменению, точный стратегический мониторинг атмосферных газовых микропримесей, благодаря которому эта проблема стала животрепещущей, по-прежнему финансируется явно недостаточно (Nisbet, 2007). И все же пока это единственный способ выяснить, насколько действенна стратегия смягчения последствий.

Если считать изменения в атмосфере доказанными, можно оправдать минималистический подход к мониторингу. Однако озоновая дыра показала, что химия атмосферы способна препод-

носить сюрпризы. Более того, мониторинг атмосферы обеспечивает нас наиболее исчерпывающими данными о биогеохимических изменениях в быстро теплеющем мире. Сейчас не время подвергать сомнению необходимость мониторинга атмосферы.

Где и какие парниковые газы подвергаются мониторингу?

Мониторинг парниковых газов необходимо осуществлять по многим причинам. Во-первых, изучение «дыхания» Земли относится к фундаментальным исследованиям. В своем первом докладе Килинг (1960) показал сезонный цикл роста и ослабления биосферы планеты и указал на доминирующий эффект масс суши Северного полушария над Южным. Во-вторых, и это вызывает большее беспокойство, мониторинг показал устойчивое повышение двуокиси углерода. По измерениям, которые начали проводить на Гавайях в марте 1958 г., концентрация двуокиси углерода составила 316 частей на миллион (чнм). К марту 2007 г. эта величина достигла 384 чнм. Простая и недвусмысленная кривая Мауна Лоа изменила наш взгляд на мир и собственные действия.

¹ Отдел наук о Земле, Роял Холлоуэй, Лондонский университет, Соединенное Королевство

² Научно-исследовательский институт изменения климата, Викторианский университет в Веллингтоне, Новая Зеландия

В настоящее время выбросы парниковых газов признаются многими странами. Они оцениваются по экономическим и статистическим данным, таким как тонны сжигаемого ископаемого топлива, утечки с мест хранения отходов и оценки выдыхаемого коровами метана (которые значительно отличаются в разных странах). Есть документальные подтверждения этим данным, но, несмотря на возможные ошибки в процессе сбора данных, пока что нет независимого и всестороннего контроля выбросов. Это является серьезным недостатком Киотского процесса, поскольку выбросы начинают связывать с фактическими финансовыми расходами или выгодами.

Сегодня глобальный мониторинг парниковых газов и связанных с ними элементов, который проводится во многих странах на благо общества, обеспечивает независимый научный подход к оценке запаса парниковых газов. В настоящее время данные пригодны лишь для того, чтобы иметь представление в глобальном масштабе и масштабе очень большого региона, а также для количественного определения шлейфов от крупных

локализованных источников. В будущем в соответствии с соглашением, дополняющим Киотский договор, нам необходимо выполнить большую работу по проверке соответствия непосредственно на всех уровнях – местном (например, фабрика), региональном, национальном и континентальном.

К основным микропримесям атмосферы, которые подлежат глобальному мониторингу, относятся:

- Двуокись углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), гидрофторуглероды (HFCs), перфторуглероды (PFCs) и гексафторид серы (SF_6), которые, согласно Киотскому договору, являются основными газами;
- Вещества, истощающие озоновый слой, такие как хлорфторуглероды (ХФУ) и хлорфторуглеводороды (ХФУВ), контроль за которыми осуществляется в соответствии с Монреальским протоколом;
- Косвенные парниковые газы – водород (H_2) (возможность резкого роста в водородной экономике) и окись углерода (CO) (химия метана и качество воздуха);

- Изотопы двуокиси углерода ($^{13}\text{CO}_2$), изотопы метана ($^{13}\text{CH}_4$) и озон (O_3) (для ограничения источников выбросов CO_2 и его запасов).

В локальном и региональном масштабах мониторинг многих короткоживущих загрязняющих веществ, таких как летучие органические соединения (ЛОС), окислы азота (NO_x) и твердые частицы, осуществляется наряду с веществами, получаемыми в ходе их химических реакций, такими как озон.

Не все эти газы в одинаковой степени проходят мониторинг, и пространственно-временной охват имеющимися данными весьма неоднороден. Но во всех случаях ограниченный охват и спорадически проводящиеся программы измерений, не получающие постоянного финансирования, ограничивают нашу способность выявлять изменения природного и антропогенного происхождения. В течение многих лет потенциальной целью национальных и международных программ по исследованию атмосферы является подтверждение влияния выбранной стратегии на контроль выбросов.

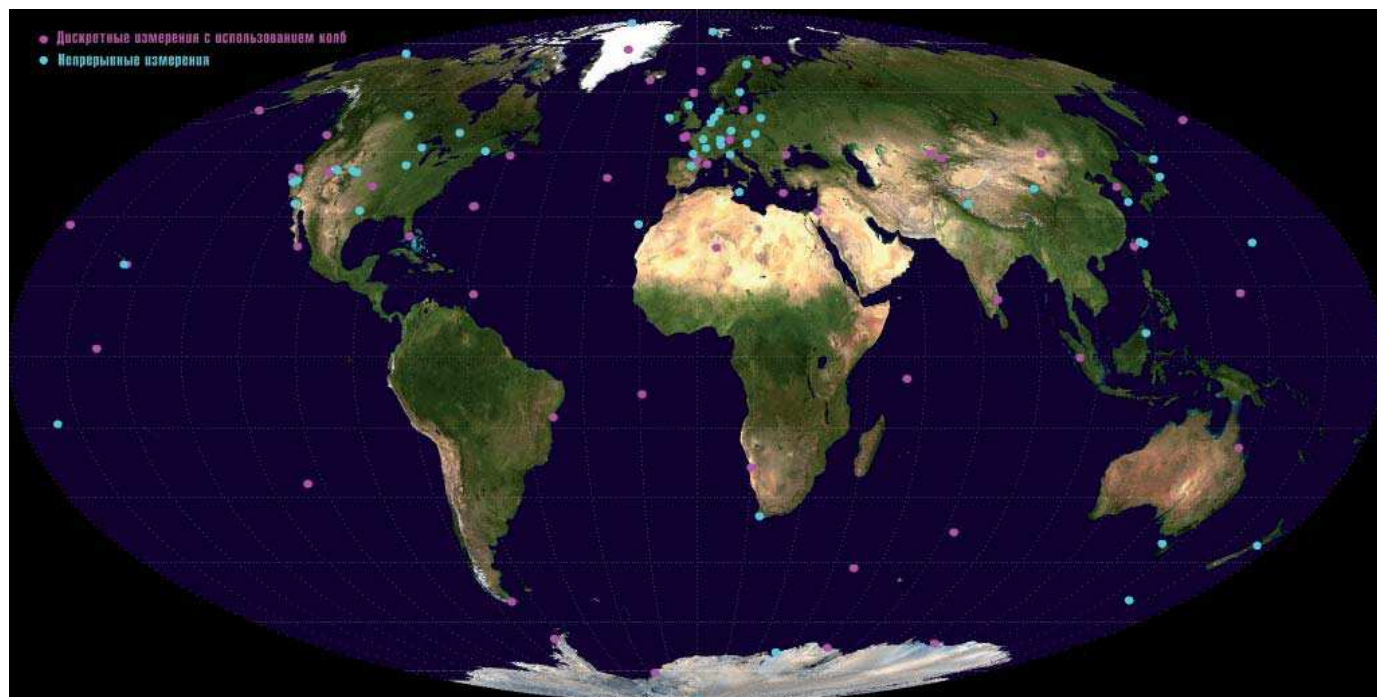


Рисунок 1 – Места проведения глобального мониторинга двуокиси углерода в ноябре 2008 г. (любезно представлено А.С. Мэннингом). Показанные станции принадлежат программам НУОА (США), Института океанографии имени Скриппса (США), Принстонского университета (США), Научно-исследовательской организации Содружества (Австралия), Национального института гидрологических и атмосферных исследований (Новая Зеландия), Национального института изучения окружающей среды (Япония), Южно-африканской метеорологической службы и Carbo-Europe (Европейский союз, включая французскую программу RAMCES).

Мониторинг осуществляется национальными и многонациональными группами; некоторые из них связаны с правительством, другие – с университетами. Наиболее исчерпывающая программа глобального мониторинга проводится Национальным управлением США по исследованию океанов и атмосферы (НУОА); она обеспечивает большинство калибровочных стандартов. Деятельность НУОА в области двуокиси углерода напрямую согласуется с национальными программами Австралии, Канады, Китая, Японии, Новой Зеландии, Южной Африки и многих других стран. Заметным исключением среди развитых стран является Великобритания.

Программы Европейского союза, такие как Carbo-Europe и GEOmon, вносят значительный вклад, координируя национальную деятельность, например, французскую сеть RAMCES (Сеть измерений парникового эффекта атмосферных соединений) и помогая проводить измерения в Индии и Африке. Однако многие программы мониторинга плохо финансируются или подвергаются значительному сокращению (как это случилось с превосходной работой в Австралии и Канаде и с мониторингом метана, проводимым Европейским союзом). Большие пробелы в сети мониторинга существуют в тропиках, особенно в Индии (где мониторинг выполняют французы), на Аравийском полуострове, в тропической части Африки и Бразилии (откуда затруднена отправка колб с пробами).

ВМО координирует глобальные измерения и анализ, поддерживая с 1975 г. международное совещание группы экспертов по измерению двуокиси углерода и газовых микропримесей, которое проходит каждые два года. С помощью программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО поддерживает международных партнеров, обслуживающих основные компоненты глобальной сети ГСА по мониторингу двуокиси углерода и метана, которая является частью Глобальной системы наблюдений за климатом. Высокий уровень деятель-

ности международного сообщества по исследованию углеродного цикла позволил заключить соглашение, касающееся стандартов и методов анализа. Это сообщество помогает ВМО выпускать ежегодный бюллетень, посвященный парниковым газам, в котором выражается общее мнение относительно состава и тенденций глобальных парниковых газов. Важно отметить, что группы экспертов ГСА, занимающиеся измерениями, проводят важные исследования на основе взаимного сравнения, которые так не любят финансирующие организации, но без которых глобальное сотрудничество и большая часть моделирования запаса были бы бесполезны. В этой работе участвует примерно 25 национальных программ (и их число увеличивается). Работа проводится в глобальном масштабе, при этом НУОА и RAMCES используют океанические острова в стратегических целях. Однако существуют значительные пробелы в охвате территорий (рис.1), особенно в тропиках.

Спутниковый мониторинг газовых микропримесей пока находится на подготовительной стадии, но с ним связывают большие надежды. Спутниковые системы, такие как прибор Sciamachy (сканирующий абсорбционный спектрометр с формированием изображения для составления

атмосферных карт), установленный на спутнике Европейского союза ЭНВИСАТ, используют ближнюю ИК-область спектра для измерения общего количества двуокиси углерода и метана в столбе атмосферного воздуха. В скором времени орбитальная обсерватория НАСА по измерению углерода и спутник по наблюдению за парниковыми газами IBUKI (GOSAT) Японского агентства аэрокосмических исследований будут предоставлять дополнительные данные по многим регионам мира. В принципе, почти глобальный охват, обеспечиваемый методами дистанционного зондирования, может существенно расширить наши возможности в установлении связи между характерными признаками концентраций газовых микропримесей и распределением вызывающих их источников и поглотителей (Rayner and O'Brien, 2001). Однако право на существование этого подхода еще предстоит доказать. В ближайшем будущем мы возлагаем надежды на сеть наземных станций. Кроме того, в более отдаленной перспективе нам по-прежнему будут нужны данные наземной проверки, получаемые на основе измерений с помощью наземных приборов и приборов верхнего обзора.

Концентрации двуокиси углерода варьируются в разных частях планеты.

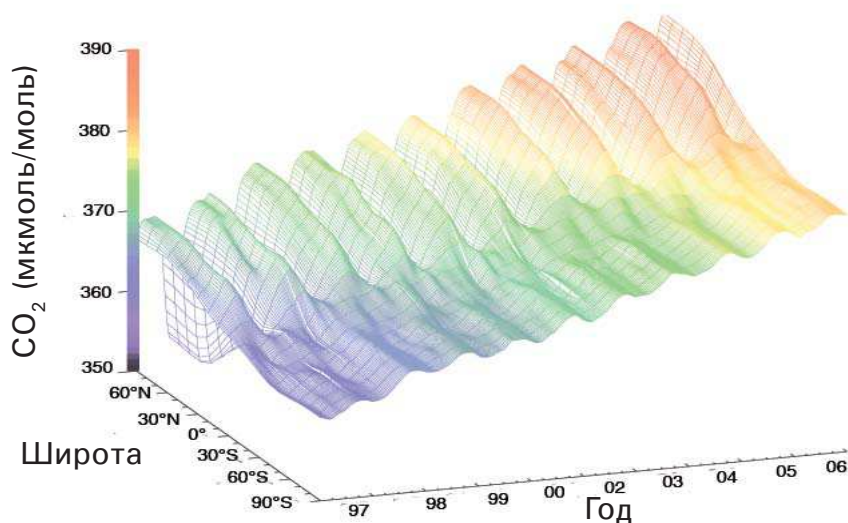


Рисунок 2 – Глобальное среднее распределение атмосферной двуокиси углерода в морском пограничном слое по времени и широте (по данным совместной сети отбора проб воздуха Лаборатории исследования земной системы НУОА (www.esrl.noaa.gov))

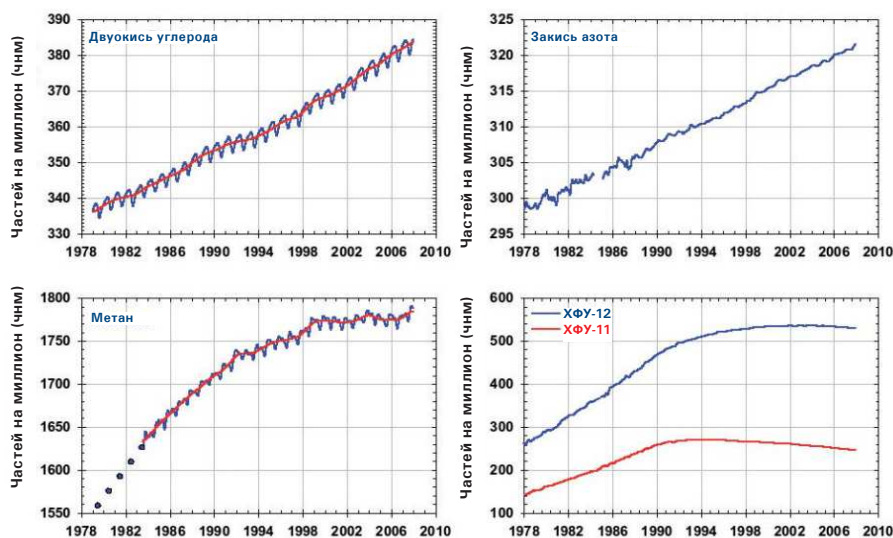


Рисунок 3 – Глобальные средние значения концентрации основных хорошо перемешанных долгоживущих парниковых газов двуокиси углерода, метана, закиси азота, ХФУ-12 и ХФУ-11 по данным совместной сети отбора проб воздуха Лаборатории исследования земной системы НУОА с 1978 г. (www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/)

Как показал Килинг, они хорошо перемешаны с точки зрения многолетнего масштаба, но подвержены значительным сезонным и широтным изменениям. На рис.2 показан «углеродный ковер», называемый также «летучим ковром», т.е. распределение двуокиси углерода в морском пограничном слое по времени и широте. Это является удивительным свидетельством дыхания биосферы нашей планеты и растущей активности человеческой деятельности. Тонкий рельеф глобального изменения двуокиси углерода выдерживает сравнение с глобальным колебанием абсолютной температуры. В то же время в период весеннего антициклона приземные концентрации двуокиси углерода в крупном промышленном районе могут превышать 450 чнм, а в лесу на расстоянии 1000 км от рассматриваемого района эта величина на 100 чнм ниже. Сравните это с июльской температурой в Сахаре (330К) и на Южном полюсе (230К). Отмечены большие сезонные циклы и большой градиент в пределах полушария.

Глобальные парниковые газы

На рис.3 показана эволюция глобальных средних значений основ-

ных парниковых газов с 1978 г. по данным измерений объединенной сети по отбору проб воздуха Лаборатории исследования земной системы (НУОА, США). В отношении двуокиси углерода повышение представляется очевидным и неуклонным, особенно в последнее десятилетие. Обратите внимание на изменение наклона во время замедленного роста и в период Эль-Ниньо в начале 1990-х годов. Концентрации закиси азота также неуклонно растут: этот газ, выделяющийся при производстве нейлона и в процессе сельскохозяйственных работ, может быть весьма выгодной целью для мероприятий по снижению его концентрации.

Метан еще в большей степени, чем закись азота, претендует на первое место среди парниковых газов, концентрации которых необходимо снижать, поскольку во многих случаях его выбросы, например, с полигонов захоронения отходов и от газопроводов, являются разорительными с экономической точки зрения и наносят ущерб окружающей среде. В начале 1990-х годов запас метана достиг состояния, близкого к равновесному, но в настоящее время его уровень снова может повышаться, особенно в Арктике (по неопубликованным данным НУОА и данным Rigby and Prinn, 2008). Причины еще не ясны, и,

пока сохраняется такая ситуация, это является серьезным упреком нашей способности диагностировать изменения в атмосфере. Раньше Европейский союз поддерживал мониторинг изотопов метана в Арктике, благодаря которому можно было различать источники его поступления. Эта работа была прекращена, а в настоящее время связанная с изотопами деятельность в Арктике в основном зависит от США и национальных программ. И, наконец, на рис.3 хлорфторуглероды показывают обнадеживающее снижение, что свидетельствует об успешном выполнении Монреальского протокола. Этот результат является надежным показателем проведения последующих мероприятий, связанных с Киотским протоколом.

Какова цель измерения парниковых газов?

Региональные исследования

При изучении распространения двуокиси углерода по данным сети мониторинга затрагивается широкий спектр научных проблем. К таким примерам можно отнести количественное определение поглотителей двуокиси углерода на суше по сравнению с океаном, оценку влияния волны тепла в Европе в 2003 г. на концентрацию двуокиси углерода в атмосфере, изучение влияния цикла Эль-Ниньо/Южное колебание, наблюдение обширного влияния вулканических явлений.

В США НУОА осуществляет мониторинг двуокиси углерода, используя непрерывные наблюдения с вышек и отбирая пробы с небольших самолетов. По этим данным получают пространственно-временные региональные градиенты, которые вводятся в систему усвоения данных моделирования углеродного цикла, названную Carbon Tracker. На ее основе Peters et al. (2007) оценили общий обмен двуокиси углерода между земной поверхностью и атмосферой за период 2000–2005 гг. Они

обнаружили, что биосфера суши Северной Америки является основным поглотителем углерода, поглощая $0,65 \times 10^{15}$ г углерода в год (отметим значительную изменчивость: от $0,4$ до $1,01 \times 10^{15}$ г/год). Это частично компенсирует выбросы от сжигания ископаемого топлива, составляющие $1,8 \times 10^{15}$ г/год. В Европе подобный мониторинг с вышек осуществляется как часть европейской программы Chiotto и новой комплексной системы наблюдения за углеродом.

Stephens et al. (2007) использовали вертикальные профили, полученные по измерениям с самолетов, и пришли к выводу о том, что поглощение на севере составило около $1,5 \times 10^{15}$ г/год, что ниже предыдущей оценки, а также предположили, что общие выбросы в тропиках невелики ($0,1 \times 10^{15}$ г/год) и свидетельствуют о том, что сильное поглощение в тропиках в основном уравнивает крупные выбросы, вызванные сведением лесов и травяным палом. Piao et al. (2008) на основе данных наблюдений и моделирования НУОА обнаружили, что осеннее потепление может оказывать значительное влияние на запас двуокиси углерода.

Особенно эффективным является изотопный мониторинг. Поскольку выбросы различных источников обычно имеют разные изотопные отношения, можно оценить силу источника. Напри-

мер, если ветер, дующий от угольного бассейна, обогащен $^{13}\text{CH}_4$, то такое увеличение может быть связано с общим количеством выбрасываемого метана. Используя анализ обратной траектории ветра, можно на большом расстоянии определить силу источника: метан от пожаров в Канаде можно почувствовать в Ирландии, а метан из Африки достигает Новой Зеландии. В конечном счете изотопы перемешиваются почти так же, как и цветные индикаторы в дымовом следе.

Levin et al. (2007) использовали радиогенные наблюдения ^{14}C на региональных станциях в Германии, сравнивая их с измерениями в свободной тропосфере в Jungfrauoch (Швейцарские Альпы), чтобы оценить региональное превышение двуокиси углерода над фоновым значением.

В более общих чертах Bakwin et al. (2004) показали, что с помощью измерений двуокиси углерода можно оценить ее выбросы в региональном масштабе (порядка $1\,000\,000\text{ км}^2$ при условии наличия соответствующей сети мониторинга). С помощью относительно недорогих современных приборов и отбора проб с самолетов можно дать количественное определение выбросов по количеству и изотопному источнику. По сравнению с существующими программами необходимая активизация усилий невелика. В принципе, необходимо создать возможность

напрямую проверять выполнение условий любого будущего соглашения, такого как Киотский договор, по крайней мере, в крупных промышленных регионах, таких как Китай, Европа, Индия и США.

Воздействие на городской воздух

В развитых странах за последние 10 лет качество воздуха в городах значительно улучшилось. На рис.4 показано среднемесячное значение окиси углерода, которое является хорошим показателем общего качества воздуха в районе Egham, к юго-западу от Лондона (Великобритания). В настоящее время количество дней с высокими значениями окиси углерода невелико. Такое улучшение наблюдается с 1997 г. в результате уменьшения автомобильных выбросов, которое произошло за счет применения каталитического нейтрализатора выхлопных газов, налогового режима, благодаря которому неэтилированный бензин стал дешевле этилированного, и более жесткого режима ежегодного техосмотра. В настоящее время воздух в Лондоне достаточно чист. То же самое можно сказать о большинстве городов Европы и США, где отмечается такое же улучшение. Хотя по-прежнему остается серьезная опасность для здоровья, общая картина является значительно более радужной, чем 10 лет назад.

Качество городского воздуха в странах с развивающейся промышленностью, особенно в Китае и Индии, остается чрезвычайно плохим. Однако и здесь намечается улучшение ситуации. Показательным примером служит качество воздуха в Пекине: героические усилия, предпринятые для улучшения условий проведения Олимпийских игр в 2008 г., обернулись желанием общества повысить качество воздуха во всей стране. Давление общественности может привести к улучшению ситуации и в Индии. Опыт Северной Америки и Европы (как недавние мероприятия по повышению качества воздуха, так и мероприятия по борьбе с кислотными

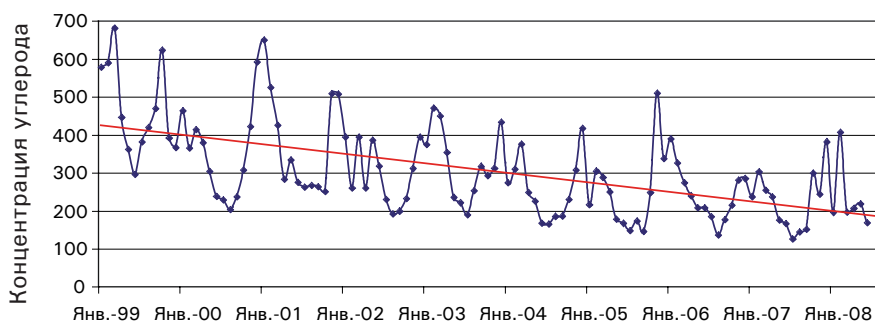


Рисунок 4 – 10-летние данные окиси углерода в районе Egham, к юго-западу от Лондона. Показаны среднемесячные отношения перемешивания углерода. Подробные данные о метане показывают резкое увеличение случаев сильного загрязнения с 1997 г. С 2006 по 2008 г., благодаря большому количеству дней с западным ветром, уровень углерода лишь слегка превысил современные (сезонные) фоновые уровни в Атлантике, а значения метана близки к результатам синхронных измерений в Мейс Хэд, на западе Ирландии (неопубликованные предварительные данные, Royal Holloway Group; заметьте, что черта выполняет лишь роль ориентира).

дождями 10 лет назад) показывает, что за счет решительных усилий качество воздуха можно значительно повысить в течение 10 лет.

Если качество воздуха в районе крупных городских центров вполне понятно, то предполагаемый рост мегаполисов может вызвать новые проблемы, особенно в связи с ростом выбросов в атмосферу новых видов синтетических газов и недопониманием всей полноты последствий этого для окружающей среды. Вероятно, еще большее беспокойство вызывает то, что мы пока еще мало знаем о широких фоновых изменениях в химии атмосферы, которые, возможно, являются более крупномасштабными. Например, имеются данные о том, что изменения концентрации преобладающего окисляющего вида, гидроксильного (ОН) радикала, могут быть достаточно сильными (Manning et al., 2005), и показано, что мы узнали многое о гидроксиле благодаря моделям химии атмосферы, а не наблюдениям (Jöckel et al., 2003; Spivakovsky et al., 2000).

По иронии судьбы загрязнение аэрозолями в Китае и Индии в глобальном масштабе действует как отрицательное воздействие парникового эффекта. Действительно, эти страны, очищая свой воздух, решают локальные проблемы, способствуя при этом глобальному потеплению. Более того, каталитический нейтрализатор выхлопных газов утяжеляет автомобиль и снижает эффективность. Таким образом, общее потребление топлива автотранспортными средствами в западных странах выше, чем в том случае, если бы воздух был более загрязненным. Местное улучшение окружающей среды может привести к временному увеличению глобального потепления.

Заключение

При международной поддержке ВМО мониторинг и анализ парниковых газов в атмосфере достигли уровня глобальной комплексной системы, а первые измерения проводились

50 лет назад Дейвом Килингом на Гавайских островах и Южном полюсе. Серьезные научные и социально-экономические результаты этой работы считаются доказанными. Глобальное повышение парникового эффекта и очаги ухудшения качества воздуха вполне понятны. В настоящее время существует потребность в более полном и детальном (относительно недорого) мониторинге в поддержку моделирования с целью регионального и локального определения запасов газовых микропримесей. Это позволит провести независимую проверку выбросов по источнику, месту и времени. Теперь есть эффективное средство слежения за углеродом.

Литература

BAKWIN, P.S., K.J. DAVIS, C., YI, J.W. MUNGER, L. HASZPRA and Z. BARCZA, 2004: Regional carbon fluxes from mixing ratio data. *Tellus*, 56B, 301–11.

BURTRAW, D., A. KRUPNICK, K. PALMER, A. PAUL, M. TOMAN and C. BLOYD, 2003: Ancillary benefits of reduced air pollution in the US from moderate greenhouse gas mitigation policies in the electricity sector. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45, 650–673.

JÖCKEL, P., C.A.M. BRENNINKMEIJER, P.J. CRUTZEN, 2003: A discussion on the determination of atmospheric OH and its trends. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3, 107–118.

LEVIN, I., S. HAMMER, B. KROMER and F. MEINHARDT, 2007: Radiocarbon observations in atmospheric CO₂: determining fossil fuel CO₂ over Europe using Jungfraujoch observations as background. *Science of the Total Environment*, 391, 211–6.

MANNING, M.R., D.C. LOWE, R.C. MOSS, G.E. BODEKER and W. ALLAN, 2005: Short term variations in the oxidizing power of the atmosphere. *Nature*, 436: 1001–1004.

METZ, B. O.R. DAVIDSON, P.R. BOSCH, R. DAVE and L.A. MEYER (Eds.), 2007:

Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

NISBET, E.G., 2007: Cinderella science. *Nature*, 450, 789–790.

PATAKI, D.E., D.R. BOWLING, J.R. EHLERINGER and J.M. ZOBITZ, 2006: High resolution atmospheric monitoring of urban carbon dioxide. *Geophysical Research Letters*, 33, L03813, 5 pp.

PIAO, S. and 15 others, 2008: Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. *Nature*, 451, 49–53.

PETERS, W. and 15 others, 2007: An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange: Carbon Tracker. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 48, 18925–18930.

RAYNER, P.J., D.M. O'BRIEN, 2001: The utility of remotely sensed CO₂ concentration data in surface source inversions. *Geophysical Research Letters* 28(1): 175–.

RIGBY, M. and 15 others, 2008: Renewed growth of atmospheric methane. *Geophysical Research Letters* (in press).

SITCH, S., P.M. COX, W.J. COLLINS and C. HUNTINGFORD, 2007: Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink. *Nature*, 448: 791–794.

SPIVAKOVSKY, C.M., J.A. LOGAN, S.A. MONTZKA, Y.J. BALKANSKI, M. FOREMAN-FOWLER, D.B.A. JONES, L.W. HOROWITZ, A.C. FUSCO, C.A.M. BRENNINKMEIJER, M.J. PRATHER, S.C. WOFSY and M.B. McELROY, 2000: Three-dimensional climatological distribution of tropospheric OH: Update and evaluation. *Journal of Geophysical Research* 105(D7), 8931–8980.

STEPHENS, B.B. and 21 others, 2007: Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂. *Science* 316, 1732–1735.

Возможное влияние загрязнения воздуха, а также пыльных и песчаных бурь на Индийский муссон

Уильям К.М. Ло¹, Ку-Мунг Ким², Кристина Н. Хсу¹, Брент Н. Холбен³

Введение

В странах, подверженных влиянию Азиатского муссона, таких как Китай и Индия, проблемы безопасности и здоровья человека, вызванные загрязнением воздуха, становятся все серьезнее благодаря повышенному содержанию загрязняющих атмосферу веществ, присутствующих в выбросах отработанных газов, и более высокой потребности в энергии в связи с быстрыми темпами индустриализации и модернизации. Между тем неравномерное распространение связанных с бурными паводками муссонных дождей и продолжительной засухи вызвало гибель людей и нанесло ущерб урожаю и имуществу, которые повлекли за собой серьезные социальные последствия. Исторически исследования загрязнения воздуха и муссонов рассматриваются как отдельные проблемы. Однако в последних исследованиях предполагается, что обе проблемы могут быть связаны между собой и их следует изучать вместе (Lau et al., 2008).

По существу, аэрозоли могут оказывать влияние на осадки за счет радиационных эффектов взвешенных частиц в атмосфере (прямое воздействие) и/или за счет интерференции и изменения процессов формирования

облачности и осадков (косвенное воздействие). По оптическим свойствам аэрозолей их можно разделить на две категории: аэрозоли, поглощающие солнечную радиацию, и аэрозоли, не поглощающие ее. Оба типа аэрозолей рассеивают солнечный свет и уменьшают количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли, вызывая ее охлаждение. Охлаждение поверхности увеличивает устойчивость атмосферы и снижает конвективный потенциал.

Однако поглощающие аэрозоли, помимо охлаждения поверхности, могут нагревать атмосферу. Нагревание атмосферы может уменьшить количество нижних облаков за счет повышенного испарения в облачных каплях. Однако нагревание может вызывать восходящее движение, усилить конвергенцию влаги на нижнем уровне и тем самым увеличить количество осадков. Скрытое нагревание за счет увеличения количества осадков может стимулировать процессы обратной связи в крупномасштабной циркуляции, все больше усиливая первоначальную реакцию на нагревание аэрозолей и вызывая больше осадков.

Кроме того, аэрозоли могут увеличивать концентрацию ядер конденсации облаков (CCN), увеличивать облачность и снижать скорость слияния и столкновения, приводя к уменьшению осадков. Однако при наличии более влажного и теплого воздуха пониженные скорости слияния и столкновения могут привести к переохлаждению капель на более высоких уровнях, откуда выпадают осадки в виде льда с последующим таянием. Выделение скрытого тепла в процессе замерзания

наверху и таяния внизу предполагает более активный перенос тепла в загрязненных облаках и активизирует глубокую конвекцию (Rosenfeld et al., 2008). Таким образом аэрозоли могут увеличить локальную конвекцию. Следовательно, в зависимости от окружающих крупномасштабных условий и динамических процессов обратной связи влияние аэрозолей на осадки может быть положительным, отрицательным или смешанным.

В районе Азиатского муссона и в прилегающих областях вынуждающее воздействие аэрозолей и реакции гидрологического цикла являются еще более сложными. Как прямые, так и косвенные воздействия могут иметь место одновременно в одной точке, взаимодействуя друг с другом. Помимо локальных воздействий, на муссонные дожди могут влиять аэрозоли, перенесенные из других районов и усиленные обратными связями крупномасштабной циркуляции и влаги. Таким образом, пыль, перенесенная за счет крупномасштабной циркуляции из пустынь, прилегающих к северной Индии, может оказать влияние на осадки над Бенгальским заливом; сульфаты и газовая сажа от промышленных загрязненных районов центрального и южного Китая и северной Индии могут повлиять на режим осадков на Корейском полуострове и в Японии; органический углерод и газовая сажа, выделяющиеся при горении биомассы в Индокитае, могут регулировать режим осадков до начала муссона в южном Китае и прибрежных районах, способствуя изменчивости дифференциального нагревания и охлаждения атмосферы, а также температурному контрасту суша–море.

- 1 Лаборатория атмосферы, НАСА/Центр космических полетов им. Годдарда, Гринбелт, Мэриленд 20771
- 2 Научно-технический центр по изучению Земли им. Годдарда, Мэрилендский университет, Балтимор, Мэриленд 21228
- 3 Лаборатория гидросферы и биосферы, НАСА/Центр космических полетов им. Годдарда, Гринбелт, Мэриленд 20771

Последние исследования влияния аэрозолей на Азиатский муссон

Во многих из последних статей показаны изменения поверхностного охлаждения, концентрации аэрозолей и их возможных взаимодействий с осадками в муссонных районах Индии и Восточной Азии (Krishnan and Ramanathan, 2002; Devara et al., 2003; Cheng et al., 2005; Prasad et al., 2006; Nakajima et al., 2007; George et al., 2008; многие другие). По данным исследований с использованием моделирования, аэрозоли в атмосфере могут оказывать влияние на гидрологический цикл муссонов, изменяя региональный энергетический баланс в атмосфере и на поверхности Земли и регулируя процессы облачности и осадков (Rosenfeld, 2000; Ramanathan et al., 2001; Li, 2004). Однако в зависимости от экспериментального проектирования, рассматриваемых пространственно-временных масштабов, вынуждающего воздействия аэрозолей и представления используемых аэрозольных и дождевых процессов модели дали результаты, которые сильно отличаются друг от друга.

Используя глобальную модель прогноза погоды, Iwasaki и Kitagawa (1998) обнаружили, что влияние аэрозолей может уменьшить температурный контраст суша–море и привести к подавлению муссона в Восточной Азии, значительно замедляя продвижение к северу фронта Meiyu над восточной частью Азии. Menon et al. (2002) предположили, что продолжительная засуха на севере Китая и частые летние паводки на юге страны могут быть связаны с повышенным поглощением и нагреванием за счет увеличения концентрации газовой сажи в атмосфере Индии и Китая. Ramanathan et al. (2005), используя вынуждающее воздействие аэрозолей, полученное в ходе полевых экспериментов по изучению коричневых облаков в атмосфере, предположили, что вызванное аэрозолями охлаждение уменьшает испарение с поверхности и снижает северо-южный градиент поверхностных температур в Индийском океане, вызывая ослабление муссонной циркуляции. Lau et al. (2006) и Lau and Kim (2006) обнаружили, что большое

количество аэрозолей пыли из пустыни Тар и других пустынь Ближнего Востока переносится в северную Индию в период, предшествующий наступлению муссонов (с апреля до начала июня).

Испытывая воздействие преобладающего ветра в Гималаях, пылевые аэрозоли скапливаются у подножья гор и распространяются по Индо-Гангской равнине. Толстый слой аэрозолей поглощает солнечную радиацию и служит дополнительным источником повышенного тепла для азиатского лета. При переносе над мегаполисами Индо-Гангской равнины абсорбирующие свойства пылинок усиливаются и на них оседают мелкие аэрозоли газовой сажи от местных выбросов (Prasad and Singh, 2007).

Комбинированный эффект нагревания за счет пыли и газовой сажи может вызвать крупномасштабную динамическую обратную связь через так называемый эффект «нагнетания повышенного тепла» (НПТ) (Lau et al., 2006). Этот эффект усиливает сезонное нагревание Тибетского нагорья, вызывая повышенное потепление верхней тропосферы в конце весны и начале лета и впоследствии стимулируя муссонные дожди на севере Индии в июне и июле. Wang (2007) получил подобные результаты, свидетельствующие о том, что глобальное вынуждающее воздействие газовой сажи усиливает ячейку Гадлея в Северном полушарии совместно с увеличением летней муссонной циркуляции в Индии. Meehl et al. (2008) и Collier and Zhang (2008) показали, что осадки в Индии усиливаются весной за счет повышения концентрации газовой сажи, но позднее муссон может ослабеть благодаря индуцированному увеличению облачности и охлаждению поверхности. Bollasina et al. (2008) предположили, что влияние аэрозолей на крупномасштабную циркуляцию Индийского муссона и гидрологические характеристики усиливается за счет нагревания/охлаждения поверхности суши в Индии, которое вызвано уменьшением количества осадков и облачности, сопровождающим повышение концентрации аэрозолей в мае.

Эти результаты могут сбить с толку в силу сложного характера взаимодействия между аэрозолями и

муссоном, а могут послужить источником информации, и изучение такого взаимодействия, как междисциплинарной науки, только начинается. Влияние аэрозолей на процессы осадкообразования в значительной мере зависит не только от свойств аэрозолей, но также от динамических состояний и процессов обратной связи во взаимодействующей системе океан–атмосфера–суша. Поэтому, чтобы понять особое взаимоотношение между аэрозолями и осадками, необходимо сначала разобраться в фоновых метеорологических условиях, влияющих на это взаимоотношение.

В этой статье представлены основные характеристики сезонной и межгодовой изменчивости аэрозолей и муссонов, при этом основное внимание уделяется Индийскому муссону. В качестве примера приводится сезон 2008 г. для обсуждения возможного влияния аэрозолей на крупномасштабную систему Южно-азиатского муссона в условиях вынуждающего воздействия океана и суши.

Аэрозоли и муссонная система

Глобальные аэрозольные «горячие точки»

Эффекты индуцированной аэрозолями в атмосфере обратной связи, вероятно, являются наиболее действенными в аэрозольных «горячих точках», которые характеризуются высокой концентрацией аэрозолей вблизи областей с высокой атмосферной влажностью, т.е. районов океана или тропических лесов. На рис.1 показано глобальное распределение оптической глубины аэрозолей по данным MODIS (спектрорадиометр для получения изображений среднего разрешения) на 2005 г. (Hsu et al., 2004). В зависимости от сезона аэрозольные горячие точки варьируются географически. В некоторых районах обнаружена круглогодичная активность.

Из рис.1 следует, что пустыня Сахара, Западная Африка, Восточная Азия и Индо-Гангская равнина круглый год являются аэрозольными горячими

точками, географически связанными с основными муссонными районами. Огромная пустыня Сахара расположена к северу от пояса дождей Западно-африканского муссона. Район Восточно-азиатского муссона совпадает с промышленным комплексом китайского мегаполиса; он расположен с подветренной стороны пустынь Гоби и Такламакан. Индо-Гангская равнина является комплексом мегаполиса и расположена с подветренной стороны от пустыни Тар и других пустынь Ближнего Востока. Эти районы подвержены воздействию муссонных дождей и засух; кроме того, в них ощущается сильное промышленное загрязнение, и наблюдаются песчаные и пыльные бури. Далее в статье будут рассматриваться аэрозоли в Индо-Гангской равнине и в районе Аравийского моря, а также их возможное влияние на Индийский летний муссон.

Индо-Гангская равнина является аэрозольной «супергорячей точкой» с самой высокой в мире плотностью населения и сосредоточением промышленных предприятий, работающих на каменном угле. Большинство аэрозолей являются

абсорбирующими – газовая сажа от каменного угля и сжигания биотоплива, продукты горения биомассы и пыль. В период северной весны и в начале лета зарождающиеся муссонные западные ветры уносят эти аэрозоли из пустыни Тар и пустынь Ближнего Востока. Как показано на рис.1 (b), очень высокие концентрации (о чем свидетельствует большая оптическая толщина аэрозолей) обнаружены над северной частью Аравийского моря в период с июля по август. Аэрозоли, перемешивающиеся с атмосферной влагой в течение месяцев до начала муссонов, обнаружены в форме мглы и дыма – это так называемые атмосферные коричневые облака (Ramanathan and Ramana, 2005).

Сезонный цикл аэрозолей и муссонных дождей

Совместную изменчивость абсорбирующих аэрозолей и осадков над субконтинентом Индии можно увидеть в климатологическом широтно-временном разрезе (1979–2003 гг.) осадков, полученных по данным

спектрометра для картирования общего количества озона и аэрозольного индекса (ТОМС-АИ), а также для Глобального проекта по климатологии осадков (ГПКО) (рис.2). ТОМС-АИ измеряет относительную силу поглощающих аэрозолей на основе абсорбционной способности УФ-спектра, предоставляя единственные глобальные долгосрочные суточные спутниковые данные, имеющиеся за период 1979–2005 гг., при этом данные за период 1993–1996 гг. отсутствуют. Увеличение атмосферной концентрации поглощающих аэрозолей, предшествующее движению полосы муссонных дождей на север, ярко выражено с апреля по июнь на севере Индии ($>20^{\circ}\text{N}$). Также очевидно уменьшение количества аэрозолей за счет их вымывания осадками в разгар сезона муссонов (июль–август). Совершенно ясно, что как аэрозоли, так и осадки связаны с крупномасштабной циркуляцией, которая управляет большей частью сезонного изменения. В июне и июле район с высоким содержанием аэрозолей на севере Индии частично совпадает с областью осадков, свидетельствуя

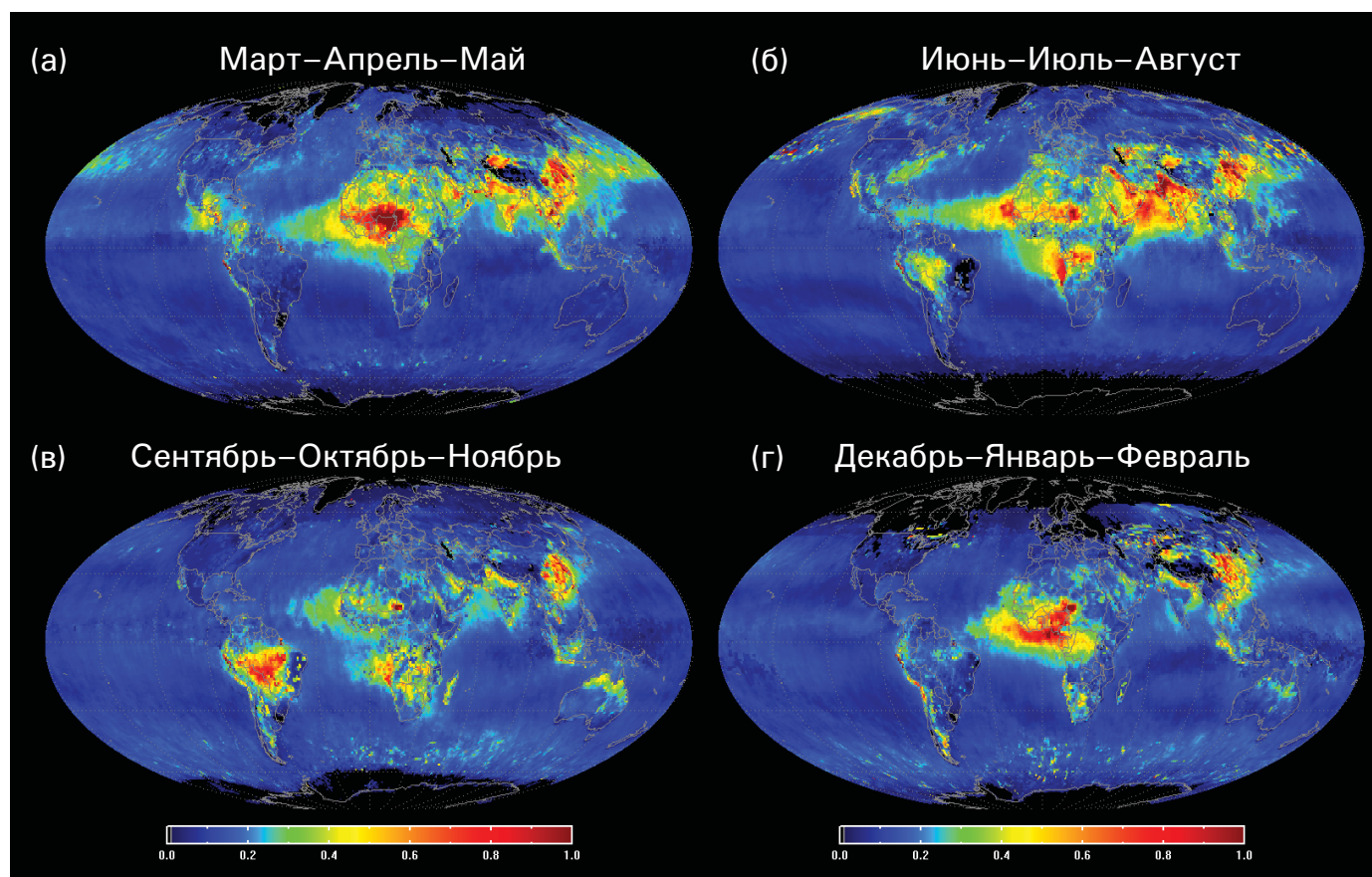


Рисунок 1 – Глобальное распределение оптической толщины аэрозолей, полученное с помощью MODIS, с указанием горячих точек аэрозолей за периоды: (а) март–апрель–май; (б) июнь–июль–август; (в) сентябрь–октябрь–ноябрь; (г) декабрь–январь–февраль 2005 года

о том, что аэрозоли могут взаимодействовать с облаками и осадками в этой области и не могут полностью вымываться муссонными дождями в связи с быстрым восстановлением от локальных выбросов и переносов из внешней части района.

Дополнительные детали характеристик аэрозолей можно получить на основе месячного распределения осадков, оптической толщины аэрозоля и экспонент аэрозоля в ангстремах, которые получают в процессе точечных наблюдений AERONET в Канпуре (расположенном на Индо-Гангской равнине вблизи границы влажной и сухой зон (рис.3)). Оптическая толщина аэрозоля имеет двойной максимум в годовом цикле, т.е. сильную полугодовую компоненту (рис.3(a)). Первый пик связан с накоплением поглощающих аэрозолей в мае и июне, до наступления пика сезонных дождей в июле и августе. Даже в период пика осадков количество фоновых аэрозолей, хотя и не достигающее их максимальной величины ($\sim 0,8$), остается очень высоким ($\sim 0,5-0,6$), что свидетельствует о том, что не все аэрозоли вымываются муссонным дождем. Второй пик оптической толщины аэрозоля с ноября по январь, вероятно, вызван накоплением атмосферных коричневых облаков от промышленных

выбросов и сжигания биотоплива, чему способствовали устойчивые метеорологические условия, связанные с ослаблением воздушных масс и отсутствием осадков, преобладающих на севере Индии в период зимнего муссона (Ramanathan and Ramana, 2005). Следовательно, полугодовой цикл может отражать сезонные изменения метеорологических условий.

Объемные свойства аэрозолей можно получить по изменениям экспонент (рис.3(б)). Это мера спектральной зависимости оптической толщины, которая обратно пропорциональна размеру частицы. Более низкие значения экспонент, обнаруженные с апреля по июнь, указывают на крупные частицы (с эффективным радиусом >1 мкм), поглощающие аэрозоли, такие как пыль. Более высокие значения с ноября по январь указывают на мелкие аэрозоли (с эффективным радиусом <1 мкм) от промышленного загрязнения, которые, вероятно, состоят из смеси абсорбирующих (газовая сажа) и неабсорбирующих (сульфаты) аэрозолей. В связи с преобладающими условиями ослабления на Индо-Гангской равнине в период зимнего муссона возможно, что мелкие частицы в большей степени ограничены атмосферным пограничным слоем и нижней границей

облаков. Следовательно, их нельзя обнаружить с помощью ТОМС-АИ. Этим можно объяснить отсутствие второго пика в ТОМС-АИ. Для подтверждения этой гипотезы необходимо провести более подробные анализы. Как оптическая толщина аэрозолей, так и экспоненты свидетельствуют о сильной межгодовой изменчивости, что проявляется в большом месячном среднеквадратическом отклонении.

Картина типичной крупномасштабной циркуляции, связанная с эффектом НПТ

Как отмечено выше, устойчивое накопление поглощающих аэрозолей начинается в апреле-мае перед муссонными дождями. На рис.4(a) показана картина статистической регрессии майских и июньских температур, осредненных в слое (от поверхности до уровня 300 гПа), и ветра на уровне 300 гПа почти за 20 лет наблюдений с помощью ТОМС-АИ за апрель-май на Индо-Гангской равнине. Накопление аэрозолей в апреле-мае на Индо-Гангской равнине связано с развитием в мае-июне выраженной крупномасштабной тепловой аномалии в верхней тропосфере, обусловленной аномальным высокоуровневым крупномасштабным антициклоном на севере Индии и Тибетском нагорье, при сильных северных ветрах в районе $75-90^\circ$ в.д., $20-25^\circ$ с.ш. и восточных ветрах на субконтиненте Индии и в Аравийском море в районе $5-10^\circ$ с.ш. Оказывается, что крупномасштабный антициклон с теплым ядром, обусловленный скоплением аэрозолей, связан с высокоуровневым циклоном с холодным ядром, расположенным к северо-западу. Дипольная картина согласуется с реакцией волн Россби, выраженных в значениях температуры и ветра, на повышенное адиабатическое нагревание на территории Индии и Бенгальского залива и на пониженное нагревание на северо-западе индийско-пакистанского региона (Hoskins and Rodwell, 1995). На уровне 850 гПа (рис.4(б)) картина регрессии показывает общее увеличение осадков, связанное с повышенной конвекцией на северо-востоке Индии у подножья Гималаев,

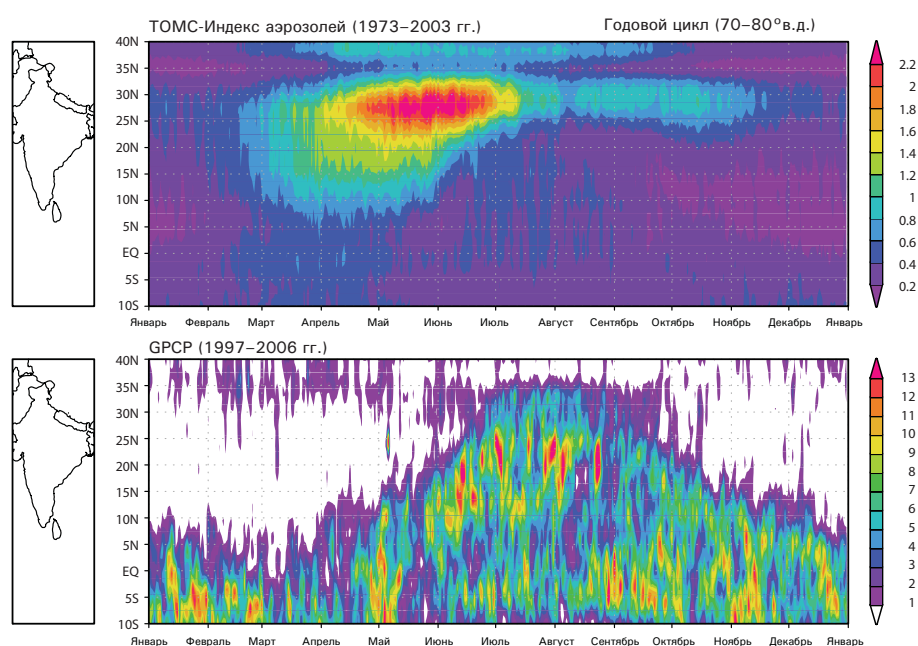


Рисунок 2 – Широко-временной климатологический средний поперечный разрез (а) оптической толщины поглощающих аэрозолей на основе ТОМС-АИ и (б) осадки за пятидневный период, полученные в рамках ГПКО

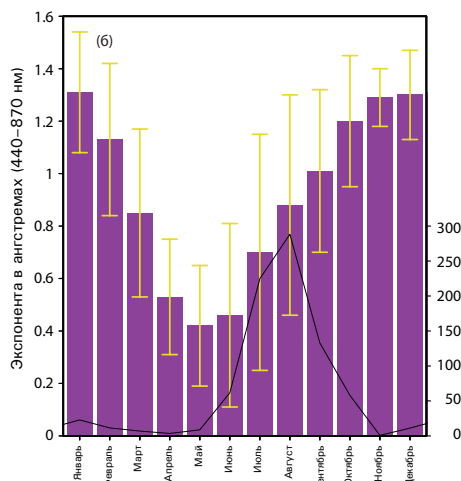
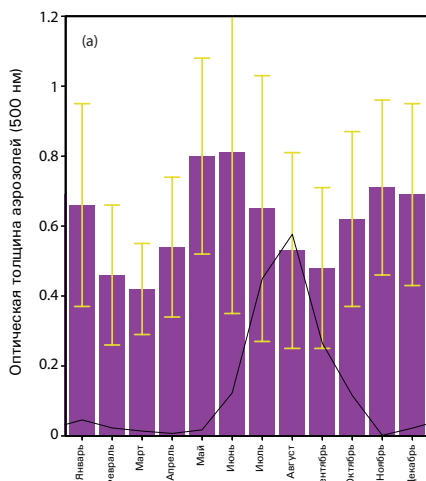


Рисунок 3 – Климатологические наблюдения AERONET (2001–2006 гг.) (а) оптической толщины аэрозолей и (б) экспоненты в ангстремах в Канпуре (Индия). Сплошная кривая обозначает среднемесячные осадки в мм/месяц.

причем наиболее ярко выраженное увеличение в Бенгальском заливе и в западном прибрежном районе Индии наблюдается в июне и июле. Северо-западная часть Индии, Пакистан и северная часть Аравийского моря остаются сухими. Аномальные западные ветры достигли Аравийского моря, пересекли индийский субконтинент и приобрели вид циклонической циркуляции в Бенгальском заливе. Сильные западные ветры перенесут больше пыли с Ближнего Востока через Аравийское море на Индийский субконтинент. В период с мая по июль картины крупномасштабной циркуляции в верхней и нижней тропосфере свидетельствуют о значительном увеличении сдвига западного ветра и углублении депрессии в Бенгальском заливе. Оба эти факта указывают на более сильный Южно-азиатский муссон (Webster and Yang, 1992; Goswami et al., 1999; Wang and Fan, 1999; and Lau et al., 2000). Эти картины крупномасштабной циркуляции характеризуют влияние поглощающих аэрозолей на Индийский муссон.

Индийский муссон 2008 года

В этом разделе Индийский муссон 2008 г. используется в качестве примера для обсуждения возможных взаимосвязей муссонных осадков с крупномасштабным воздействием океана–атмосферы и с аэрозолями. Индийский летний муссон 2008 г. был несколько слабее обычного и наблюдался после явления Ла-Нинья в тропической части Тихого океана. Однако аномальные и длительные

условия повышенной влажности зарегистрированы на севере Индии, вдоль подножья Гималаев, а засушливые условия наблюдались в центральной и южной Индии, Аравийском море и в Бангладеш (рис.5(а)). Кроме того, юго-западная дипольная картина осадков обнаружена в южной части Индийского океана, между экватором и 10°ю.ш. Хотя юго-западный диполь осадков может быть связан с диполем Индийского океана (ДИО) (Saji et al.,

1999; Webster et al., 1999), причина продолжительной аномалии осадков на севере Индии не ясна. Циркуляция на нижнем уровне свидетельствует о сильных восточных ветрах, связывающих диполь Индийского океана и диполь осадков в южной части Индийского океана. Сильные юго-западные ветры, направляющиеся к подножью Гималаев, обнаружены в Аравийском море и на западе Индии. Оказывается, что дефицит осадков на западе и юге Индии связан с крупномасштабным циклоном в северной части Аравийского моря и с антициклоническим потоком на юге Индии и в южной части Бенгальского залива. Температура поверхности моря (ТПМ) аномально низка на всей площади Аравийского моря и Бенгальского залива, а также в северной части Индийского океана (рис.5(б)). Такие широко распространенные низкие (ниже нормы) температуры поверхности моря вызвали бы ослабление Индийского муссона, хотя охлаждение северной части Аравийского моря может свидетельствовать об усилении муссона.

Восточно-западный диполь температур поверхности моря обнаружен на юге Индийского океана, возможно, как след диполя Индийского океана. Наиболее вероятно, что это является основной причиной восточно-западного диполя осадков в южной части Индийского океана. Однако продолжительные аномалии осадков на севере Индии нельзя объяснить непосредственно условиями, созданными диполем Индийского океана, поскольку осадки над Индией слабо связаны с крупномасштабным воздействием океана, таким как диполь Индийского океана и Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНКО). Возможно, что аномалия осадков связана с устойчивыми условиями внетропического циклона, установившимися на севере Индии или на западном протяжении муссонной впадины от южной части Китая. Это остается выяснить.

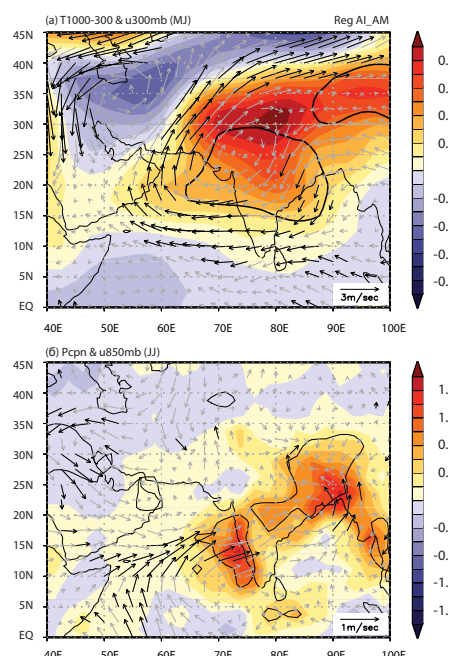


Рисунок 4 – Типичные аномальные крупномасштабные метеорологические характеристики, связанные с эффектом нагнетания повышенного тепла, которые получены на основе регрессии ТОМС-АИ в период май–апрель с помощью (а) тропосферной температуры и ветра на уровне 300 гПа в период май–июнь и (б) осадков и ветра на уровне 850 гПа

Возможное влияние пыли пустынь на аномалии муссонных осадков в Индии в 2008 году

В этом разделе рассматривается распределение аэрозолей и возможные признаки их влияния на Индийский

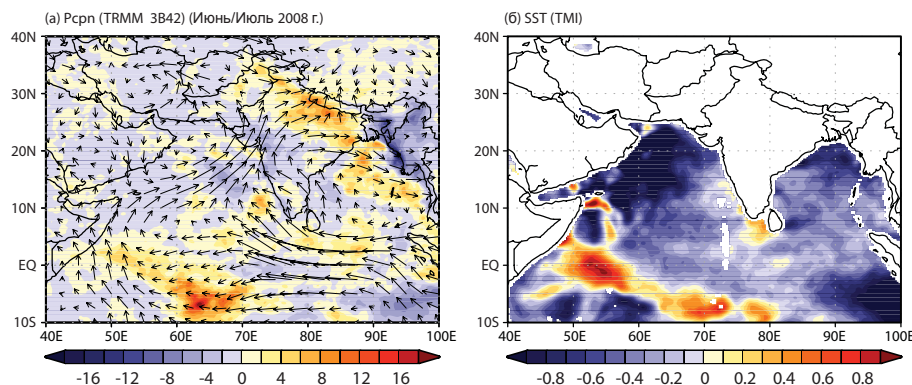


Рисунок 5 – Аномальная картина (а) осадков и ветра на уровне 850 гПа (м/с) и (б) температуры поверхности моря (°С) в июне–июле 2008 г. Аномалия определена как отклонение от восьмилетней климатологической средней (2000–2007 гг.).

муссон 2008 г. На рис.6(а) показано изображение пыли и облаков над районом Индийского муссона. Изображение получено спектро-радиометром MODIS 18 июня 2008 г. Крупное скопление облаков над северо-восточной Индией связано с повышенной конвекцией, обусловленной сильными муссонными осадками вдоль предгорья Гималаев вблизи Непала. Облачные скопления у побережья южной оконечности субконтинента и над Бенгальским заливом связаны с большими аномалиями осадков, обнаруженными в этих районах. Больше всего поражает значительный контраст между сухим и пыльным северо-западным регионом Индии/Пакистана и северной частью Аравийского моря по сравнению с влажной (с активной конвекцией) северо-восточной частью Индии и Бенгальским заливом. Над северной частью Аравийского моря и западной частью Индии может наблюдаться большое количество пыли. Полосы пыли и облаков свидетельствуют о преобладании юго-западного муссонного потока над северо-западной частью Аравийского полуострова. Высокое содержание пыли сохраняется в течение июня и частично в июле, о чем свидетельствует распределение аномальной оптической толщины аэрозолей для июня и июля 2008 г. (рис.6(б)). Центры высокой оптической толщины аэрозолей обнаружены над северной частью Аравийского моря и северо-западным регионом Индии/Пакистана, причем вторичный центр наблюдается над восточной Индией и Бенгальским заливом. Отмечен сильный восточно-западный контраст над Индо-Гангской равниной, указывающий на наличие

сухого района к западу и влажных районов к востоку.

Если судить по отраженному сигналу лидара Калипсо, слои пыли распространяются от поверхности до высот свыше 4–5 км над большой площадью, от Пакистана/Афганистана до северной части Аравийского моря (рис.7, верхняя часть). Частицы пыли поднимаются на большую высоту с ветром, который усиливается за счет горного рельефа, причем наивысшие концентрации отмечены на уровне 4 км и выше. Над океаном они появляются в слоях, расположенных выше и ниже пограничного слоя. Ниже пограничного слоя пыль может перемешиваться с аэрозолями морской соли. Если двигаться дальше на восток, толстый слой смеси пыли и аэрозолей от локальных выбросов, распространяющихся на расстояние до 5 км, четко виден над Индо-Гангской равниной и центральной Индией. Эта смесь распространяется от предгорья Гималаев (рис.7, нижняя часть).

Концентрация пыли над северной Индией постоянно увеличивается с апреля 2008 г. Расчеты обратных

траекторий показывают, что в апреле 2008 г. (рис.8(а)) большинство аэрозолей, обнаруженных на низком уровне (850 гПа) в Канпуре, расположенном у границы влажной и сухой зон на Индо-Гангской равнине, переносится с пылью, поднимающейся на большую высоту (выше 600–400 гПа) над Афганской и Ближневосточной пустынями, при этом часть аэрозолей переносится на небольшой высоте над Аравийским морем (рис.8(б)). В июне (рис.8(в)) перенос смещается на север Аравийского моря и обнаруживается преимущественно на низких уровнях (ниже 800 гПа), на которых наблюдаются муссонные юго-западные ветры, дующие над Аравийским морем и северо-западным районом Индии. В июле (рис.8(г)) траектории все еще указывают на юго-западный приток в Канпур, но он в основном ограничен северо-западной Индией и Пакистаном, где траектории свидетельствуют о сильной вторичной циркуляции, определенной местной топографией.

Основываясь на предыдущих исследованиях с использованием моделирования, можно предположить, что превышающие норму пылевые аэрозоли над Аравийским морем, северо-западной Индией и Пакистаном поглощают солнечную радиацию и тем самым нагревают атмосферу. Пылевые аэрозоли способствуют уменьшению поступающей солнечной радиации на поверхности земли за счет рассеяния и поглощения, тогда как длинноволновая радиация от пыли нагревает поверхность и охлаждает атмосферу. Предыдущие исследования показали, что нагревание атмосферы за счет аэрозолей составляет порядка +20...+25 Вт/м², а охлаждение поверхности имеет сопоставимую величину над Ара-

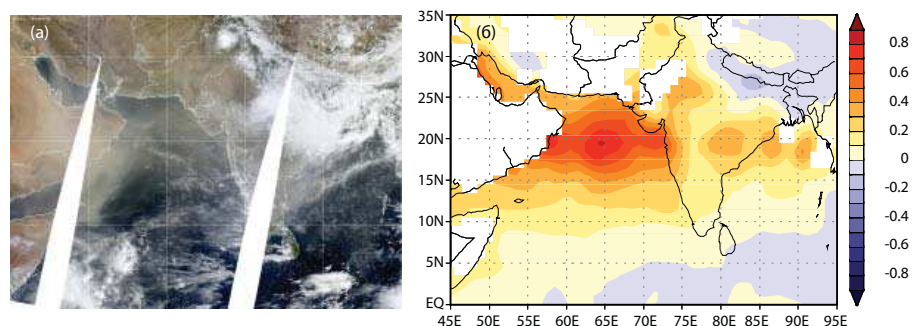


Рисунок 6 – Видимое изображение распределения облаков и пыли над индийским субконтинентом и прилегающими океанами (а) и распределение оптической толщины аэрозолей по данным MODIS (б)

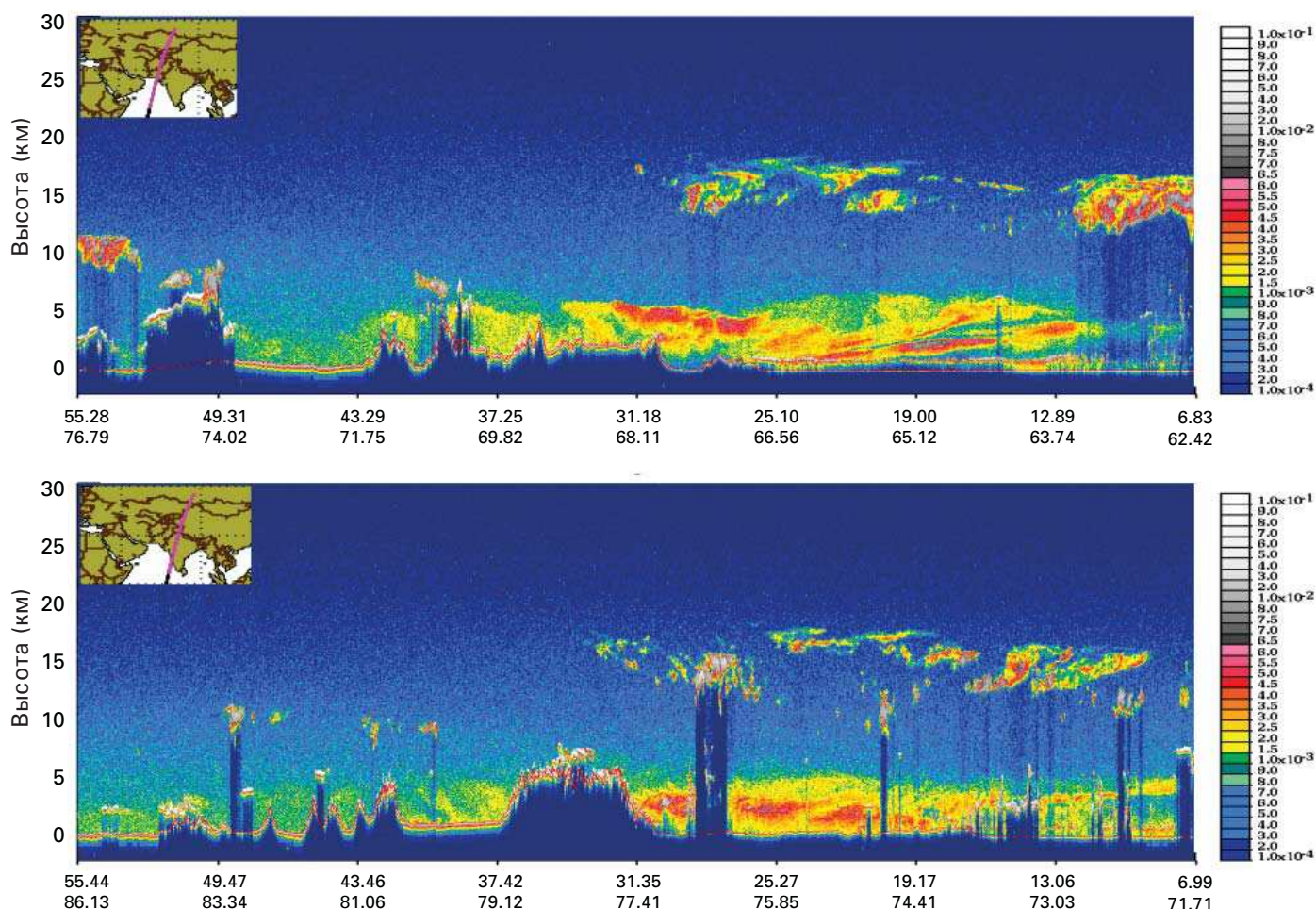


Рисунок 7 – Отраженный сигнал Калипсо, показывающий глубину и относительную концентрацию аэрозольного слоя вдоль меридионального поперечного разреза над (а) Пакистаном и Аравийским морем и (б) Индо-Гангской равниной и Гималаями. Цветовое обозначение: красный = высокая, желтый = средняя; зеленый = низкая концентрация; серый = облачность. Числа на абсциссе представляют северную широту и восточную долготу.

вийским морем и Индийским океаном (Satheesh and Srinivasan, 2002; Podgorny and Ramanathan, 2001). Отмечается, что охлаждение Аравийского моря и Индийского океана уже началось в феврале–марте 2008 г. до увеличения концентрации пыли. Следовательно, охлаждение за счет аэрозолей, скорее всего, свидетельствует о локальном эффекте, налагаемом на крупномасштабное охлаждение океана, которое уже происходит за счет других факторов. Охлаждение Аравийского моря повышает устойчивость атмосферы и уменьшает количество осадков. Однако пылевые аэрозоли (возможно, в сочетании с локальными выбросами газовой сажи), накапливаемые на севере Индии и в предгорьях Гималаев в мае и июне, явились источником повышенного тепла. На рис.9(а) показаны температурная аномалия в верхней тропосфере и циркуляция на уровне 300 гПа. Крупномасштабный антициклон с теплым ядром и сильный

поток восточного направления над северной Индией удивительно похожи на типичную картину циркуляции, связанную с эффектом нагнетания повышенного тепла (см. рис.4). Картина циркуляции на уровне 850 гПа (рис.9(б)) также напоминает картину нагнетания повышенного тепла, что свидетельствует о частичном усилении муссонного потока над северо-западной и центральной Индией и повышении влажности в верхней тропосфере (600–300 гПа).

Еще один характерный признак эффекта нагнетания повышенного тепла можно увидеть в северо-южном поперечном разрезе аномалий меридионального потока и температуры от Тибетского нагорья до южной Индии (75–85° в.д.). Потепление выше нормы отмечено над Тибетским нагорьем, а похолодание – вблизи поверхности и в нижней тропосфере в низменных районах Индо-Гангской равнины и

центральной Индии. Более активное восходящее движение отмечено над южными склонами Тибетского нагорья, а возвратно-поступательные нисходящие движения обнаружены над южной Индией (рис.9(в)). Меридиональное движение указывает на бифуркацию в нижней тропосфере в районе 15–20° с.ш., характеризующую нисходящее движение, по-видимому, связанное с охлаждением за счет аэрозолей и восходящим движением. В средней и верхней тропосфере это нисходящее движение сливается с восходящим движением над предгорьем Гималаев. Низкоуровневый приток вызывает повышение влажности на южных склонах Гималаев, усиливает муссонные западные ветры низкого уровня над центральной Индией и восточные ветры верхнего уровня над южной частью Тибетского нагорья (рис.9(в)). Здесь меридиональная циркуляция, вероятно, усиливается конвекцией, инициированной нагреванием атмосферы за

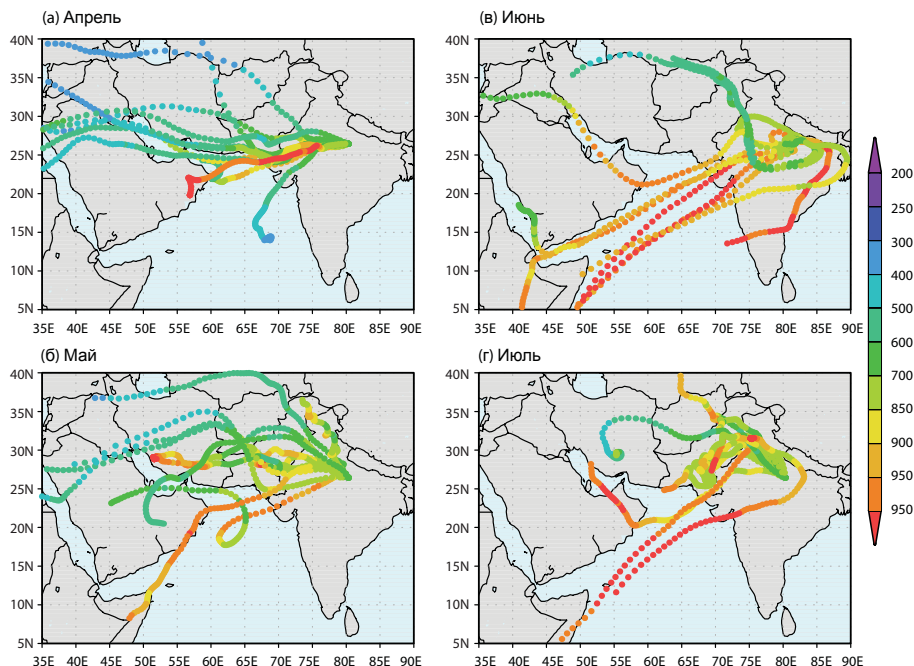


Рисунок 8 – Семидневные обратные траектории, показывающие возможные источники и маршруты переноса из прилегающих пустынь воздушных масс, наблюдавшихся на уровне 850 гПа над Канпуром в течение 11 дней начиная с (а) 15 апреля, (б) 15 мая, (в) 15 июня и (г) 15 июля 2008 г. Высота трассера (в гПа) показана в цвете.

счет пыли, и увеличивается за счет положительной обратной связи от конвергенции влаги на низком уровне и восходящего потока воздуха в слое пыли. Хотя вышеизложенное не является решительным подтверждением влияния поглощающих аэрозолей, характеристики крупномасштабной циркуляции согласуются с эффектом нагнетания повышенного тепла, включая более активное потепление верхней тропосферы над Тибетским нагорьем, охлаждение возле поверхности и усиление муссонного потока при увеличении осадков над северной Индией.

Заключение

Представленные результаты предполагают, что аэрозоли и осадки в районе муссона и прилегающих пустынь тесно связаны с крупномасштабной циркуляцией и переплетаются с комплексным диабатическим нагреванием и динамическими процессами в период муссона и до него. Пустыни обеспечивают не только крупномасштабное радиационное воздействие, но также поставляют и частицы пыли, которые переносятся в районы муссонов, вмешиваясь в развитие муссонной циркуляции и осадков и, возможно, изменяя их. Поскольку динамические процессы взаимодействия атмосферы, океана и суши являются основным генератором Азиатского муссона, необходимо чрезвычайно осторожно определять те взаимосвязи между аэрозолями и осадками, которые действительно обусловлены физической природой аэрозолей, а не возникают в силу того, что как аэрозоли, так и осадки вызываются одними и теми же крупномасштабными динамическими процессами. Обнаружено, что Индийский муссон 2008 г. имеет характерные признаки, связанные с влиянием поглощающих аэрозолей. Однако необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы определить подробности вынуждающего воздействия аэрозолей, а также реакцию муссонного гидрологического цикла и их относительную роль по сравнению с воздействием процессов взаимосвязи между атмосферой, океаном и суши.

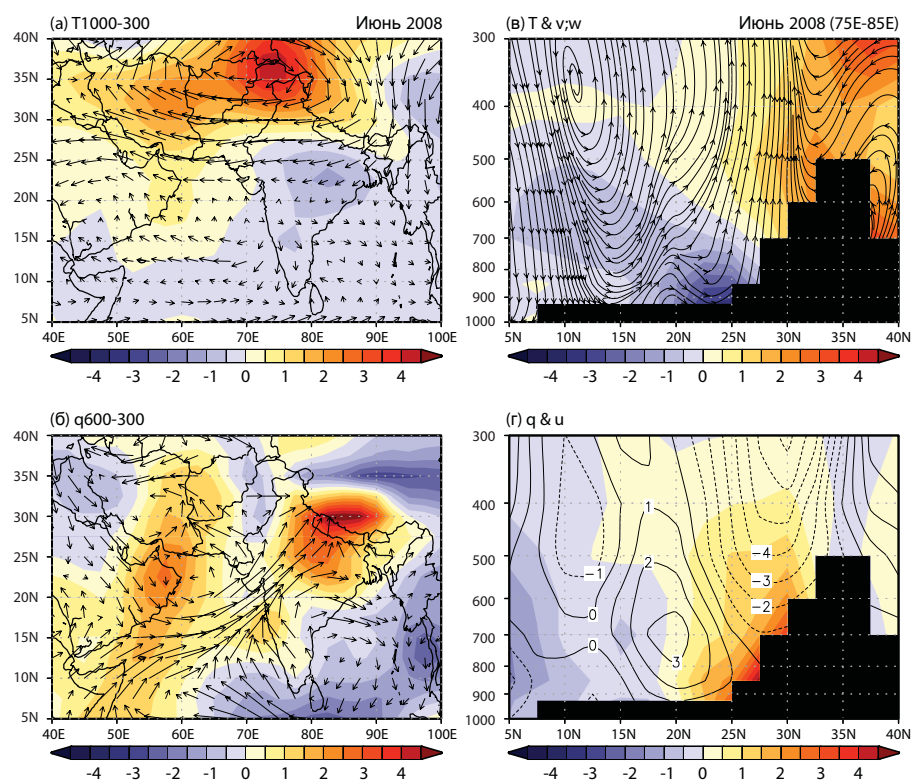


Рисунок 9 – Наблюдаемое пространственное распределение аномалий в июне 2008 г. для (а) средней тропосферной температуры ($^{\circ}\text{C}$) и ветра на уровне 300 гПа (м/с); (б) средней удельной влажности на уровне 600–300 гПа, ветра на уровне 850 гПа и меридиональных вертикальных поперечных разрезов над северной Индией и Гималаями (75–85 $^{\circ}$ в.д.); (в) меридиональная вертикальная линия тока и температура и (г) зональные ветры (контур) и удельная влажность (штриховка)

Выражение признательности

Эта работа выполнена при поддержке Программы междисциплинарных исследований НАСА.

Литература

- BOLLASINA M., S. NIGAM and K.M. LAU, 2008: Absorbing aerosols and summer monsoon evolution over South Asia: An observational portrayal. *J. Climate*, 21, 3221–3239, DOI: 10.1175/2007JCLI2094.1
- CHENG, Y., U. LOHMANN, J. ZHANG, Y. LUO, Z. LIU and G. LESINS, 2005: Contribution of changes in sea surface temperature and aerosol loading to the decreasing precipitation trend in southern China. *J. Climate*, 18, 1381–1390.
- COLLIER, J.C. and G.J. ZHANG, 2008: Aerosol direct forcing of the summer Indian monsoon as simulated by the NCAR CAM3. *Clim. Dyn.* (in press).
- DEVARA, P.C.S., P.E. RAJ, G. PANDITHURAI, K.K. DANI and R.S. MAHESKUMAR, 2003: Relationship between lidar-based observations of aerosol content and monsoon precipitation over a tropical station, Pune, India. *Meteorol. Appl.* 10, 253–262.
- GEORGE, J.P., L. HARENDUPRAKASH, and M. MOHAN, 2008: Multi-year changes of aerosol optical depth in the monsoon region of the Indian Ocean since 1986 as seen in the AVHRR and TOMS data. *Ann. Geophys.*, 26, 7–11.
- GOSWAMI, B.N., V. KRISHNAMURTHY and H. ANNAMALAI, 1999: A broad-scale circulation index for the interannual variability of the Indian summer monsoon. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 125, 611–633.
- HOLBEN, B.N. and co-authors, 1998: AERONET—a federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.*, 66, 1–16.
- HOSKINS, B.J. and M.J. RODWELL, 1995: A model of the Asian summer monsoon. Part I: The global scale. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1329–1340.
- HSU, N.C., S.C. TSAY, M.D. KING and J.R. HERMAN, 2004: Aerosol properties over bright-reflecting source regions. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 42, 557–569.
- IWASAKI, T. and H. KITAGAWA, 1998: A possible link of aerosol and cloud radiation to Asian summer monsoon and its impact on long-range numerical weather prediction. *J. Meteor. Soc. Japan*, 76, 965–982.
- KRISHNAN, R. and V. RAMANATHAN, 2002: Evidence of surface cooling from absorbing aerosols. *Geophys. Res. Lett.* 29, 1340, doi:10.1029/2002GL014687, 2002.
- LAU, K.M., K.M. KIM and S. YANG, 2000: Dynamical and Boundary Forcing Characteristics of Regional Components of the Asian Summer Monsoon. *J. Climate*, 13, 2461–2482
- LAU, K.M., M.K. KIM and K.M. KIM, 2006: Aerosol induced anomalies in the Asian summer monsoon: The role of the Tibetan Plateau. *Climate Dynamics*, 26 (7-8), 855–864, doi:10.1007/s00382-006-0114-z.
- LAU, K.M. and co-authors, 2008: The Joint Aerosol-Monsoon Experiment (JAMEX): A New Challenge to Monsoon Climate Research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 89, 369–383, DOI:10.1175/BAMS-89-3-369.
- LAU, K.M. and K.-M. KIM, 2006: Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L21810, doi: 10.1029/2006GL027546.
- LI, Z., 2004: Aerosol and climate: a perspective from East Asia. In: *Observation, Theory and Modelling of the Atmospheric Variability*, 501–525, World Scientific Pub. Co.
- MEEHL, G.A., J.M. ARBLASTER and W.D. COLLINS, 2008: Effects of black carbon aerosols on the Indian monsoon. *J. Climate*, 21, 2869–2882.
- MENON, S., J. HANSEN, L. NAZARENKO and Y. LUO, 2002: Climate effects of black carbon aerosols in China and India, *Science*, 297, 2250–2253.
- NAKAJIMA T., and co-authors, 2007: Overview of the atmospheric brown cloud East Asia Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in East Asia. *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2007JD009009.
- PODGORNY, I. A. and V. RAMANATHAN, 2001: A modelling study of the direct effect of aerosols over the tropical Indian Ocean. *J. Geophys. Res.* 106, 24097–24105.
- PRASAD, A. K. and R. SINGH, 2007: Changes in aerosol parameters during major dust storm events (2001–2005) over the Indo-Gangetic Plains using AERONET and MODIS data. *J. Geophys. Res.*, 112, D09208, doi:10.1029/2006JD007778.
- PRASAD, A.K., R.P. SINGH and A. SINGH, 2006: Seasonal variability of aerosol optical depth over Indian subcontinent. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 2323–2329
- RAMANATHAN, V. and M.V. RAMANA, 2005: Persistent, widespread and strongly absorbing haze over the Himalayan foothills and Indo-Gangetic Plain. *Pure and App. Geophys.* 162, 1609–1626. doi:10.1007/s00024-005-2685-8.
- RAMANATHAN, V. and co-authors, 2001: The Indian Ocean Experiment: an integrated assessment of the climate forcing and effects of the Great Indo-Asian Haze. *J. Geophys. Res.—Atmospheres*, 106, (D 22), 28371–28399.
- RAMANATHAN, V., C. CHUNG, D. KIM, T. BETTGE, L. BUJA, J.T. KIEHL, W.M. WASHINGTON, Q. FU, D.R. SIKKA and M. WILD, 2005: Atmospheric brown clouds: impact on South Asian climate and hydrologic cycle. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 102: 5326–5333, doi:10.1073/pnas.0500656102
- ROSENFELD, D., 2000: Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science* 287 (5459), 1793–1796.
- ROSENFELD, D., U. LOHMANN, G.B. RAGA, C.D. O'DOWD, M. KULMALA, S. FUZZI, A. REISELL and M.O. ANDREA, 2008: Flood or Drought: How do aerosols affect precipitation? *Science*, 321, 1309–1313, doi:10.1126/science.1160606.
- SAJI, N.H., B.N. GOSWAMI, P.N. VINAYACHANDRAN and T. YAMAGATA, 1999: A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401, 360–363.
- SATHEESH, S.K. and J. SRINIVASAN, 2002: Enhanced aerosol loading over Arabian Sea during the pre-monsoon season: natural or anthropogenic? *Geophys. Res. Lett.*, 20, 1874, doi:10.1029/2002GL015687
- WANG, B. and Z. FAN, 1999: Choice of South Asia summer monsoon indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 629–638.
- WANG, C., 2007: Impact of direct radiative forcing of black carbon aerosols on tropical convective precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L05709, doi:10.1029/2006GL028416.
- WEBSTER, P.J., A.M. MOORE, J.P. LOSCHNIGG and R.R. LEBEN, 1999: The great Indian Ocean warming of 1997–98: Evidence of coupled-atmospheric instabilities. *Nature*, 401, 356–360
- WEBSTER, P.J. and S. YANG, 1992: Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 118, 877–926.

Управление качеством воздуха и прогнозирование погоды во время Олимпийских игр 2008 года в Пекине

Джанджи Ван¹, Сяое Чжан², Том Кинен³, Йихон Дуан⁴

Введение

29 Олимпиада проходила с 8 по 24 августа в Пекине. В ней приняли участие более 10000 спортсменов из 204 стран, территорий и регионов. Олимпиада явилась беспрецедентной с точки зрения масштаба, разнообразия спортивных событий и связанных с ними видов деятельности, функционирования муниципальной инфраструктуры и повседневной деятельности широких слоев населения. Более 1,7 миллиона добровольцев предоставляли полный спектр обслуживания. Анализ исторических метеорологических данных показывает, что места, где проводились олимпийские соревнования, в конце лета подвергаются значительному риску со стороны гроз с сильным дождем, молний, сильного ветра и града. Хорошей погоде также приходится испытывать влияние таких явлений, как туман, мгла, жара, устойчивые условия, которые являются менее благоприятными для рассеивания загрязняющих веществ, и могут служить причиной плохого качества воздуха.

Таким образом, метеорологическим службам при минимизации негативных последствий неблагоприятных явлений приходилось сталкиваться со значительными проблемами. Для того, чтобы Игры прошли успешно, приходилось решать множество задач, связанных с погодой и качеством

воздуха. Китай совместно с международными партнерами осуществил беспрецедентное множество решений, касающихся мониторинга качества воздуха и управления им и прогнозирования погоды. Более подробный отчет имеется в режиме онлайн по адресу: http://www.wmo.int/pages/publications/bulletin_en/index_en.html

Управление качеством воздуха и измерения

Для обеспечения хорошего качества воздуха во время Олимпийских и Параолимпийских игр и выполнения обязательств по проведению Игр муниципальные власти Пекина ввели в действие предписания по временному сокращению выбросов. В Пекине в период с 1 июля по 20 сентября (два дня после завершения Параолимпийских игр 2008 года) на автомобильных дорогах было запрещено движение более 300000 транспортных средств с «желтой маркировкой» и приостановлены все строительные работы. Кроме того, движение транспорта было сокращено посредством введения требования о том, чтобы в Пекине в период с 20 июля по 20 сентября движение транспортных средств с четными/нечетными номерами осуществлялось соответственно по четным/нечетным числам. Были приняты дополнитель-

ные меры по сокращению выбросов, сконцентрированные в основном на выбросах от сжигания угля.

С июля по сентябрь 2008 года Китайская метеорологическая администрация осуществляла обширную программу оперативного мониторинга и анализа, которая поддерживала материально-техническое обеспечение Игр, а также позволяла уникальным образом оценить действенность усилий по улучшению качества воздуха (Zhang et al., 2008). Мониторинг позволял отслеживать концентрации переносимых по воздуху твердых частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$, включая аэрозольные частицы органического вещества, сульфаты, нитраты и аммоний, содержащиеся в твердых частицах, технический углерод, оптическую плотность аэрозоля, озон и другие химически активные газы, включая окись азота, двуокись азота, оксид азота и двуокись углерода и серы. Наземный мониторинг подкреплялся спутниковыми измерениями оптической толщины аэрозоля и содержания двуокси азота в столбе воздуха, а также анализом метеорологических процессов и характеристик. Мониторинг проводился на трех городских станциях, расположенных на различных высотах, и на четырех сельских станциях.

В период проведения Игр содержание атмосферных загрязняющих веществ в Пекине резко сократилось. Анализ показал, что это сокращение было обусловлено не только осуществлением мер по контролю, но и сильно связано с погодой. В частности, субтропическая зона высокого давления располагалась на юге так, что погода в Пекине преимущественно определялась взаимодействием ложбины,

- 1 Пекинское метеорологическое бюро, Китайская метеорологическая администрация, Пекин.
- 2 Китайская академия метеорологических наук, Китайская метеорологическая администрация, Пекин.
- 3 Научно-исследовательский центр Бюро метеорологии, Бюро метеорологии, Мельбурн, Австралия.
- 4 Национальный метеорологический центр, Китайская метеорологическая администрация, Пекин.

часто смещавшейся на восток, с холодной континентальной областью высокого давления, сопровождавшейся то ясными, то облачными днями, или дождливой погодой. После исключения оценок изменений в концентрациях, обусловленных погодными условиями, анализ показал, что запрещение движения транспортных средств с желтой маркировкой после 1 июля привело к сокращению концентрации различных химически активных газов, связанных с механическими транспортными средствами, приблизительно на 40 процентов, концентрации частиц PM_{10} на 15–25 процентов, концентрации связанного с автомобильным транспортом технического углерода приблизительно на 25–30% и концентрации частиц органического вещества и нитратов на 25–40%.

Концентрация различных химически активных газов, связанных с движением механических транспортных средств, уменьшилась еще приблизительно на 15–25 процентов после введения в действие с 20 июля требования о движении транспортных средств с четными/нечетными номерами, соответственно, по четным/нечетным числам. В то время как суммарная концентрация частиц PM_{10} несколько возросла, концентрация технического углерода, частиц органического вещества и нитратов уменьшилась на 6–20 процентов. Однако, концентрация аммония и сульфатов выросла на 10 процентов, а концентрация озона – на 30%.

До начала и во время Игр КМА предоставляла двухдневные прогнозы концентрации PM_{10} , концентрации озона и видимости муниципальным властям Пекина, а затем Пекинскому метеорологическому бюро и муниципальному бюро Пекина по охране окружающей среды. Для системы прогнозирования мглы и озона синоптики использовали Объединенную модель химии атмосферы и окружающей среды КМА (CUACE). Это объединенная система моделирования химии атмосферы и окружающей среды, которая легко может быть сопряжена с различными типами метеорологических и климатических моделей в различных временных и пространственных масштабах. Для данного применения CUACE была полностью сопряжена с прогностической моделью MM5 с горизонтальным разрешением 54 км над Азией и восточной частью Евро-

пы. Начальные и граничные условия брались из оперативной глобальной модели среднесрочного прогнозирования КМА. CUACE включала в себя модуль химического состава атмосферы для моделирования концентрации газов, преобразования газа в твердые частицы, вторичных органических аэрозолей и аэрозолей. На основе регионального кадастра выбросов, взятого из Сао (2006), CUACE эксплуатировалась в реальном времени в период с 1 июля по 30 сентября. Ежедневно для руководства по составлению прогнозов с интервалом в два часа предоставлялась в виде показателей, осредненных за 12 часов, продукция с двухдневным прогнозом концентрации PM_{10} , концентрации озона и видимости в Пекине (рис. 1) и 3–7-дневные прогнозы устойчивости погодных условий, основанные на показателе связи между качеством воздуха и метеорологическими условиями (индекс $Plam$). Этот индекс вычислялся на основе взаимосвязи концентрации PM_{10} и ключевых метеорологических данных, полученных на базе данных для лета в Пекине за период с 2000 по 2007 г. Метеорологические данные включали данные по температуре воздуха, относительной влажности, ветру, давлению воздуха, видимости, облачности, испарению, устойчивости воздуха, а также некоторые истори-

ческие данные о метеорологических явлениях в предшествующие дни. Более высокие значения индекса $Plam$ и показатели плохого качества воздуха (концентрация $PM_{10} > 150$ мкг/м³) обуславливались высокой температурой, высокой влажностью, низкой скоростью ветра и устойчивой погодой. Пример использования индекса $Plam$ показан на рис.1. Каждой станции за пределами Пекина присваивалось значение индекса $Plam$ в соответствии с показателями скорости и направления ветра относительно поступления воздушных масс в Пекин. Более высокий показатель индекса $Plam$ на одной из станций, расположенных на территории вокруг Пекина, показывает, что в этом месте погодные условия более благоприятны для переноса загрязняющих веществ в Пекин.

Показательные проекты Всемирной программы метеорологических исследований ВМО

Под руководством КМА Центр метеорологического обслуживания Пекинской олимпиады (ЦМОПО) успешно предоставлял «характерное и высококачественное» метеорологическое

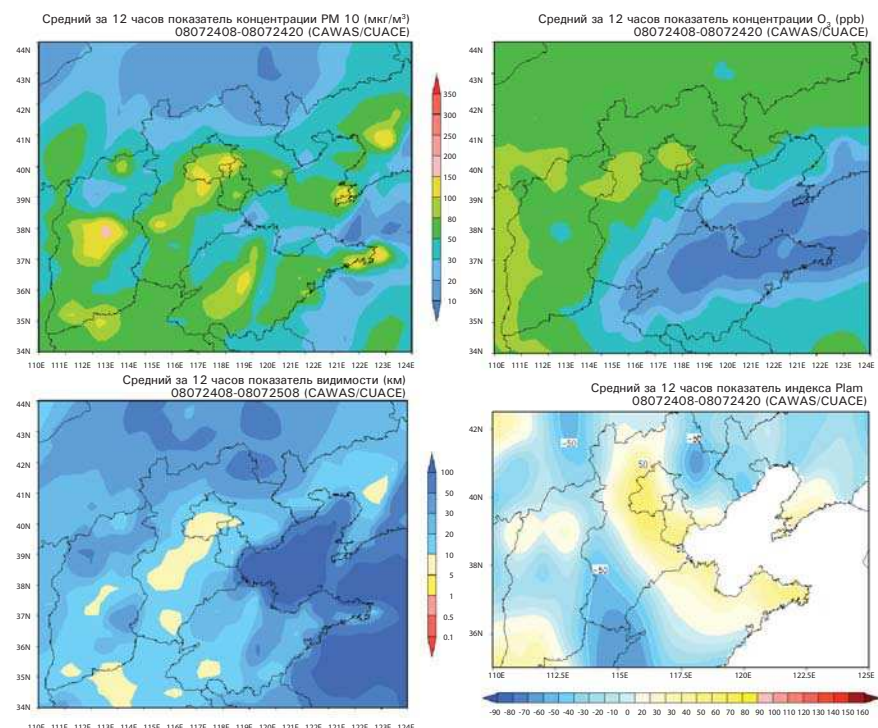


Рисунок 1 – Руководящие материалы по концентрации PM_{10} в приземном слое, видимости и концентрации озона, а также индекс $Plam$ по Пекину и окружающим его территориям, предоставленные моделью CUACE Центра службы атмосферы и предоставления обслуживания КМА, начиная с 08 час ВТС 24 июля 2008 г., для составления 12 или 24- часовых прогнозов

обслуживание на основе систем оперативного метеорологического прогнозирования и предупреждения в интерактивном режиме, обеспечивающем взаимодействие между человеком и машиной. По предварительным оценкам уровень удовлетворенности населения метеорологическим обслуживанием, предоставленным в этой комплексной и непростой с метеорологической точки зрения среде, достигал 93,1 процента. Все необходимые средства разрабатывались и проверялись заблаговременно посредством мобилизации национальных метеорологических знаний, опыта и ресурсов, а также эффективного международного сотрудничества. Показательные проекты Всемирной программы метеорологических исследований (ВПМИ) ВМО являются двумя примерами международного сотрудничества.

На основе проекта ВПМИ/ВМО для Олимпийских игр 2000 года в Сиднее, КМА в 2003 году разработала планы по осуществлению Прогностического показательного проекта (ПО8ППП) и Проекта по научным исследованиям и разработкам (ПО8ПНИР) для оказания помощи в технической поддержке метеорологического прогнозирования и обслуживания Олимпийских и Параолимпийских игр 2008 года в Пекине.

Системы текущего прогнозирования погоды, принимавшие участие в проекте

BJ-ANC (Пекинское метеорологическое бюро и Национальный центр атмосферных исследований (НКАР) США)

CARDS (Метеорологическая служба Канады)

GRAPES-SWIFT (Китайская академия метеорологических наук)

STEPS и TIFC (Австралийское бюро метеорологии)

SWIRLS (Обсерватория Гонконга)

NIWOT (НКАР)

MAPEL (Университет МакГилла, Канада и компания Weather Decision Technologies, США)

Таблица 1 – Данные, предоставленные ПО8ППП Пекинским метеорологическим бюро летом 2008 г.

Тип данных	Количество станций и их местоположение	Частота обновления
Доплеровский радиолокатор	4; с синхронизацией времени	6 минут
АМС	106; в Пекине и вокруг Пекина	5 минут
Радиозондирование	5; в Пекине и вокруг Пекина	6 часов
Профилометр ветра	1; в Пекине	6 минут
ЧПП-RUC	Горизонтальное разрешение 3 км с охватом Пекина и окружающей его территории	3 часа
Спутник-FY2C	1	30 минут
Молнии	1 в Пекине и 2 в провинции Хэбэй	В реальном времени

Общая задача ПО8ППП заключалась в демонстрации и количественной оценке выгод от использования комплексных прогнозов текущей погоды (в диапазоне 0–6 часов и особенно во временных рамках 0–2 часа) с акцентом на прогнозировании явлений погоды со значительными последствиями с использованием последних достижений науки и техники. Проект был нацелен на разработку, применение и демонстрацию в полевых условиях систем прогнозирования текущей погоды в отношении локальных конвективных штормов, использование продукции, полученной с помощью этих систем, в оперативном прогнозировании и оценке социально-экономических выгод для конечных пользователей. На вставку перечислены восемь систем текущего прогнозирования погоды, принимавших участие в проекте.

ПО8ППП продолжался 3,5 года, при этом летом 2006 года и в 2007 году проходили испытания с целью совершенствования систем и оптимизации отдельных алгоритмов, касающихся экстраполяции штормов, количественной оценки осадков, подготовки продукции и других задач. Полевые испытания также дали системам возможность адаптироваться к местным данным и вычислительной и сетевой среде. Австралийское бюро метеорологии разработало и передало Пекинскому метеорологическому бюро систему проверки прогнозов, действующую в реальном времени. К середине июля 2008 года все системы отвечали требованиям показательного проекта. Их подготовка была завершена и они были готовы для усвоения и обработки в реальном времени разнообразных часто передаваемых данных местных наблюдений (см. табл. 1) и подготовки продукции для составления (см. табл. 2) и проверки прогнозов в реальном времени.

Было организовано три международных практических семинара, ряд совещаний и телефонных конференций для диагностики технических трудностей, с которыми пришлось столкнуться на различных этапах осуществления, рассмотрения различных решений, определения ответственных рабочих групп и обсуждения планов и графиков для основных видов деятельности. К основным техническим проблемам относились контроль качества радиолокационных данных, синхронизация радиолокаторов, 3-мерная мозаика необработанных радиолокационных данных и переход от стадии научных исследований к оперативной деятельности. В Пекине в апреле 2007 года и июле 2008 года было проведено два учебных практических семинара для обучения местных экспертов и синоптиков с целью повышения эффективности поддержки систем ПО8ППП, оказываемой на местном уровне, особенно в применении продукции на местах. Ряд конечных пользователей приняли участие в семинарах в качестве обучающихся.

ПО8ПНИР был сконцентрирован на краткосрочных (6–36 час) прогнозах, подготовка которых осуществляется посредством разработки и использования силами шести различных участников (Национальный центр по прогнозированию окружающей среды и НКАР США; Министерство охраны окружающей среды Канады; Японское метеорологическое агентство; Центральный институт метеорологии и геодинамики Австрии, Метеорологическая служба Франции и КМА) систем краткосрочного ансамблевого прогнозирования для ограниченного района с высоким разрешением (15 км). Была создана общая структура, в рамках которой шесть участников эксплуатировали свои компьютерные модели в удаленном режиме из своих учреждений, при этом в Пекине и

Таблица 2 – Продукция ПО8ППП на странице <http://www.b08fdp.org>

Система		Выходная продукция	Срок действия прогноза (в мин.)
BJANC	Автоматическая система прогнозирования текущей погоды	Отражательная способность $\geq 35\text{dBZ}$	30, 60
		Количественное прогнозирование осадков (КПО)	0–30, 0–60
		Развитие штормов	30, 60
		Границы	30, 60
	VDARS	Ветер (u и v)	Анализ
		Вертикальная скорость	
		Температура возмущения	
		Относительная влажность	
CARDS	КПО	0–60	
	Точечный прогноз	Каждые 6–102 мин.	
	Возникновение и характер штормов	6, 12, 18, 24, 30, 42, 60	
GRAPES-SWIFT	КПО	0–30, 0–60, 0–120, 0–180	
	Отражательная способность	30, 60	
	Траектории штормов (35, 40, 45, 50, 55 dBZ)	6, 12, 18, 24, 30, 42, 60	
	Потенциал конвективного вихря	0–60	
MAPLE	КПО	30, 60	
	Отражательная способность	30, 60	
NIWOT		Отражательная способность $\geq 35\text{dBZ}$	60, 120, 180, 240, 300, 360
STEPS	STEPS	КПО (область Mosaic)	0–30, 0–60, 0–90
		POP (1, 10, 20, 50 мм, область Mosaic)	0–60
	Поля осадков	Количественная оценка осадков (KOO) (6 мин. Mosaic)	Анализ
		KOO (60 мин. Mosaic)	Анализ
		KOO (120 мин., Mosaic)	Анализ
		KOO (180 мин., Mosaic)	Анализ
		KOO (60 мин., в сочетании с измерениями водомерных постов, Mosaic)	Анализ
		Водомерный пост (60 мин. интерполяция, Mosaic)	Анализ
SWIRLS	КПО (данные радиолокатора)	0–60, 0–120, 0–180	
	Вероятность угрозы молнии	0–60, 0–120, 0–180	
	Возникновение и характер штормов (отражательная способность $\geq 34\text{dBZ}$)	6, 12, 18, 24, 30, 42, 60	
	Суровая погода: зарождение молний (тип и интенсивность), нисходящий порыв (тип интенсивности), град (тип), сильный ливень (тип интенсивности)	0–30	
	Сильный порыв ветра (максимально возможный)	0–30	
	POP (1,10, 20 мм для 60 мин.; 1, 10, 20, 50 мм для 180 мин.; 1, 10, 20, 50 мм. Для 360 мин.)	0–60, 0–180,0–360	
	КПО (смешанный)	0–60, 0–120, 0–180, 0–240, 0–300, 0–360	
	TIFS	TIFS	Вероятность штормов по ансамблю (руководящие материалы VIPS для подготовки предупреждений о молниях, автоматический режим)
Вероятность штормов по ансамблю (руководящие материалы VIPS для подготовки предупреждений о молниях, ручной режим)			0–60
Вероятность дождя по ансамблю (руководящие материалы VIPS для подготовки предупреждений о сильных ливнях)			0–60
Вероятность увлажняющего дождя (2 мм/час)			0–60
	TITAN*	Возникновение и характер штормов ($\geq 35\text{dBZ}$)	6, 12, 18, 24, 30, 42, 60
	WDSS*	Возникновение и характер штормов	6, 12, 18, 24, 30, 42, 60

* TITAN является частью автоматической системы прогнозирования текущей погоды (Auto-Nowcaster), разработанной НКРП, США. WDSS является системой прогнозирования текущей погоды, разработанной Национальной лабораторией по исследованию сильных штормов. Обе системы участвовали в С2КППП для Олимпийских игр 2000 года в Сиднее и после Игр были оставлены Австралийскому бюро метеорологии (АБМ). АБМ интегрировало две эти системы в TIFS, которая в интегрированном виде стала участницей ПО8ППП.

Таблица 3 – Система ансамблевого прогнозирования для ограниченного района, работавшая летом 2008 г. в рамках ПО8ПНИР

Участники	Модель	Начальные условия	Начальное возмущение	Латеральные граничные условия	Латеральное возмущение	Физическое возмущение
НЦПОС	WRF-ARW (5) WRF-NMM (5) GEFS–с уменьшением масштаба (T284L60, 5) (L60M15)	НЦПОС 3DVAR	Воспроизводство	Глобальная система ансамблевого прогнозирования (САП) НЦПОС	Глобальная САП НЦПОС	Много- модельное
МНИИ/ЯМА	NHM (L40M11)	Мезомасштабная модель 4DVAR (20кмL40)	Направленные единичные векторы (SV) (T63L40)	Глобальный прогноз ЯМА (TL959L60)	Глобальный прогноз (T63L40), инициированный направленными SV	Отсутствует
МСК	GEM (L28M20)	Глобальный ансамбль МСК с использованием фильтра Калмана (EnKF)	Глобальный EnKF МСК	Глобальная САП МСК	Глобальная САП МСК	Вызванное физическими тенденциями возмущение с цепью Маркова, поверхностное возмущение
ЦИМГ и Метео Франс	ALADIN (L37M17)	Глобальная модель ЕЦСПП 4DVAR	Сочетание SV ЕЦСПП и режима воспроизводства ALADIN	Глобальный прогноз ЕЦСПП	Глобальный прогноз ЕЦСПП	Мульти- физическое
НМЦ/КМА	WRF-ARW (L31M15)	WRF-3DVAR	Воспроизводство	Глобальная САП КМА	Глобальная САП КМА	Мульти- физическое
КАМН/КМА	GRAPES (L31M9)	GRAPES- 3DVAR	Воспроизводство	Глобальная САП КМА	Глобальная САП КМА	Мульти- физическое

окружающей его территории обеспечивалась та же самая вычислительная конфигурация. Данные наблюдений и данные членов ансамбля передавались через FTP-сервер в реальном времени, с единым разрешением и местоположением района, в едином формате и с единым именем файла и использованием стандарта кодирования/декодирования GRIB 2. В табл.3 приведены характеристики шести систем.

С 2006 по 2008 г. все участвующие системы эксплуатировались летом в реальном времени и режиме, близком к реальному времени, а прогнозы сравнивались и анализировались. В Национальном метеорологическом центре (НМЦ) и Национальном метеорологическом информационном центре была создана система для выполнения задач по передаче данных наблюдений и данных ансамблевого прогнозирования, кодировании/декодировании данных, проверке, корректировке ошибок и подготовке выводов на основе отображения данных и продукции ансамблевого прогнозирования, получаемых из различных источников, и т.д. Большая часть ансамблевой продукции направлялась в НМЦ и Пекинское метеорологическое

бюро в качестве руководящих материалов для синоптиков. В рамках ПО8ПНИР внимание акцентировалось на демонстрации работы системы в реальном времени, оценке и взаимном сравнении методов и результатов моделирования, что, как правило, входит в задачу научно-исследовательского сообщества (например, подготовка вероятностной прогностической продукция для погодных явлений со значительными последствиями с участием нескольких центров, использование облакоразрешающей модели (около 2–4 км) высокого разрешения для прогнозирования суровых явлений погоды).

Чтобы обеспечить эффективное применение продукции ансамблевого прогнозирования НМЦ сосредоточил внимание в течение ряда предшествующих осуществлению проекта лет на обучении синоптиков национального уровня и уровня провинции выполнению повседневных обязанностей по прогнозированию погоды. Была установлена связь между мезомасштабными проектами и проектами по прогнозированию текущей погоды, а также изучены требования к продукции со стороны экспертов и групп пользователей, чтобы удов-

летворить потребности Олимпиады в метеорологическом обслуживании. Продукция включает среднее значение, разброс значений, вероятность значений приземных элементов, неопределенности циркуляций и специальную продукцию, связанную с явлениями погоды со значительными последствиями. Кроме того, была разработана вероятностная продукция для конкретных мест проведения олимпийских мероприятий.

Демонстрационный период для упомянутых выше восьми систем прогнозирования текущей погоды и системы проверки прогнозов в реальном времени длился с 20 июля по 20 сентября 2008 года. Тринадцать экспертов из Австралии, Канады, Гонконга (Китай) и США провели интенсивный демонстрационный период (1–24 августа). Все системы ПО8ППП предоставляли подкомплект продукции для руководства при составлении прогнозов текущей погоды, который представлен в табл. 2, каждые шесть минут.

Для более эффективной поддержки оперативной деятельности эксперт, работавший в рамках проекта, и два местных эксперта отвечали за:

- организацию анализа и обсуждения метеорологической продукции и продукции для прогнозирования текущей погоды в рамках группы ПО8ППП;
- подготовку кратких текстов с описанием доминирующих режимов циркуляции и метеорологических систем, а также потенциального воздействия на территорию Пекина в целом, и на места проведения спортивных мероприятий в частности;
- интерпретацию продукции ПО8ППП для местных синоптиков;
- участие от имени группы в обсуждении погоды два раза в день.

В случае предоставления важного вида обслуживания или наличия сложного метеорологического явления, требующего усиленного мониторинга, эксперты ПО8ППП и местные эксперты участвовали в обмене мнениями с синоптиками и в обсуждении погоды более часто. В период проведения церемоний открытия и закрытия эксперты ПО8ППП работали вместе с синоптиками Пекинского метеорологического бюро (ПМБ), чтобы непрерывно следить за изменением метеорологических систем до конца церемоний.

Чтобы дать возможность синоптикам, а также группам метеорологического обслуживания, работавшим непосредственно на местах проведения спортивных мероприятий прямой и удобный для пользователей доступ к продукции показательного проекта и результатам проверки прогнозирования, было реализовано три подхода:

- на внутреннем Web-сайте ПМБ была создана страница (<http://www.b08fdp.org>) на китайском и английском языках для обеспечения доступа к продукции синоптиков и групп метеорологического обслуживания на местах;
- подкомплект продукции ПО8 размещался на интерактивной платформе, обеспечивающей взаимодействие человека и машины, в рамках оперативных процедур прогнозирования текущей погоды для непосредственного использования в качестве руководства при составлении синоптиками прогнозов текущей погоды;
- местные эксперты предоставляли синоптикам распечатки и устно интерпретировали продукцию, а

также предоставляли экспертную интерпретацию. Кроме того, для других конечных пользователей (например, Пекинского организационного комитета Олимпийских игр (ПОКОИ), метеорологических отделов гражданской авиации, группе лодочного обслуживания в Летнем дворце и широких слоев населения) был открыт Web-сайт метеорологического обслуживания Пекинской олимпиады (<http://www.Weather2008.cn>) на китайском и английском языках для обеспечения доступа к продукции и ее просмотра.

Для обеспечения практического применения продукции ансамблевого прогнозирования ПО8ПНИР в метеорологическом обслуживании Олимпиады, особенно во время погодных явлений со значительными последствиями, НМЦ разработал несколько подходов, чтобы обеспечить для синоптиков и участников проекта прямой доступ к продукции, данным наблюдений и полям анализа. Во-первых, продукция ансамблевого прогнозирования была распределена по категориям и переведена в различные форматы данных для различных пользователей и целей отображения. Во-вторых, на внутрен-

нем Web-сайте НМЦ была создана страница ПО8ПНИР (www.b08rdp.org) для обеспечения в реальном времени доступа к продукции всем синоптикам из ПМБ/НМЦ и участникам проекта. В третьих, продукция ансамблевого прогнозирования для 17 мест проведения олимпийских мероприятий передавалась в ПМБ по высокоскоростной выделенной кабельной сети. Это позволяло осуществлять тесное взаимодействие между применениями ПО8ПНИР в области прогнозирования будущей погоды и ПО8ППП в области прогнозирования текущей погоды.

Эксперты ПО8ПНИР КМА также тесно работали с синоптиками посредством передачи и интерпретации ансамблевых прогнозов и предоставлением предложений по прогнозированию погоды с точки зрения научных исследований. Ансамблевые прогнозы использовались для характеристики неопределенностей в прогнозах. Неопределенности нужны, чтобы лучше понимать и совершенствовать прогнозирование явлений погоды со значительными последствиями посредством сравнения неопределенностей с однозначными, детерминистскими прогнозами.

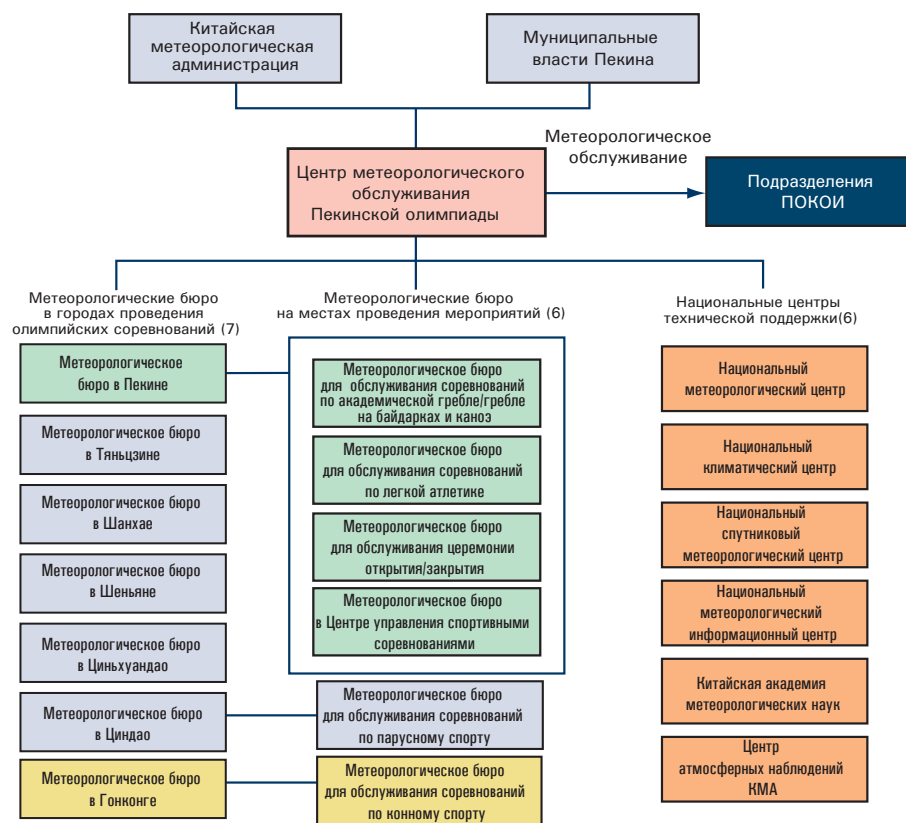


Рисунок 2 – Организационная структура Центра метеорологического обслуживания Пекинской олимпиады

Обслуживание в области прогнозирования погоды

Соревнования по программе Олимпийских игр 2008 года принимала столица Олимпиады – Пекин и шесть других городов (Циндао – парусный спорт; Гонконг – конный спорт; Тяньцзинь, Циньхуандао, Шеньян, Шанхай – футбол). С одобрения КМА и муниципальных властей Пекина в августе 2006 года в качестве единого официального поставщика метеорологического обслуживания был создан ЦМОПО (ТОК, 2008). Его организационная структура показана на рис.2.

ЦМОПО включал три компонента: метеорологические службы столицы Олимпиады и других городов, принимавших соревнования, и метеорологические бюро на местах проведения олимпийских мероприятий. Для поддержки спортивных соревнований на открытом воздухе и крупных общественных мероприятий был подключен ряд национальных оперативных метеорологических центров и научно-исследовательских учреждений, действующих в рамках КМА, было создано шесть временных органов метеорологического обслуживания в Пекине, Циндао и Гонконге. В обязанности метеорологические службы столицы Олимпиады и других городов, принимавших соревнования, входило предоставление метеорологических прогнозов и обслуживания местным организационным комитетам по проведению спортивных соревнований, и местным организаторам крупных общественных мероприятий, в то время как национальным оперативным центрам и научно-исследовательским учреждениям было поручено обеспечивать техническое руководство и поддержку метеорологическим бюро в столице Олимпиады и других городах, принимавших соревнования, за исключением Обсерватории Гонконга, которая полностью отвечала за предоставление прогнозов погоды и обслуживание соревнований по конному спорту. Все соответствующие данные наблюдений, метеорологические прогнозы и предупреждения собирались ПМБ, преобразовывались в единый формат и направлялись в ПОКОИ.

Специальные потребности в высококачественном метеорологическом обслуживании спортивных соревнований и связанных с ними крупномас-

штабных социальных мероприятий во многих отношениях выходили за рамки обычных метеорологических прогнозов и оперативного обслуживания. Для решения этой проблемы ПМБ в сотрудничестве с другими метеорологическими службами сконцентрировало внимание на научных исследованиях и разработке новых методов, методологий и средств для подготовки уточненных прогнозов метеорологических элементов в конкретных местах, прогнозов текущей погоды и ранних предупреждений о суровой конвективной погоде на местах (Wang, 2007). Были созданы следующие «четыре системы и два интерактивных средства»:

- Система Hi-MAPS осуществляла предварительную обработку с быстрым обновлением широкого спектра часто проводимых наблюдений (например, шестиминутные необработанные данные радиолокационного сканирования, шестиминутные данные о профиле ветра, пятиминутные данные наблюдений автоматических метеорологических станций, шестичасовые данные расширенных радиозондовых наблюдений и т.д.). Hi-MAPS обеспечивала данные наблюдений для оперативных систем ПМБ и предоставляла стандартные данные в реальном времени для восьми показательных систем ПОБППП.
- Система BJ-ANC была разработана совместно с НКАР. Она выпускала прогнозы текущей суровой конвективной погоды в основном на базе различных данных наблюдений с помощью доплеровских радиолокаторов, в отношении которых применялись более сложные методы интерполяции. Она включала также другие алгоритмы, такие, как вариационная система анализа данных доплеровских радиолокаторов и алгоритмы количественной оценки и прогноза осадков с помощью радиолокаторов. Система предоставляла много руководящего материала для прогнозирования текущей погоды (см. табл. 2).
- Система BJ-RUC была разработана совместно с НКАР. Она представляет собой местную версию системы метеорологических исследований и прогнозирования с рядом усовершенствований. С циклом каждые три часа она предоставляет в качестве руководя-

щих материалов для составления прогнозов численные выходные мезомасштабные данные с высоким разрешением (3 км) на последующие 24 или 36 часов, охватывающие территорию Пекина и окружающие его территории.

- Система OFIC явилась обеспечивающим взаимодействие человека и компьютера интерактивным инструментом, способствующим проведению анализа метеорологических условий и подготовке через каждые три часа прогнозов уточненных метеорологических элементов на последующие три дня (0–63 час) на основе данных разнообразных наблюдений, продукции численного прогнозирования погоды (ЧПП) и руководящих материалов для составления прогнозов для конкретных мест, а также проверки руководящих материалов в реальном времени. Руководящие материалы для составления прогнозов для конкретных мест получали, как правило, на основе:
 - прогнозов многих элементов для конкретных мест с помощью регрессии методом опорных векторов (SPM) и статистической интерпретации продукции ЧПП;
 - прогнозов многих элементов для конкретных мест с помощью методов подбора полупериодических функций (HPFF) на базе заключений главного синоптика в отношении 12-часовых прогнозов на последующие три дня.
- Система VIPS, обеспечивающий взаимодействие человека и компьютера интерактивный инструмент, помогала синоптикам в мониторинге суровой конвективной погоды и в выпуске ранних предупреждений по территории Пекина. Данные разнообразных высокочастотных мезомасштабных метеорологических измерений и продукцию ЧПП, а также руководящие материалы для составления прогнозов текущей погоды и географическую информацию можно было совместить на одном экране. Она также поддерживала функции отображения ранних предупреждений и обновления экрана и автоматически составляла тексты предупреждений на китайском и английском языках, обеспечивая их редактирование.
- Система OMIS выполняла разные функции. Она осуществляла в режиме реального времени сбор

данных наблюдений и прогнозов для мест проведения мероприятий в Пекине и в других городах, принимавших соревнования, автоматически их декодировала, преобразовывала формат данных и единицы измерения, переводила на соответствующие языки, классифицировала, комплектовала для различных пользователей в форме различных видов продукции и направляла в реальном времени в ПОКОИ, систему Пекинской Олимпиады INFO2008, телерадиовещательную компанию Пекинской олимпиады и на Web-сайт метеорологического обслуживания Пекинской олимпиады.

Во время Олимпийских игр количество осадков в Пекине превышало норму. Суммарные осадки

(8–24 августа) на равнине составили 151,7 мм, на 90% больше 30-летнего среднего значения за этот же период (80 мм). Обложные осадки по всему Пекину наблюдались 4 раза и еще четыре раза – на местах, в итоге в течение пяти дней выпадало по 10 мм осадков. 10–11 августа в городе была сильная буря и прошел ливень. Явления погоды со значительными последствиями, отличные от осадков, наблюдались реже нормы.

Под угрозой сложной и меняющейся погоды ЦМОПО уделил особое внимание ряду ключевых компонентов в предоставлении обслуживания:

- Расширение метеорологических консультаций. Перед важными событиями, такими, как церемонии открытия и закрытия, зависящие

от погоды соревнования на открытом воздухе, были организованы специальные обсуждения. В них принимали участия старшие синоптики и эксперты, а также зарубежные эксперты по прогнозированию текущей погоды.

- Эффективное использование современных технологий. «Четыре системы и два интерактивных средства» были включены в средства раннего предупреждения и процессы уточнения прогнозов, чтобы использовать человеческий потенциал для повышения эффективности и качества на основе высоких технологий.
- Расширение взаимодействия с метеорологическими бюро на местах проведения мероприятий. В этих бюро была установлена упрощенная версия VIPS с тем,

Таблица 4 – Метеорологические прогнозы и предупреждения о суровой погоде, выпущенные ЦМОПО в период с 25 июля по 17 сентября 2008 г.

No.	Название продукции	Количество экземпляров продукции		
		Китайский	Английский	Французский
1	8-срочные метеорологические прогнозы для мест проведения мероприятий в Пекине и других городах, принимающих соревнования	13 160	13 160	272
2	Метеорологические брифинги специально для Олимпийских игр	110	110	48
3	Предупреждения о суровой погоде для Пекина и других городов, принимающих соревнования	390	390	
4	7-дневный метеорологический прогноз для Пекина и других городов, принимающих соревнования, в период Олимпийских игр	55	55	24
5	Ежечасный прогноз ветра для места проведения олимпийских соревнований по стрельбе	62	62	--
6	Метеорологический прогноз для места проведения олимпийских соревнований по академической гребле и гребле на байдарках и каноэ	60	60	--
7	Метеорологический прогноз для трассы марафонского забега на Олимпийских играх 2008 г. в Пекине	30	30	--
8	Метеорологический прогноз для городских дорог, на которых проводились соревнования по велосипедному спорту	56	56	--
9	Метеорологический прогноз для церемонии открытия (закрытия) Олимпийских игр в Пекине	301	301	--
10	Предупреждение о метеорологических рисках для церемонии открытия (закрытия) Олимпийских игр в Пекине	11	--	--
11	Метеорологический прогноз для Пекина специально для движения автотранспорта	110	--	--
12	Сводка по грозам для Олимпийских игр в Пекине	22	--	--
13	Ориентировочный метеорологический прогноз на последующие 10 дней для Олимпийских игр в Пекине	12	--	--
14	Ориентировочный метеорологический прогноз на последующие 30 дней для Олимпийских игр в Пекине	2	--	--
15	Метеорологический прогноз специально для осуществления материально-технического обеспечения Олимпийских игр в Пекине	55	--	--
16	Метеорологический прогноз для церемонии открытия/ закрытия олимпийских соревнований по парусному спорту в Циндао	50	--	--
17	Ежечасный прогноз ветра для мест проведения соревнований по парусному спорту в Циндао	165	--	--
18	Метеорологическая сводка для мест проведения соревнований по конному спорту в Гонконге	138	138	--

чтобы группы обслуживания имели доступ к обновленным данным наблюдений, прогнозам и предупреждениям и возможность своевременно взаимодействовать с конечными пользователями. В то же время информационно-коммуникационные каналы позволяли персоналу на местах и в головном бюро учитывать изменения в потребностях пользователей и предоставлять в любое время соответствующее и специализированное обслуживание.

С помощью этих компонентов ЦМОПО предоставлял ПОКОИ «характерное и высококачественное» обслуживание в форме уточненных прогнозов и ранних предупреждений, что позволило организаторам регулировать время проведения ряда мероприятий на открытом воздухе. Комитет по контролю графика проведения олимпийских мероприятий провел шесть телефонных конференций и, руководствуясь прогнозами погоды, полученными от ЦМОПО, внес изменения в график проведения восьми соревнований. Несмотря на то, что осадки были выше нормы, точные и своевременные краткосрочные прогнозы и прогнозы текущей погоды, а также непрерывное обслуживание после подготовки прогнозов обеспечили четкое проведение большинства мероприятий на открытом воздухе. Неожиданный дождь вмешался в проведение лишь небольшого числа мероприятий.

Метеорологическое обслуживание внесло значительный вклад в проведение всех мероприятий. Например, ЦМОПО прогнозировал, что 21 августа до 9 часов утра осадков будет больше, чем положено, а после 9 часов их количество уменьшится. Международная ассоциация легкоатлетических федераций решила, что женская спортивная ходьба на 20 км и соревнования по десятиборью пройдут по графику, а соревнования по прыжкам в высоту и метанию копья начнутся на один час позже. Со времени регистрации атлетов в Олимпийской деревне и до конца Параолимпийских игр ЦМОПО выпустил и распространил более 10000 экземпляров прогнозов погоды, сводок, брифингов и предупреждений 18 категорий на китайском, английском и французском языках (табл. 4). В то же время больше метеорологической информации, чем когда-либо прежде, предоставлялось широким слоям населения по телевизору, ра-

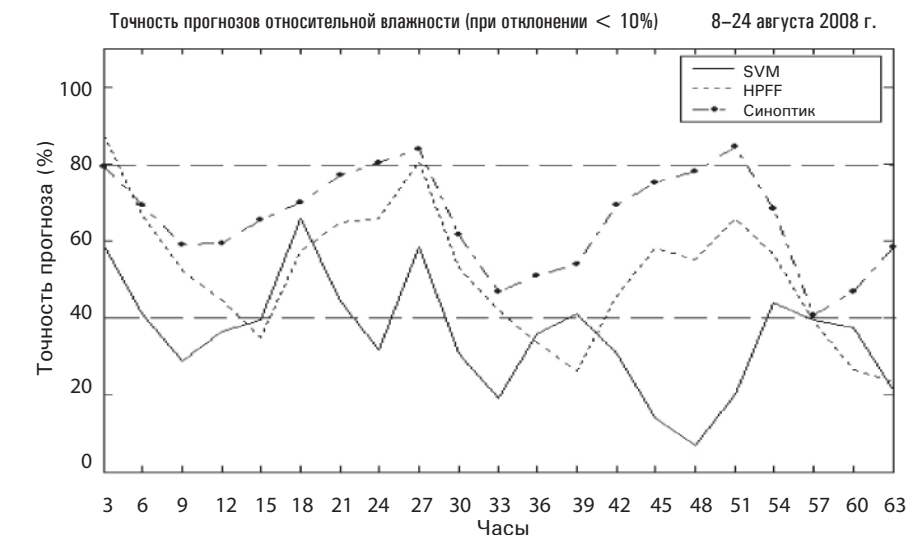


Рисунок 3 – Уровень точности прогнозов относительной влажности (отклонение < 10%) (статистика на основе данных за 8–24 августа 2008 г.)



Рисунок 4 – Средняя абсолютная погрешность в прогнозах температуры (°C, статистика на основе данных за 8–24 августа 2008 г.)

дио, Интернет, телефону, в газетах, посредством текстовых сообщений и с помощью других средств, кроме того предоставлялась метеорологическая информация на английском языке. На Web-сайте метеорологического обслуживания Олимпиады (www.weather2008.cn), созданном ЦМОПО, была ссылка на официальный Web-сайт ПОКОИ, который посетили 15 миллионов человек.

Предварительная проверка правильности 8-срочных прогнозов на последние 63 часа для мест проведения мероприятий показала, что:

- Синоптики в значительной степени зависели от предоставленных руководящих материалов; руководствуясь этими материалами, они могли делать оценки и вносить поправки.
- Из метеорологических элементов осадки труднее всего поддаются количественному прогнозу,

особенно когда прогноз выпускается для конкретного места и конкретного времени.

- Успешность прогнозов температуры, относительной влажности и скорости ветра, выпущенных синоптиками, была несколько выше, чем предполагалось в руководящих материалах для составления прогноза, но успешность прогнозов осадков и направления ветра в среднем соответствовала тому, что было в руководящих материалах.
- Уровень точности 8-срочных прогнозов относительной влажности, выпущенных синоптиками, с отклонением менее 10 процентов в сравнении с данными наблюдений, составил 70 процентов в пределах 24 часов, 65 процентов – для 24–48 часов и 55 процентов – для периода свыше 48 часов. Средняя абсолютная погрешность 8-срочных прогнозов температуры составила около 1,7°C в пределах

24 часов, 2,0°C – для 24–48 часов и 2,2°C – для периода свыше 48 часов (см. рис. 4 и 5).

- При сравнении результативности 8-срочных прогнозов осадков для мест проведения мероприятий с использованием показателя оправдываемости угрозы (TS) выяснилось, что для прогнозов, выпущенных синоптиками; этот показатель был выше, чем в руководящих материалах, полученных методом опорных векторов, но он становился хуже с увеличением времени действия прогноза (TS был около 0,1–0,2 в пределах 24 часов и 0,07–0,13 для 24–63 часов, по сравнению с TS в руководящих материалах, полученных методом опорных векторов, который был менее 0,1 для 63 часов). Следует отметить, что TS 8-срочных прогнозов осадков для мест проведения мероприятий со сроком действия 24 часа в руководящих материалах, полученных с помощью BJ-RUC, был лучшим из трех. Однако его нестабильность при различных прогонах во время дневного цикла не придавала уверенности синоптикам в том, что на него следует полагаться в большей степени.

Ответы, полученные во время проведения опроса для определения уровня удовлетворенности, показали, что такие пользователи, как подразделения ПОКОИ, организаторы церемоний открытия и закрытия, группы обеспечения соревнований по водным видам спорта в Шуньи, работники Национального стадиона, группы по обеспечению функционирования городских систем, официальные лица города, организаторы спортивных мероприятий, спортивные судьи, спортсмены, добровольцы и широкие слои населения считают, что прогнозы, предоставленные ЦМОПО, были точными, своевременными и эффективными, а уровень удовлетворенности составил 93,1 процента.

Выводы

Совокупность успешных, обширных и комплексных видов деятельности для поддержки качества воздуха и погоды во время Олимпийских и Паралимпийских игр окажет длительное воздействие, как на Китай, так и на международное сообщество.

В связи с ограничениями, касающимися движения автомобильного транспорта, наблюдалось значительное сокращение выбросов газов и аэрозолей, связанных с движени-

ем транспортных средств. Запрет движения транспортных средств с желтой маркировкой оказал большее воздействие на сокращение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, чем движение транспортных средств с четными/нечетными номерами, соответственно, по четным/нечетным числам. На основе сделанных выводов муниципальным властям Пекина был дан ряд рекомендаций, помогающих понять проблему и улучшить качество воздуха, а пользу от приобретенного опыта могут получить городские районы по всему миру.

ЦМОПО предоставлял эффективное и качественное метеорологическое обслуживание в период, когда осадки были выше нормы. Это признали все секторы. Успех был достигнут благодаря использованию передовых технологий и методов, роли «человеческого фактора», тесному взаимодействию с конечными пользователями, внедрению показательных проектов и уникальным мерам, принятым в области работы и управления.

ПО8ППП ВПМИ/ВМО оказался очень эффективным для поддержки обслуживания Олимпийских игр в Пекине прогнозами текущей погоды не только потому, что обеспечивал руководящие материалы для составления прогнозов, но и потому, что для его осуществления использовался подход, основанный на совместной работе и интенсивном взаимодействии между экспертами, синоптиками и персоналом, обеспечивающим получение и закрепление навыков. ПО8ППП стал успешным примером сочетания результатов научных исследований с практическими применениями. Такой практике необходимо следовать повсюду при разработке методов расширенной поддержки для прогнозирования текущей погоды.

ПО8ПНИР способствовал получению новых знаний по использованию ансамблевых систем разных центров и характеристике неопределенности. Качество скорректированной и комбинированной продукции многомодельного ансамбля было выше, чем качество продукции любого ансамбля с использованием одной модели. Следовательно, можно получить выгоду от использования в реальном времени вероятностной продукции для прогнозирования суровой погоды. Однако смена системы воззрений и переход бюро прогнозирования от детерминистского к ансамблевому

прогнозированию является непростой задачей, даже после завершения тщательного обучения.

Центр метеорологического обслуживания Пекинской олимпиады предоставил синоптикам практическую возможность для выпуска уточненных прогнозов. Однако освоение методики составления уточненных прогнозов является для синоптиков новой и непростой задачей, при решении которой не обязательно будет востребован их опыт, накопленный в области традиционного прогнозирования. Имеющиеся в настоящее время навыки синоптиков для составления уточненных прогнозов почти не дают преимущества, по сравнению с методами объективного прогнозирования, но у синоптиков будут широкие возможности, чтобы повышать ценность уточненных прогнозов посредством непрерывного и нарастающего развития навыков на основе практического опыта.

Деятельность, предпринятая в плане подготовки к Олимпийским и Паралимпийским играм, была обширной, и успех этой деятельности большей частью кроется в перспективном, многолетнем планировании всех ее аспектов и в преданности делу международных партнеров и местных организаторов.

Выражение признательности

Авторы выражают благодарность всем участникам ПО8ППП/ПНИР за вклад в успешное осуществление проекта и за блестяще выполненную работу по поддержке метеорологического обслуживания Олимпийских игр 2008 г. в Пекине. Ф. Лиан, С. Й. Ши, Д.Б. Су, Х. Гуо и С. Ц. Ма помогли в подготовке рисунков и таблиц.

Литература

- WANG, J.J., 2007: Refined forecasts for the weather service to 2008 Beijing Olympics. Paper for Annual Workshop of China Meteorological Society, December 2007 (in Chinese).
- CMA, 2008: Transfer of Knowledge (TOK), Functional Area Report—Meteorological Service.
- ZHANG, X.Y., Y.Q. WANG, X.C. ZHANG, T. NIU, S.L. GONG, P. ZHAO, J.L. JIN and M. YU, 2008: Aerosol monitoring at multiple locations in China: contributions of EC and dust to aerosol light absorption. *Tellus B* 60B, 647–656.

Деятельность ВМО по исследованиям и разработкам в области качества воздуха, погоды и климата в Африке

Андре Камга Фоамохо¹, Хосе Мария Балдасано², Эмилио Кувас Агулло³, Аида Дионгу-Ньянг⁴, Карлос Перес Гарсия-Пандо², Юджин Пулмен⁵, Мейдлейн Томсон⁶

Введение

Отмечено значительное и устойчивое расширение наших возможностей в области прогнозирования качества воздуха, климата и погоды (Hollingsworth et al., 2005; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008; Uppala et al., 2005). Тем не менее потребность в более точных прогнозах повысилась в связи с экспоненциальным ростом населения, изменением климата и повышением чувствительности общества к стихийным бедствиям и плохому качеству воздуха за счет сосредоточения населения в городских центрах, прибрежных районах и речных долинах.

Стратегии смягчения последствий стихийных бедствий являются особой задачей для Африки с ее развивающимися странами, из которых свыше 30 входят в 49 наименее развитых стран (НРС) мира. Эти страны имеют ограниченные возможности смягчения стихийных бедствий, которые угрожают безопасности общества и создают потрясения, пронизывающие

их неразвитую экономику. Например, в 2000 году в Мозамбике паводки, связанные с тропическим циклоном, снизили годовой темп роста с 8 до 2,1%. Засухи в Восточной Африке снизили гидроэнергетический потенциал Кении и заставили сделать срочный заем в размере свыше 50 миллионов долларов США. Растущую озабоченность вызывают плохое качество воздуха, вызванное горением биомассы, песок, пыль и загрязнение воздуха.

В результате африканские национальные гидрометеорологические службы (НГМС) переориентировались от выполнения только основных метеорологических наблюдений к обеспечению устойчивого развития через поддержку общественной безопасности и зависящих от погоды видов экономической деятельности (Afiesimama, 2007). Такое изменение ориентации произошло благодаря мастерству и инициативности НГМС (часто при содействии стран-членов ВМО за пределами Африки), которые позволили повысить эффективность использования продукции моделирования и моделей для ограниченной

территории, применяемых на местном уровне некоторыми НГМС в Африке. Это изменение парадигмы поддерживается широким международным сотрудничеством, которое получило развитие в рамках ВМО.

В этой статье описаны три проекта, охватывающие широкий диапазон деятельности. Так, например, Африка получает прямую выгоду от усовершенствования доступа и использования прогностической продукции развитых стран. Другой пример – это 10-летний план исследований и развития, позволяющий расширить возможности прогнозирования и смягчения последствий бедствий в пределах Африки.

Демонстрационный проект прогнозирования суровой погоды

Современные возможности ведущих центров численных прогнозов погоды (ЧПП) включают детерминистические модели высокого разрешения, обеспечивающие наилучшую оценку будущей погоды, и системы ансамблевого предсказания (САП), позволяющие расширить полезный диапазон прогнозов. Эти достижения означают, что заблаговременность предупреждений о суровой погоде значительно превысила традиционные два дня, при этом регулярные официальные

1 Африканский центр по применению метеорологии для целей развития.

2 Отдел наук о Земле, Национальный центр обработки данных на суперЭВМ.

3 Директор Центра атмосферных исследований, Государственное агентство по метеорологии.

4 Национальное метеорологическое управление, Сенегал.

5 Главный синоптик подразделения Уменьшение опасности бедствий, Южно-Африканская метеорологическая служба, Претория, Южная Африка.

6 Председатель Африканской региональной программы, Международный научно-исследовательский институт по климату и обществу (ИРИ).

Влияние погоды, климата и песчаных или пыльных бурь на вспышки менингита в Центральной Африке

Эпидемии менингококкового менингита в Сахели, вызванные бактерией *Neisseria meningitidis*, наблюдаются в конце сухого периода, характеризующегося сухими и пыльными пассатами «харматан». Что же конкретно вызывает эпидемии менингококкового менингита в Сахели? Можно ли создать системы раннего предупреждения, которые обеспечили бы более высокую заблаговременность для принятия ответных мер? Сложность этих вопросов расширяет рамки дискуссии между представителями атмосферных наук и здравоохранения. Консорциум информационных технологий, касающихся опасности менингита для окружающей среды (МЕРИТ), появился благодаря совместным усилиям ВОЗ и членов экологических, медицинских и научных сообществ. Цель консорциума состоит в расширении существующих возможностей для более эффективного использования информации об окружающей среде и ее сочетания с имеющимися знаниями об эпидемиях менингококкового менингита посредством анализа, включающего информацию и данные о распространении случаев менингита, населении, окружающей среде, климате, вакцинации и степени напряжения ситуации.

В частности, пыль считается важным кандидатом для использования в системе раннего предупреждения об эпидемии. Хотя механизм, за счет которого пыль может влиять на возникновение эпидемии менингита, остается неясным, наиболее распространенное объяснение его роли состоит в том, что разрушение клеток эпителия в носу и горле в сухой и пыльной среде позволяет бактериям легко проникать в кровоток. Более точные прогнозы климата и пыли на сухой сезон в Сахели позволили бы создать систему ранних предупреждений об эпидемиях менингита. Предполагается, что подход МЕРИТ окажет прямое влияние на систему здравоохранения в Африке посредством повышения эффективности стратегий предотвращения менингита и контроля мер реагирования.

прогнозы выпускаются с заблаговременностью до пяти дней, а заблаговременность ориентировочных прогнозов на несколько дней больше. К сожалению, немногие НГМС развивающихся стран и НРС имеют соответствующий доступ и в достаточной степени используют продукцию высокого разрешения; еще меньше используют САП для увеличения заблаговременности.

Для того чтобы НРС и развивающиеся страны получали пользу от огромных достижений в области предсказуемости, Комиссия ВМО по основным системам (КОС) создала

Демонстрационный проект прогнозирования суровой погоды (ДППСП). К его целям относятся: повышение точности и заблаговременности прогнозов опасных явлений погоды, увеличение заблаговременности оповещения об этих явлениях и повышение эффективности взаимодействия НГМС с органами управления чрезвычайными ситуациями перед началом и в процессе развития этих явлений.

Проект использует сеть центров Глобальной системы обработки данных и прогнозирования (ГСОДП) для предоставления современной

оперативной продукции посредством последовательного процесса прогнозирования (т.е. от глобальных центров продукции в НГМС через региональные центры). Первый региональный суб-проект проводился на юго-востоке Африки с ноября 2006 года по ноябрь 2007 года Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП), национальными центрами США по прогнозированию окружающей среды (НЦПОС) и Метеорологическим бюро Соединенного Королевства, которые выполняли функции глобальных центров продукции.

Региональный специализированный метеорологический центр (РСМЦ) в Претории занимался распространением продукции ЧПП и САП посредством специального Web-сайта для пяти участвующих в проекте НГМС (Ботсвана, Мадагаскар, Мозамбик, Танзания и Зимбабве), которые принимали окончательное решение по выпуску предупреждений для своих органов управления чрезвычайными ситуациями. РСМЦ-Претория предоставлял также ежедневные данные о потенциальных сильных осадках и сильном ветре на ближайшие пять дней, полученные на основе анализа всей имеющейся продукции ЧПП и САП. Объединенный РСМЦ, который занимался прогнозами тропических циклонов в южной части Индийского океана, обеспечивал текущую деятельность и проект ценной информацией о тропических циклонах. Проект включал подготовку кадров для пяти участвующих НГМС с целью расширения использования руководящих материалов и продукции моделирования на Web-сайте РСМЦ-Претория. Предполагается, что проект охватит все 16 стран Южной Африки и послужит полезным примером для развивающихся стран и НРС во всем мире. Более подробную информацию об этом полезном проекте можно найти в последней статье Poolman et al. (2008) в декабрьском издании *MeteoWorld* (http://www.wmo.int/pages/publications/meteoworld/index_en.html).

Песчаные и пыльные бури в Африке: возможности для более качественного мониторинга и прогноза процесса уменьшения опасности

При сильном ветре большое количество песка и пыли поднимается с голой сухой поверхности и переносится в атмосферу, оседая на расстоянии сотен и тысяч километров от этого места. Примерно 1000–3000 тераграмм ($Tg=10^{12}$ грамм) пыли ежегодно переносится из районов ее возникновения. Пустыня Сахара является крупнейшим источником аэрозолей минеральной пыли, ее вклад составляет 50–70% от общего количества пыли во всем мире. Для стран, расположенных в Сахаре или с подветренной стороны, песок и пыль в воздухе представляют серьезную опасность для окружающей среды, имущества и здоровья человека. Пыль Сахары оказывает большое влияние на климат и погоду за счет прямого (радиационное воздействие) и косвенного (облака, осадки) влияния на атмосферу.

В начале 1990-х гг. стало понятным, что, если концентрации пыли включить в модели ЧПП в качестве прогностических переменных, можно делать успешные прогнозы атмосферных процессов, связанных с пылью (эмиссия, турбулентное перемешивание и осаждение). Первый экспериментальный прогноз пыли был сделан в 1993 году для североафриканского и средиземноморского региона. Однако моделирование с точным компонентом пыли нельзя выполнить без соответствующих наблюдений. В начале 1990-х гг. для проверки достоверности прогнозов пыли имелись лишь синоптические наблюдения видимости и грубые изображения спутника Метеосат, указывающие на наличие пыли над морем. Несколько последующих проектов и инициатив было предпринято для улучшения знаний о пыле-

вом процессе и его последствиях в Африке, включая некоторые аспекты Проекта по междисциплинарному анализу африканского муссона – специальное наблюдение, Эксперимента по изучению минеральной пыли в Сахаре и Эксперимента по изучению пыли в пустыне Bodélé в 2005 году (пустыня Bodélé считается крупнейшим одиночным источником в Сахаре).

Моделирование пыли и соответствующие измерения значительно усовершенствовались за последние 15 лет. Сегодня существует ряд усовершенствованных моделей атмосферной пыли, на основе которых составляются ежедневные научные прогнозы; существуют и другие модели, используемые в научных исследованиях, включая модели очень высокого разрешения. Самая последняя спутниковая продукция НАСА (например, MODIS и CALIPSO) и ЕКА (метеорологический спутник второго поколения) способна обнаружить пыль над районом Сахары в режиме высокого разрешения и вести наблюдения за ее вертикальной структурой. Проводятся и другие дополнительные наблюдения пыли с использованием сетей лидаров (ВМО ГАЛИОН), фотометрии (ГСА/АЭРОНЕТ-ФОТОНС/СКАЙНЕТ) и сетей по исследованию твердых частиц. Шесть моделей прогноза пыли регулярно используются в африканском и средиземноморском

регионах, предоставляя доступную для населения продукцию.

Пятнадцать стран этого региона заинтересованы в расширении возможностей прогнозирования пылевого процесса и углубления знаний в этой области. Учитывая этот интерес, при поддержке 14 Всемирного метеорологического конгресса в 2007 году Секретариат ВМО создал Систему оценки, информации и предупреждения о песчаных и пылевых бурях (SDS-WAS) в качестве совместного проекта Всемирной программы метеорологических исследований (ВПМИ) и Глобальной службы атмосферы (ГСА) в рамках Комиссии ВМО по атмосферным наукам. Задача SDS-WAS состоит в том, чтобы расширить возможности стран в предоставлении пользователям своевременных и качественных прогнозов песчаных и пыльных бурь, наблюдений, информации и знаний посредством международного сотрудничества научных и производственных сообществ. Продукция SDS будет создаваться и предоставляться пользователям через Web-сайт, чтобы иметь одни и те же выходные данные, полученные разными моделями, отображенными в одинаковых форматах в одной однородной согласованной области. Проект будет также включать систему проверки во временном масштабе, близком к реальному времени. Нарращивание потенциа-

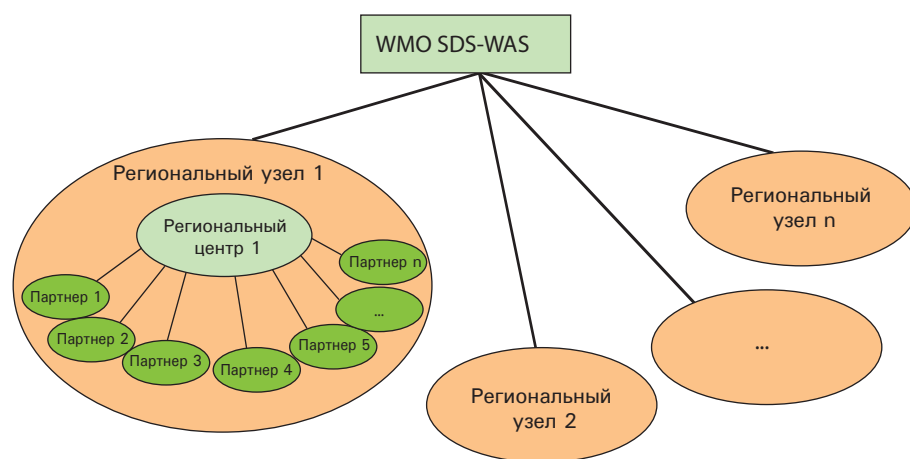


Рисунок 1 – Международная сеть SDS-WAS, включающая федеративные узлы, поддерживаемые региональными центрами

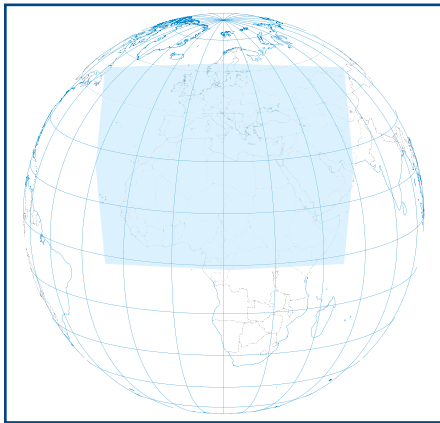


Рисунок 2 – предложенная область для узла Северной Африки, Европы и Ближнего Востока в проекте SDS-WAS

ла будет основным компонентом регионального центра в Африке в целях усовершенствования технологий наблюдения и расширения возможностей стран использовать наблюдения SDS и прогностическую продукцию для удовлетворения потребностей общества. SDS-WAS и MERIT также причастны к деятельности ГЕО в поддержку наращивания потенциала.

Региональный центр SDS-WAS для Северной Африки, Ближнего Востока и Европы располагается в Испании. Этот региональный узел предоставил технический персонал, средства хранения данных и Web-возможности и обеспечил возможность использования местных высокоэффективных вычислительных ресурсов. Для удовлетворения потребностей пользователей региональный центр в Испании уже предоставляет ежедневную продукцию по прогнозам пыли для Северной Африки (www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/). В ноябре 2008 года руководящая группа по этому региону встретила в Тунисе (Карфагене), чтобы обсудить вопрос использования системы в масштабе, близком к реальному времени, в 2010 году и начать подготовку официального участия оперативных и научных центров моделирования. Национальные пользователи и междуна-

родные организации будут получать консультации по разработке полезной продукции и средств. Эта региональная деятельность также включает продукцию повторного анализа данных за 40 лет, содержащую историческую базу данных с прогнозами пыли для разработки климатологических и прикладных средств, например, для сферы здравоохранения (см. вставку на с. 42). Второй региональный центр для Азии находится в Китайской метеорологической администрации. Координацию между двумя региональными центрами осуществляет Руководящий комитет BMO SDS-WAS.

Уменьшение последствий стихийных бедствий и вклад в продовольственную безопасность в Африке

В Африке существует множество проблем, связанных с качеством воздуха, погодой и климатом (WMO, 2008). Здесь проживают несколько сотен миллионов человек, которые оказывают значительное давление на ресурсы, продовольственное снабжение и спрос, особенно в районах пустынь. Кроме того, этот континент является одним из наиболее уязвимых в случае гидрометеорологичес-

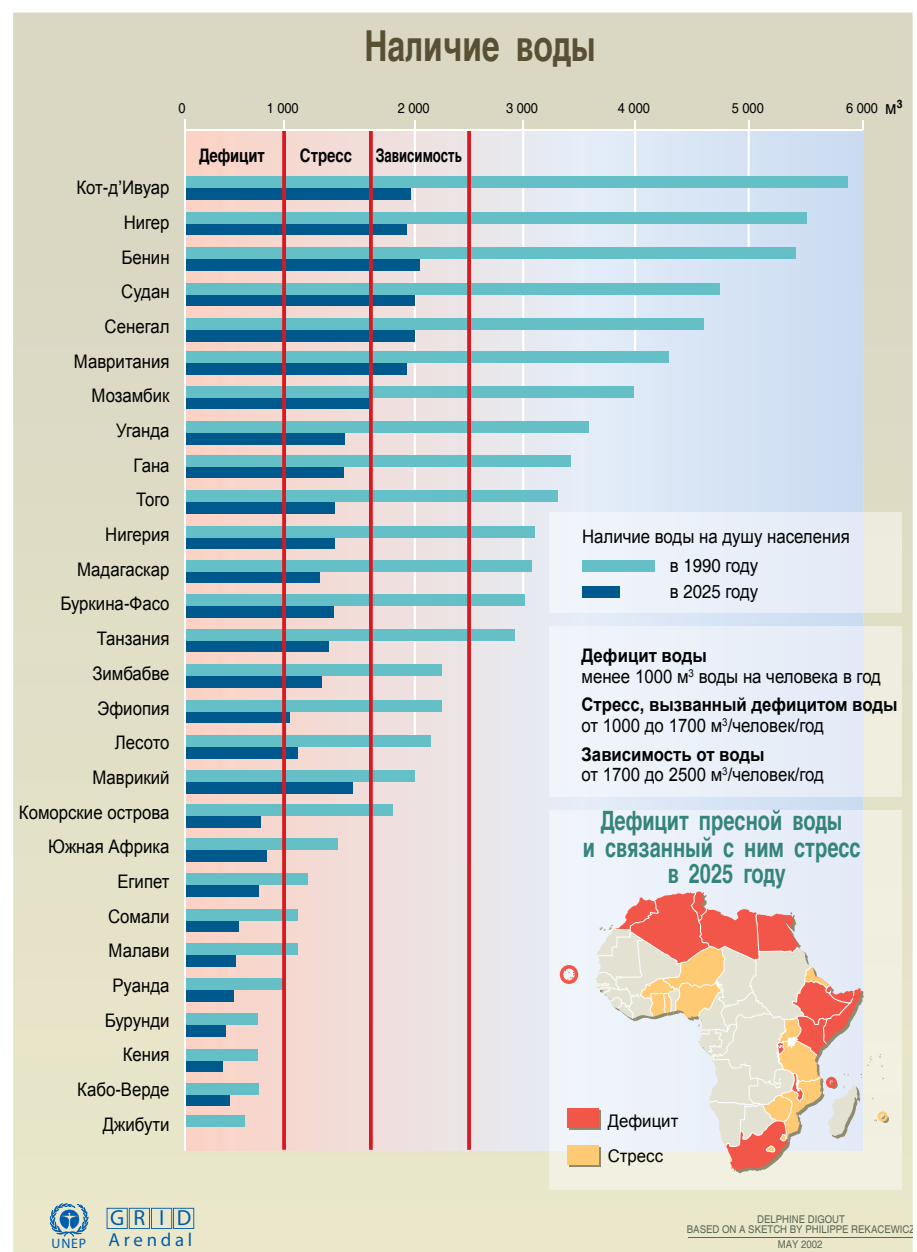


Рисунок 3 – Наличие воды в Африке в 1990 и 2025 гг.

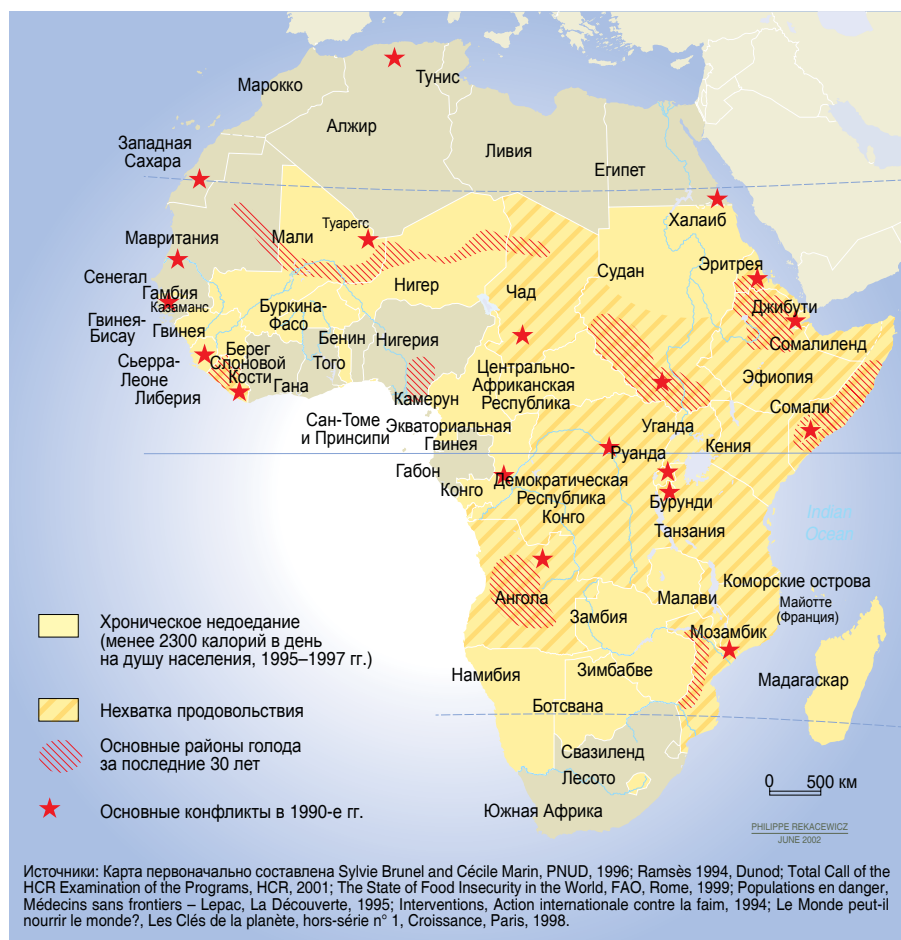


Рисунок 4 – Недоедание и дефицит продовольствия в Африке

ких бедствий. Системы наблюдения и моделирования в регионе имеют достаточно существенные дефекты. Кроме того, слабость коммуникационной инфраструктуры в большинстве африканских стран препятствует распространению прогностической продукции. Эти проблемы подразумевают получение значительной пользы от долгосрочной стратегии усовершенствования не только прогностических возможностей моделей, но и инфраструктуры, научного потенциала и технической грамотности африканских специалистов. Эти достижения позволят африканцам играть существенно более важную роль в повышении качества прогнозирования, а также в реагировании и смягчении пагубных воздействий погоды, качества воздуха и изменения климата.

В рамках программы ВПМИ ВМО ТОРПЭКС (Эксперимент по изучению систем наблюдений и вопросов

предсказуемости) разработан претенциозный 10-летний план, который поможет выполнить эти задачи. ТОРПЭКС как 10-летняя международная программа исследований и развития создан в 2003 году на 14 Всемирном метеорологическом конгрессе с целью проведения исследований, которые помогут повысить точность прогнозов суровой погоды с заблаговременностью от одного дня до двух недель, что в свою очередь принесет ощутимую социально-экономическую и экологическую пользу (Shapiro and Thorpe, 2004; THORPEX/International Core Steering Committee, 2005). В 2006 и 2007 гг., после проведения совещаний по планированию в Уагадугу (Буркина-Фасо) в феврале 2007 года и в Карлсруэ (Германия) в ноябре 2007 года, был разработан африканский научный план ВПМИ-ТОРПЭКС. Для согласования окончательного представления был разработан план осуществления на основе

научного плана, выработанного на Третьем совещании по планированию ВПМИ-ТОРПЭКС в Претории (Южная Африка). Эти три совещания являются краеугольным камнем планов научных работ и осуществления ТОРПЭКС-Африка; кроме того, они способствовали созданию Регионального комитета.

Деятельность в Африке по программе ТОРПЭКС будет способствовать целям развития, согласованным на конференциях ООН и встречах на высшем уровне (таких, как Всемирная встреча на высшем уровне по устойчивому развитию, состоявшаяся в 2002 году в Йоханнесбурге, Южная Африка; Конференция ВМО по безопасной и устойчивой жизнедеятельности и социально-экономической пользе метеорологического, климатического и гидрологического обслуживания, проходившая в Мадриде в 2007 году). Программа разработана африканскими исследователями для Африки. Существующую версию этих планов будут изучать НГМС и другие потенциальные участники в начале 2009 года, а летом 2009 года будет принята окончательная версия плана. Особое внимание в плане ТОРПЭКС-Африка уделяется деятельности, направленной на получение социальных выгод, и использованию достижений в области детерминистических моделей САП. План ориентирован на пользователя. Основное внимание уделяется следующим базовым областям применения:

Управление водными ресурсами: Уязвимость, напряженность водного режима и дефицит воды препятствуют безопасному и устойчивому развитию во многих странах Африки. ТОРПЭКС внесет свой вклад в комплексное управление водными ресурсами за счет более точных прогнозов и предупреждений о сильных осадках и наводнениях.

Продовольственная безопасность: В последние десятилетия население большинства африканских стран страдает от недоедания, дефицита

... африканские национальные гидрометеорологические службы (НГМС) переориентировались от выполнения одного из основных метеорологических наблюдений к обеспечению устойчивого развития через поддержку общественной безопасности и зависящих от погоды видов экономической деятельности.

продовольствия и голода. Система заблаговременного предупреждения о наступлении голода (FEWS) Агентства США по международному развитию, которая уже действует в Африке, будет работать вместе с ТОРПЭКС-Африка с целью тестирования передовых прогностических систем для усовершенствования ранних предупреждений на основе комплексных прогнозов с заблаговременностью от нескольких дней до сезона, в то время как Африканский экономический научный консорциум будет оценивать ущерб, нанесенный неблагоприятными явлениями погоды продовольственной безопасности, и разрабатывать средства для оценки дополнительных выгод.

Энергетика: Опасные метеорологические явления вносят свой вклад в нехватку электроэнергии в Африке, нарушая инфраструктуру производства и распределения, сокращая электроснабжение и повышая спрос. За последнее десятилетие дефицит электроэнергии в Африке увеличился, и ТОРПЭКС-Африка предусматривает сотрудничество с основными энергетическими корпорациями с целью разработки и демонстрации более точных оценок информации о снабжении, спросе и раннем предупреждении.

Транспорт: Важным источником дохода большинства НГМС Африки является обслуживание авиации. ВПМИ-ТОРПЭКС будет поддерживать дальнейшее усовершенствование

этих метеорологических услуг для поддержания и укрепления основных функций НГМС, тем самым способствуя разработке и выполнению проекта АМДАР-Африка.

Здоровье: Малярия, менингит, лихорадка долины Рифт и холера относятся к числу заболеваний, связанных с погодой и климатом, наблюдающихся в странах Африки. Существующее сотрудничество между ВМО и ВОЗ по MERIT (см. вставку на с.42) создает основу для привлечения медицинского сообщества к исследованиям с целью лучшего понимания взаимосвязей между здоровьем и погодой/климатом, а также усовершенствования планов готовности к эпидемиям и реагирования на них.

Заинтересованный читатель найдет полные планы научных работ и осуществления на Web-сайте (<http://www.wmo.int/thorpex>) и может отправить туда свои замечания. Ниже приведены некоторые основные аспекты плана осуществления ВПМИ-ТОРПЭКС для Африки:

- Расширить использование имеющихся технологий наблюдения, включая дистанционное зондирование со спутников; оценить работу оперативных и специальных сетей наблюдения, исходя из успешности прогнозов; и дать рекомендации Комиссии ВМО по основным системам относительно оптимальной недорогой сети

наблюдений с учетом будущих метеорологических явлений со значительными последствиями.

- Система метеорологической информации для Африки будет разработана совместно с ЮНЕСКО и Международным центром теоретической физики, при этом будут определены метеорологические явления со значительными последствиями, данные о последствиях и методы анализа. Это поддержит совместные инициативы ученых в области социально-экономических наук, окружающей среды и прогнозирования, которые помогут разработать полный цикл получения продукции и услуг. Семинар, на котором будет определено содержание этой системы, состоится в 2009 году. Последующая работа позволит определить эффективность прогнозирования, чтобы отделить слабые места в цепи операций от прогноза на основе модели до использования метеорологической информации.
- ТОРПЭКС-Африка будет способствовать созданию эффективной комплексной системы прогнозирования в Африке, которая использует детерминистическую продукцию и продукцию САП с заблаговременностью от нескольких дней до нескольких сезонов и десятилетий. Эта деятельность начнется с определения существующей продукции в суточном, недельном, двухнедельном и месячном временных масштабах в глобальных центрах и оценки ее наличия, качества, используемости и потенциальной добавленной стоимости.
- Проверка оправдываемости прогноза, ущерб, потери и оценки затрат-выгод будут определяться с точки зрения пользователя, а схемы оценки затрат-выгод будут разработаны в рамках сотрудничества с социально-экономическим научным сообществом.
- Демонстрационные проекты прогнозирования, подготовка кадров и другая деятельность по наращиванию потенциала

и развитию инфраструктуры планируется в соответствии с Мадридским планом действий (март 2007г.) и Брюссельской программой действий для НРС, принятой на Третьей конференции ООН по проблемам НРС (май 2007г.). Эти демонстрационные проекты должны включать САП и следующее поколение детерминистических прогностических систем высокого разрешения и спутниковых средств (например, Метеосат второго поколения ЕВМЕТСАТ). Эта деятельность позволит повысить авторитет НГМС в некоторых странах и тем самым облегчит набор персонала и развитие этих служб.

- ВПМИ/ТОРПЭКС-Африка будет действовать вместе с ВМО, Всемирной службой погоды и Информационной системой ВМО, чтобы оценить сильные и слабые стороны Глобальной системы телесвязи в Африке, а также разработать и осуществить телекоммуникационный проект для лабораторий африканских университетов, научно-исследовательских институтов, НГМС, региональных и международных центров данных. В процессе этой работы будет учтен переход к Интернету и сотовой связи и будет поощряться нестандартное использование местных коммуникационных ресурсов.

Заключение

В этой статье в общих чертах представлены три международных проекта, координируемых ВМО, которые позволят расширить возможности прогнозирования в Африке. Первым является проект ДППСП. Привлекательный аспект этого проекта состоит в использовании концепции каскадного прогнозирования, позволяющей предоставить развивающимся

странам сравнительно недорогие новейшие средства оперативного прогнозирования. Вторым проектом является SDS-WAS, создающий новые возможности прогнозирования в Африке. Он также тесно связан с конечными пользователями и является координатором в области усовершенствования моделей, разработки продукции и новых возможностей ансамблевого прогнозирования песчаных и пыльных бурь. Проект извлекает пользу из национальных ресурсов для создания регионального центра в Испании и от сотрудничества между партнерами.

Третий проект – ТОРПЭКС-Африка – является долгосрочным перспективным проектом, который призван расширить возможности прогнозирования и исследования в Африке, в отличие от предыдущей деятельности, которая больше основывалась на возможностях за пределами Африки. Проект долгосрочного развития требует закупки у НГМС и африканских пользователей прогностической продукции, связанной с окружающей средой. Даже учитывая предполагаемый большой вклад со стороны почти всех компонентов ВМО, необходимо координировать деятельность по получению ресурсов, чтобы полностью реализовать проект ТОРПЭКС-Африка. Создание в последнее время ТОРПЭКС-Африка как Группы по наблюдению за Землей позволит мобилизовать ресурсы и укрепить связи с конечными пользователями. В этой статье предпринята попытка получить обратную связь от более широких кругов африканского сообщества и других партнеров с целью достижения этой перспективы.

Выражение признательности

Мы благодарим тех участников, без вклада которых эти усилия ВМО на благо Африки были бы невозможны.

Литература

- AFIESIMAMA, E.A., 2007: Weather forecasting in Africa over the last 25 years. *WMO Bulletin*, 56 (1), 49–51.
- HOLLINGSWORTH, A. et al., 2005: The transformation of earth-system observations into information of socio-economic value in GEOSS. *Q.J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 3493–3512.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2008: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007—The Physical Basis. Cambridge University Press.
- POOLMAN, E., H. CHIKOORE and F. LUCIO, 2008: Public benefits of the Severe Weather Forecasting Demonstration Project in south-eastern Africa. WMO newsletter *MeteoWorld*. http://www.wmo.int/pages/publications/meteoworld/swfdp_en.html
- SHAPIRO, M.A. and A.J. THORPE, 2004: THORPEX International Science Plan. WMO/TD-No. 1246, WWRP/THORPEX, No. 2, 51 pp.
- THORPEX/International Core Steering Committee, 2005: THORPEX International Research Implementation Plan, WMO/TD-No. 1258, WWRP/THORPEX, No. 4, 95 pp.
- UPPALA, S.M. et al., 2005: The ERA-40 re-analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961–3012.
- WMO, 2007: The Madrid statement and action plan. International Conference on Secure and Sustainable Living: Social and Economic Benefits of Weather, Climate and Water Services. http://www.wmo.int/pages/themes/wmoprod/documents/madrid07_ActionPlan_web_E.pdf

Качество воздуха, погода и климат в Мехико

Луиза Т. Молина¹, Бенжамин де Фой², Оскар Васкес Мартинес³, Виктор Гюго Парамо Фигуероа³

Большой Мехико (БМ) является одним из самых крупных мегаполисов в мире, насчитывающий 20 миллионов жителей, которые живут на высохшем ложе горного озера Текскоко и его окрестностях. Город расположен в котловине на высоте 2240 м над уровнем моря и с трех сторон окружен горами и вулканами, при этом на севере он выходит на Мексиканское плато, а на северо-востоке находится горный проход. Имея диаметр 50 км и мало места для расширения, БМ отличается высокой плотностью населения, насыщенностью промышленной и торговой деятельности (рис.1). В Мехико живет около 20 процентов населения Мексики, и на его долю приходится 9 процентов выбросов парниковых газов, при этом общий объем выбросов составляет 60 миллионов тонн в год в эквиваленте углекислого газа.

Стратегии и тенденции в управлении качеством воздуха

В течение 20-го столетия в Мехико отмечался резкий рост населения и урбанизации, так как город привлекал мигрантов из всех частей страны, а индустриализация стимулировала экономический рост (рис. 2). Рост населения, числа автомобилей и промышленной деятельности, ог-



Рисунок 1 – Аэрофотоснимок Мехико

Л.Т. Молина

раниченная площадь и интенсивная солнечная радиация в сочетании явились причиной серьезных проблем с качеством воздуха, связанных как первичными, так и вторичными загрязняющими веществами. Автоматическая сеть мониторинга качества воздуха, созданная в 1980-е гг., зафиксировала высокие концентрации всех загрязняющих веществ с установленным предельно допустимым содержанием свинца, окиси углерода, двуокиси азота, двуокиси серы, озона и твердых частиц (PM). Концентрация озона превышала нормы в течение

более чем 90 процентов дней в году, достигая максимума свыше 300 частей на миллиард (почти в три раза больше нормы) в течение 40–50 дней в году, что является одним из худших показателей в мире (Molina and Molina, 2002).

Правительство Мексики и жители Мехико с середины 1980-х гг. считают загрязнение воздуха одной из основных экологических и социальных проблем. В 1990-е гг. были разработаны и осуществлены комплексные программы по управлению качеством воздуха. Конкретные меры включали удаление свинца из бензина и каталитические нейтрализаторы выхлопных газов на автомобилях, сокращение содержания серы в ди-

1 Молина-центр по вопросам энергетики и окружающей среды, Технологический институт Калифорнии и Массачусетса, Массачусетс, США
2 Университет Сент-Луиса, Сент-Луис, Миссури, США
3 Креатриат по вопросам окружающей среды, правительство федерального округа, Мексика

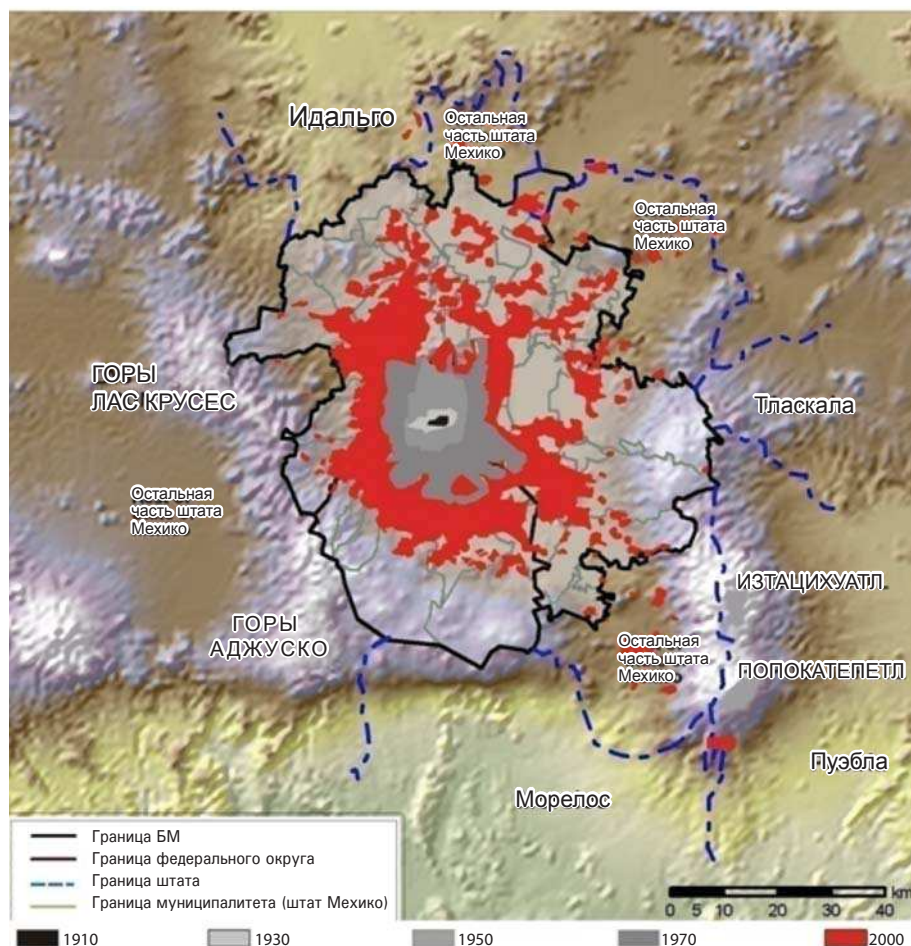


Рисунок 2 – Топографическая карта Большого Мехико, показывающая расширение городской территории

зельном топливе и замену жидкого топлива в промышленности и на электростанциях на природный газ; переработанный сжиженный нефтяной газ стал использоваться для отопления и приготовления пищи. Правительство усилило программы, связанные с техосмотром и техобслуживание автомобилей; было выдвинуто требование, чтобы техосмотр проходил централизованно, а автомобилям с высоким уровнем выбросов надлежало проходить техосмотр чаще, чтобы стимулировать оборот парка автомобилей и обеспечивать их надлежащее техобслуживание. Кроме того, введение «дня без автомобиля» (*Noy no circula*), который запрещал частным владельцам ездить на автомобилях один день в неделю, оказалось эффективным средством реформирования парка автомобилей, так как правило «день без автомобиля» на автомобилях с низким уровнем выбросов не распространялось.

В результате сочетания регламентных мер и технологических изме-

нений концентрации загрязняющих веществ с установленным предельно допустимым содержанием в последнее десятилетие уменьшаются, несмотря на продолжающийся рост населения и экономической деятельности (рис.3). Однако уровни концентрации твердых частиц и озона в Мехико по-прежнему превышают нормы, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения.

В середине 1990-х гг. для координации политики и программ, осуществляемых в Большом Мехико, была создана Комиссия метрополии по вопросам окружающей среды (CAM), являющаяся межведомственным органом, в состав которого входят представители природоохранных органов в федеральном правительстве, представители штата Мехико и представители федерального округа. Текущая программа по управлению качеством воздуха, PROAIRE 2002–2010, включает ряд новых мер по дальнейшему улучшению качества воздуха и предусматривает более

интенсивные наблюдения, чтобы улучшить инвентаризацию выбросов на территории БМ (Molina and Molina, 2002; CAM 2002). Масштабная кампания измерений на местах была проведена в 2003 г. при поддержке CAM (Molina et al., 2007).

В 2006 г. Мехико был выбран в качестве места для исследования в рамках международного научного проекта по изучению выноса выбросов из мегаполиса MILAGRO (Инициатива для мегаполисов: локальное и глобальное научное наблюдение) (Molina et al., 2008). Полевые исследования, предусмотренные в проекте, позволили получить комплексные массивы данных для пополнения и улучшения каталога выбросов, изучения химического состава и процессов распространения и переноса загрязняющих веществ, попавших в атмосферу БМ, а также региональных и глобальных последствий этих выбросов.

Одна из важных мер по программе PROAIRE 2002–2010 касается транспортного сектора, который является самым главным источником поступления загрязняющих веществ в атмосферу БМ. В Мехико недавно принята система скоростных автобусных перевозок, первоначально разработанная в городе Куритиба (Бразилия), а затем успешно принятая в Боготе (Колумбия), в рамках которой лучшее место на дороге отводится для высокоскоростных автобусов с низким уровнем выбросов. Недавнее исследование, проведенное учеными INE/SEMARNAT, показало, что подверженность жителей воздействию окиси углерода, углеводородов и твердых частиц сократилась почти на 50 процентов после того, как популярные 22-местные работающие на бензине автобусы были заменены современными дизельными автобусами (Metrobus), которые осуществляют движение по изолированной или специально выделенной полосе (Wohnschimmel et al., 2008). Это исследование подтвердило заключения, сделанные в Боготе о том, что система скоростных автобусных перевозок может одновременно сократить выбросы загрязняющих веществ с установленным предельно допустимым содержанием и выбросы парниковых газов, уменьшить уровень подверженности жителей

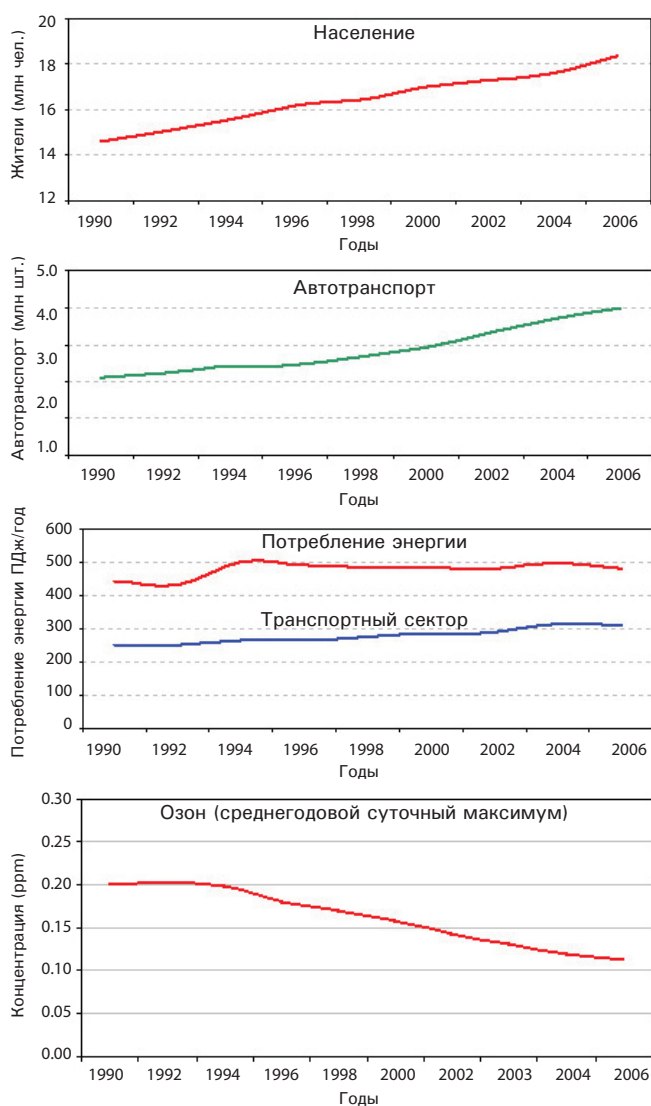


Рисунок 3– Тренды в отношении численности населения, парка автотранспорта, потребления энергии и концентрации озона в Большом Мехико (1990–2006 гг.)

воздействию загрязняющих веществ, а также сократить время нахождения в пути.

Одновременно правительство усилило работу по привлечению к активному участию в своих инициативах населения и заинтересованных сторон. Информация об уровнях качества воздуха и о новых инициативах имеется в Интернете по адресу: www.sma.df.gob.mx/simat –и публикуется в средствах массовой информации в рубрике новостей.

Метеорология

Если не упоминать о загрязнении воздуха, то в Большом Мехико идеальный климат: за холодным сухим периодом, продолжающимся с ноября по февраль, следует теплый сухой период, продолжающийся до апреля, и дождливый период,

продолжающийся с мая по октябрь. Температура умеренная, а влажность низкая. Так как горы защищают город почти со всех сторон, ветра на территории города слабые. С точки зрения загрязняющих воздух веществ в холодный период наблюдается сильная приземная инверсия и высокие пики концентрации первичных загрязняющих веществ утром. В теплый период больше ультрафиолетового излучения, и потому смог более сильный. Более сухие условия являются причиной повышенной аэрозольной нагрузки, вызванной пылью и сжиганием биомассы. В дождливый период наблюдается более низкая концентрация PM_{10} и окиси углерода, но концентрация озона продолжает оставаться высокой из-за интенсивных фотохимических процессов, протекающих до тех пор, пока во второй половине дня не начнутся ливни. Таким образом, качество воздуха вызывает беспокойство круглый год.

Частично проблема связана с метеорологией. Слабые ветры и сильные температурные инверсии ночью приводят к высокой концентрации первичных загрязняющих веществ утром и в час пик. Из-за низкой широты (20° с.ш.) синоптическое воздействие слабое и погода сильно подвержена влиянию ветров, дующих в горной долине. Типичная для теплого периода циркуляция начинается со слабых осушающих орографических ветров в котловине. Затем следует быстрое разрастание пограничного слоя до максимальной высоты 2–4 км в начале второй половины дня. Поток воздуха из горного прохода, поступающий в котловину с юго-востока, создает линию конвергенции поперек БМ (см.рис.4). Время поступления потока воздуха из горного прохода определяет местоположение и уровень концентрации озона (de Foy et al., 2008).

При таких слабых ветрах и интенсивном смоге возникает соблазн сравнить БМ с Лос-Анджелесом. В Лос-Анджелесе устойчивые системы высокого давления с оседанием воздушных масс над этими системами приводит к многодневному накоплению загрязняющих веществ и пиковому смогу. В БМ моделирование траекторий движения частиц показывает, что быстрое разрастание пограничного слоя приводит к эффективному вертикальному перемешиванию. При движении линии конвергенции на северо-восток ветры, дующие сверху, выносят воздушную массу из котловины. Таким образом, имеют место ограниченная рециркуляция и повседневный перенос воздуха в котловине. Фактически, БМ больше похож на Хьюстон, где загрязненная масса воздуха выносится к морю утром и перемещается обратно в город ко второй половине дня морским бризом (Banta et al., 2005).

С климатической точки зрения временные ряды температуры за 100 лет, имеющиеся в метеорологической обсерватории, показывают небольшое понижение температуры в первой половине века, за которым следует отчетливое повышение вплоть до сегодняшней величины повышения в $2-4^\circ\text{C}$. В БМ также отмечается увеличение числа и продолжительности волн тепла. Модельные расчеты изменения в земле-

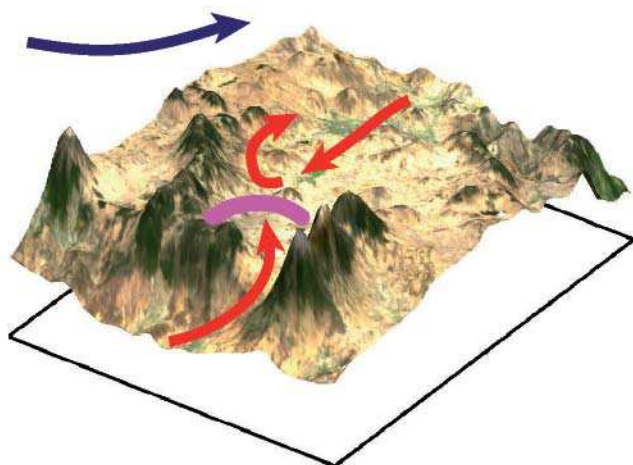


Рисунок 4 – Концептуальная модель циркуляции для одного из дней теплого периода. Приземные ветры, дующие с севера, встречаются с потоком воздуха из горного прохода, поступающего с юга (красные стрелки), и формируют линию конвергенции (показана розовым цветом). Вертикальное перемешивание ведет к выносу воздушных масс из котловины западными ветрами, дующими сверху (синяя стрелка). Снимок с сохранением истинного цвета, сделанный с помощью МОДИС, спроецирован на модель топографической высоты местности (вертикальный масштаб преувеличен).

пользовании предполагают, что на три четверти это обусловлено городским островом тепла и на четверть – изменением климата. Исследования городского острова тепла показывают, что он может взаимодействовать с ветрами из горной долины и оказывать влияние на ночной осушающий поток воздуха и движение воздушных потоков во второй половине дня.

В отношении дождей в течение столетия наблюдается даже более четко выраженный тренд, чем в отношении температуры (см. рис.5). По данным обсерватории годовое количество осадков увеличилось на 50 процентов. В то время как в начале века обычно наблюдалась 0–3 дня в год с экстремальными осадками (> 30 мм/в год), в более поздние десятилетия таких дней стало 5–10 в год. По-прежнему не понятно, в какой степени это обусловлено городским островом тепла, а в какой изменением климата.

План действий по изменению климата

План действий БМ по изменению климата (Accion Climatica), разработанный на 2008–2012 гг. включает 26 действий по сокращению выбросов, 12 действий по адаптации и 6 действий по коммуникации и образованию с общим бюджетом почти в 5,955 миллиардов долларов США. Он был инициирован при поддержке Всемирного банка, разрабатывался посредством анализа затрат и выгод,

препятствий и последствий и окончательно сформирован при широких консультациях с общественностью на основе консенсуса, достигнутого 32 государственными организациями. Цель плана заключается в сокращении выбросов парниковых газов на 7 миллионов тонн в эквиваленте углекислого газа за период с 2008 по 2012 г. и подготовке плана адаптации на 2012 год.

Самые крупные действия по сокращению выбросов связаны с проектами по улавливанию биогаза и переработке отходов. Затем следуют действия в области транспорта, предполагающие организацию перевозки школьников общественным транспортом, ввод новой линии метро, ввод до 10 новых линий автобусов Metrobus и специальных транспорт-

ных коридоров. Эти действия дополняются проектами по обновлению парка машин для такси и автобусов средней вместимости, техосмотру и техобслуживанию, модернизации станций ремонта и перевозки машин. В жилищном секторе наиболее экономически эффективным является рациональное использование энергии для освещения домов. В рамках дополнительных действий будут рассматриваться вопросы использования жителями электроэнергии и воды, а также устойчивого развития жилищного строительства. Рациональное использование энергии будет поддерживаться по линии целевых проектов в государственных учреждениях и жилищно-коммунальном секторе. Другие действия предусматривают осуществление проектов по получению возобновляемой энергии и организацию центров по переработке утильсырья.

Адаптация к выросшему количеству осадков и экстремальных явлений будет включать улучшенное регулирование паводков посредством разработки противопаводковых систем и систем оповещения. Проекты по развитию сельских районов предусматривают сохранение почвенных и водных ресурсов, возобновление лесонасаждений и защиту посевов. Кроме того, они включают меры по мониторингу генетически модифицированных культур, развитие экологически чистого сельского хозяйства, посадку устойчивых к изменению климата пород деревьев

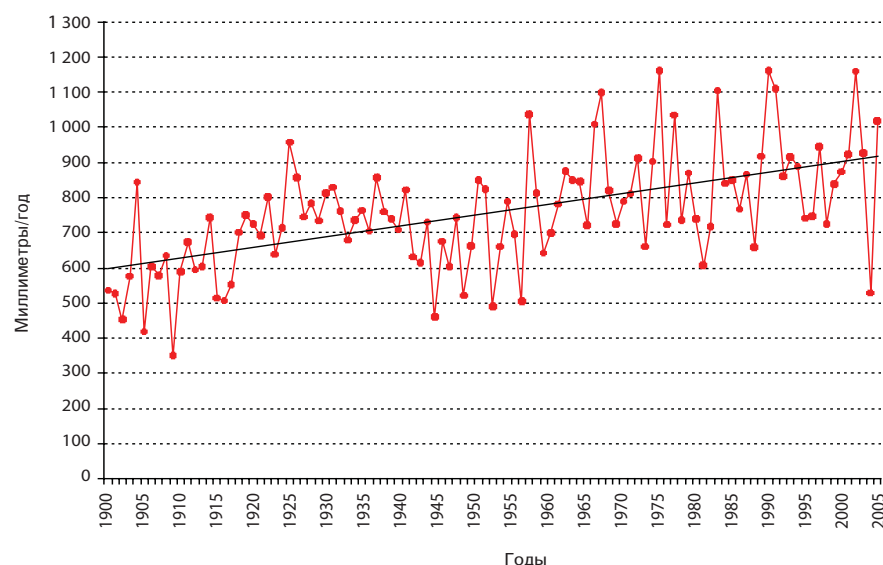


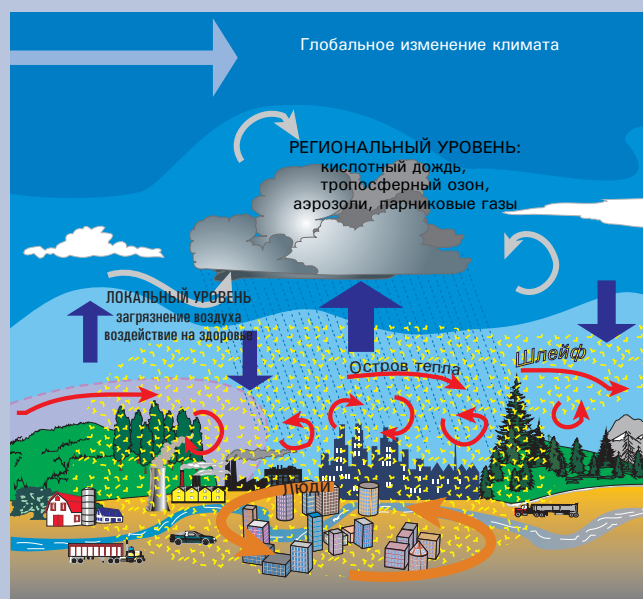
Рисунок 5– Исторические тренды в отношении осадков по наблюдениям одной метеорологической обсерватории в БМ

Научные исследования в области городской метеорологии

Страны-члены ВМО отреагировали на потребность в развитии возможностей в области метеорологии и окружающей среды в городских районах, учредив в 1999 г. Проект Глобальной службы атмосферы (ГСА) по научным исследованиям в области городской метеорологии и окружающей среды (ГУРМЕ). Интерес к таким исследованиям был обусловлен трудностями, с которыми странам пришлось столкнуться в связи с растущей урбанизацией и связанными с ней проблемами загрязнения воздуха. В рамках ГУРМЕ было предпринято несколько проектов для содействия и поддержки соответствующих научных исследований, а впоследствии для создания прикладных городских систем. Эти проекты включали такие виды деятельности, как:

- Исследования, направленные на понимание формирования загрязнения атмосферы на местах;
- Исследования островов тепла;
- Проектирование, создание и наращивание, как сетей метеорологических наблюдений, так и сетей для измерения загрязнения воздуха;
- Развитие систем и обслуживания в области моделирования и прогнозирования качества воздуха;
- Обучение и наращивание потенциала для моделирования и прогнозирования качества воздуха;
- Исследования влияния городского района на качество воздуха на региональном уровне;
- Создание на основе Web-систем связи для информирования органов власти и населения об особых метеорологических условиях (таких как лед, снег, дым и мгла) и о загрязнении воздуха.

ГУРМЕ сконцентрировал усилия на моделировании и прогнозировании качества воздуха, т.е. на деятельности, необходимой для поддержки эффективного управления окружающей средой в городском масштабе. Проводятся совещания экспертов, чтобы получить свежую информацию о новых методах прогнозирования химического состава атмосферы и помочь в определении



будущих потребностей в исследованиях для улучшения прогнозов. Обучение было предложено для регионов Латинской Америки и Южной Азии. В мероприятиях участвовали представители как научного сектора, так и сектора, занятого оперативной деятельностью.

ГУРМЕ предполагает сотрудничество между организациями и учреждениями, работающими в различных областях. Совместная работа с различными органами власти имеет важное значение для успешного проведения исследований, осуществления различных видов деятельности и содействия разработке улучшенных стратегий предотвращения загрязнения.

ГУРМЕ включает сотрудничество на региональном и глобальном уровнях. Растет понимание того, что для точного прогнозирования химического состава атмосферы необходимо учитывать влияние источников загрязнения в результате крупномасштабных явлений (таких как пыльные бури и лесные пожары). Многомасштабный характер вопросов, рассматриваемых в рамках ГУРМЕ, облегчает сотрудничество на межмасштабном уровне.

и развитие экологически рационального строительства. Адаптация к выросшей температуре предполагает дистанционное зондирование и мониторинг лесных пожаров и систему эпидемиологического мониторинга для уязвимых групп населения.

Проекты по образованию и коммуникации включают программы непрерывного образования в области изменения климата, жилищного строительства с рациональным использованием ресурсов, сохранения водных ресурсов, кампании, направ-

ленные на достижение понимания общественностью существующих проблем, и кампании по комплексной переработке отходов. Основное внимание будет сосредоточено на повышении информированности, понимании рисков и поддержке мер по адаптации и смягчению последствий.

На сегодняшний день результаты включают продвижение «солнечного стандарта», т.е. использование солнечных нагревателей для обеспечения горячей водой. Это уже принято 30 процентами плавательных бас-

сейнов (оборудование установлено на площади 6957 м²), у которых период окупаемости составил 1,5 года. Установка солнечных нагревателей продолжится в рамках 6500 новых жилищных проектов, завершающихся к 2012 г., их также примут на вооружение гостиницы и другие коммерческие организации.

Потрясающих успехов добивается система автобусных перевозок Metorbus, которая является одной из самых востребованных в мире и перевозит 265 000 пассажиров в день. Это первый проект мира, в

рамках которого деньги, вырученные от продажи неиспользованной части квот на выбросы, полученной за счет их сокращения, используются в качестве части его финансирования. За период с 2005 по 2007 г. сокращение выбросов составило около 67 400 тонн в эквиваленте углекислого газа и было продано за 281 600 евро. Разрабатываются новые линии, к 2012 г. будет введено в действие 10 новых транспортных коридоров, что приведет к сокращению 359 500 тонн выбросов в эквиваленте углекислого газа и к улучшению городской окружающей среды.

Выводы

В Мехико в течение ряда лет ведется работа по улучшению качества воздуха. Значительный прогресс достигнут в решении проблем загрязнения воздуха с помощью комплексных программ по управлению качеством воздуха, разработанных на основе научных, технических, социальных и политических соображений. Однако непрерывное давление, обусловленное ростом населения в городе и желанием людей улучшить качество своей жизни, приводит к тому, что необходимость улучшать качество воздуха сохраняется. Правительство предприняло также действия по смягчению последствий выбросов парниковых газов. Цель плана заключается в поддержке политики, «не вызывающей сожаления», которая принесет пользу даже при отсутствии изменения климата. Кроме того, в плане предпринята попытка сконцентрироваться на «беспроблемных» стратегиях, направленных на социальное развитие при одновременном обеспечении благоприятных последствий для окружающей среды. Меры по улучшению качества воздуха обеспечивают существенную пользу и в плане смягчения последствий изменения климата. Для Мехико были проведены комплексные оценки пользы одновременно для качества воздуха и для смягчения последствий изменения климата при осуществлении соответствующих скоординирован-

ных усилий. Исследование четырех мегаполисов (Мехико, Нью-Йорк, Сантьяго и Сан-Паулу), проведенное Cifuentes et al. (2001), показало, что уменьшение выбросов парниковых газов ведет к большому сокращению концентрации озона и твердых частиц со значительными положительными последствиями для здоровья людей. McKinley et al. (2005) пришли к выводу, что пять мер, предложенных для контроля за выбросами в Мехико, которые, по оценкам, уменьшат воздействие твердых частиц на 1 процент и максимальную суточную концентрацию озона на 3 процента, также приведут к сокращению выбросов парниковых газов на 2 процента как для периода 2003–2010 гг., так и для периода 2003–2010 гг. Другое исследование показало, что если текущая программа по управлению качеством воздуха (PROAIRE 2002–2010) будет реализована так, как запланировано, она, помимо значительного сокращения концентрации местных загрязняющих веществ, приведет в 2010 г. к сокращению на 3,1 процента выбросов углекислого газа (West et al., 2004). Следовательно, при разработке природоохранной политики важно объединить цели, касающиеся качества воздуха и стабилизации климата, чтобы реализовать потенциальную выгоду, которую может принести это объединение.

Литература

BANTA, R.M., C.J. SENIFF, J. NIELSEN-GAMMON, L.S. DARBY, T.B. RYERSON, R.J. ALVAREZ, S.R. SANDBERG, E.J. WILLIAMS and M. TRAINER, 2005: A bad air day in Houston, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86: 657–669.

CIFUENTES, L., V.H. BORJA-ABURTO, N. GOUVEIA, G. THURSTON and D.L. DAVIS, 2001: Climate change: hidden health benefits of greenhouse gas mitigation, *Science*, 293, 1257–1259.

DE FOY, B., J.D. FAST, S.J. PAECH, D. PHILLIPS, J.T. WALTERS, R.L. COULTER,

T.J. MARTIN, M.S. PEKOUR, W.J. SHAW, P.P. KASTENDEUCH, N.A. MARLEY, A. RETAMA and L.T. MOLINA, 2008: Basin-scale wind transport during the MILAGRO field campaign and comparison to climatology using cluster analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, 8:1209–1224.

CAM, 2002: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010, Comisión Ambiental Metropolitana, Mexico.

McKINLEY, G., M. ZUK, M. HOJER, M. ÁVALOS, I. GONZÁLEZ, R. INIESTRA, I. LAGUNA, M.A. MARTÍNEZ, P. OSNAYA, L.M. REYNALES, R. VALDÉS and J. MARTÍNEZ, 2005. Quantification of local and global benefits from air pollution control in Mexico City. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 1954–1961.

MOLINA, L.T. and M.J. MOLINA (Eds.), 2002: *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers.

MOLINA, L.T., C.E. KOLB, B. DE FOY, B.K. LAMB, W.H. BRUNE, J.L. JIMENEZ, R. RAMOS-VILLEGAS, J. SARMIENTO, V.H. PARAMO-FIGUEROA, B. CARDENAS, V. GUTIERREZ-AVEDOY and M.J. MOLINA, 2007: Air quality in North America's most populous city—overview of the MCMA-2003 campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2447–2473.

MOLINA, L.T., S. MADRONICH, J.S. GAFFNEY and H.B. SINGH, 2008: Overview of MILAGRO/INTEX-B Campaign, *IGAC Newsletter*, 38, 2–15.

WEST, J., P. OSNAYA, I. LAGUNA, J. MARTÍNEZ and A. FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, 2004: Co-control of urban air pollutants and greenhouse gases in Mexico City. *Environmental Science and Technology*, 38:3474–3481.

WÖHRNSCHIMMEL, H., M. ZUK, G. MARTÍNEZ-VILLA, J. CERÓN, B. CÁRDENAS, L. ROJAS-BRACHO and A. FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, 2008: The impact of a rapid bus transit system on commuters' exposure to benzene, CO, PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City. *Atmospheric Environment* (in press).

Углеродосодержащий аэрозоль – проблема, остающаяся нерешенной

Карл Еспен Иттри*, Кэтрин Лунд Мюре*, Кьетил Торсет*

Введение

Наличие аэрозоля в окружающей среде остается одной из основных проблем для атмосферных наук в связи с его способностью оказывать негативное влияние на здоровье и радиационный баланс, а следовательно, на температуру поверхности Земли. Механизмы, которые бы помогли объяснить это влияние по-прежнему являются предметом исследований. Более того, наше понимание атмосферных источников и поглотителей аэрозоля, его физических и химических свойств по-прежнему является неполным.

В значительной степени недостаток наших знаний в этой области можно объяснить наличием в аэрозоле углеродосодержащих частей, несмотря на то, что в течение последних 15–20 лет ученые уделяли большое внимание ее изучению. Это можно объяснить частично большим количеством частиц, участвующих в формировании и преобразовании углеродосодержащего аэрозоля, а также тем фактом, что сегодняшние возможности для анализа недостаточны для его полной качественной и количественной характеристики. Кроме того, выброс в атмосферу первичных углеродосодержащих частиц и газовых прекурсоров вторичных углеродосодержащих аэрозолей мало изучен.

Для улучшения ситуации необходимо более глубокое знание практически всех аспектов, касающихся углеродосодержащего аэрозоля. В настоящей статье подчеркиваются основные последствия углеродосодержащего аэрозоля для здоровья и климата и рассматриваются некоторые пробелы в знаниях, связанные с будущими проекциями. В статье также рассматривается необходимость дальнейшего развития деятельности по мониторингу, чтобы сократить пробелы в знаниях.

Углеродосодержащий аэрозоль и его последствия для здоровья

По существующим оценкам в глобальном масштабе ежегодно преждевременно умирает от сердечно-сосудистых и легочных заболеваний, вызванных наличием твердых частиц (PM) в атмосфере значительное количество людей, достигающее 800 000 (World Health Organization (WHO), 2002). Несмотря на многочисленные свидетельства того, что некоторые источники твердых частиц сильнее связаны с негативными последствиями для здоровья, чем другие (Hoek et al., 2002; Laden et al., 2000), ВМО при оценке последствий для здоровья находящихся в воздухе твердых частиц по-прежнему рекомендует использовать только один фактор риска. Таким образом, главное беспокойство вызывает любой крупный компонент твердых частиц в атмосфере, такой как углеродосодержащая часть, которая составляет

20–70 процентов в суммарной концентрации твердых частиц.

В последнее время эпидемиологические исследования показали статистическую связь между углеродосодержащим аэрозолем и визитами в отделение неотложной помощи при сердечно-сосудистых заболеваниях. С появлением свидетельств о последствиях, которые можно прямо отнести на счет углеродосодержащей части, улучшится возможность оценить подверженность ее воздействию и последствиям для больших групп населения.

Углеродосодержащий аэрозоль содержит большое число органических частиц, однако большинство из них еще предстоит идентифицировать. Однако, как сообщается, хорошо известные токсические вещества, такие как окси- и нитрополициклические ароматические углеводороды и полихлорированные дибензодиоксины/фураны здесь присутствуют. Тем не менее научное сообщество все еще пытается найти, чем вызвана токсичность находящегося в атмосфере аэрозоля.

В недавнем исследовании McDonald et al. (2004), изучая токсичность для легких образцов выхлопных газов автомобильных двигателей, работающих на дизеле и бензине, смогли выявить конкретные твердые органические частицы (гопаны и стераны). Этот результат позволяет разобраться в том, какие источники и компоненты в сложной структуре углеродосодержащего аэрозоля отвечают за токсичность для легких вдыхаемых

* Научный сотрудник, Норвежский институт атмосферных исследований

частиц. Кроме того, он поддерживает результаты эпидемиологических исследований, указывающие на то, что автомобильный транспорт является важным источником загрязнения воздуха, ведущим к преждевременной смерти (Hoek et al., 2002; Laden et al., 2000; Metzger et al., 2004). Наконец, он укрепляет общую рекомендацию ВОЗ о том, что первичные частицы, полученные посредством сжигания, особенно важны, так как они часто «содержат большое количество переходных металлов и органических соединений, а также имеют относительно большую площадь поверхности». Так как международное сообщество готовится ввести в действие режим работы, при котором возобновляемые виды топлива будут играть более важную роль, следует помнить, что ВОЗ не проводит различия между последствиями, вызванными частицами, появившимися от сжигания ископаемых видов топлива и последствиями, связанными с частицами, образовавшимися в результате сжигания биомассы (WHO, 2005).

Углеродосодержащий аэрозоль и его последствия для климата

В исследовании воздействия аэрозоля на климат самые большие неопределенности, несомненно, связаны с воздействием углеродосодержащего аэрозоля. Справедливо утверждать, что в настоящее время углеродосодержащий аэрозоль является самым важным аэрозолем с точки зрения воздействия на климат. В основном это объясняется наличием в углеродосодержащем аэрозоле технического углерода, который поглощает в атмосфере солнечную радиацию. Согласно Ramanathan and Carmichael (2008) это свойство превращает технический углерод в вещество, которое вносит в глобальное потепление второй по важности вклад после углекислого газа. Однако воздействие на климат технического углерода неопределенно и является предметом обсуждения (Forster et al., 2007).

Повышенные концентрации технического углерода в районах с высокой солнечной радиацией вносят



Спутниковое изображение, включая очаги пожаров (красные точки), восточной части Канады 24 июля 2004 г., 19:35 МСВ, полученное с помощью прибора МОДИС на спутнике программы Терра. Серым цветом указаны дымовые шлейфы от пожаров в бореальных лесах.

основной вклад в образование так называемых бурых облаков над большими по площади районами, например, в Азии (Ramanathan and Carmichael, 2008). Бурые облака ведут к затенению поверхности Земли, потеплению атмосферы и нарушению гидрологического цикла, которое, возможно, оказывает влияние на муссон.

Как отмечается в Четвертом докладе об оценках Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (Forster, 2007), технический углерод в снеге оказывает значительное влияние на общий радиационный баланс атмосферы, поглощая приходящий солнечный свет. Кроме того, технический углерод на поверхности снега и льда может усилить таяние ледников не только в северных высоких широтах, но и в неполярных

регионах, таких как Гималаи, и стать причиной вторичных последствий в отношении водоснабжения густонаселенных районов, которые пользуются водой, поступающей с Гималаев.

Четко выраженное воздействие технического углерода на региональный и глобальный климат и его непродолжительное время жизни в атмосфере (1 неделя $\pm$ 1 день) по сравнению с углекислым газом привело к появлению ряда выводов о том, что сокращение выбросов технического углерода является наиболее эффективной стратегией замедления глобального потепления (Bond, 2007; Hansen et al., 2000; Jacobson, 2002), в то время как сокращение выбросов парниковых газов необходимо, чтобы остановить потепление. Таким образом, жизненно необходимо дать количественную

NASA <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

оценку неопределенностям в воздействии технического углерода на климат, а затем уменьшить эти неопределенности, чтобы разработать эффективные и целенаправленные стратегии борьбы с загрязнением.

В этой связи более глубокое знание источников, а также физических и оптических свойств технического углерода особенно необходимо для принятия эффективных мер по смягчению последствий. В частности, использование индикаторов конкретных источников, радиоуглеродного анализа, времяпролетных масс-спектрометров аэрозольных частиц оказалось полезным для решения проблемы источников технического углерода. Любая попытка сократить выбросы технического углерода также принесет пользу для достижения целей, поставленных ВОЗ, в отношении здоровья, так как в токсикологических исследованиях (Donaldson et al., 2000) неблагоприятные последствия для здоровья были связаны с воздействием элементарного углерода. Часть органического углерода в углеродосодержащих аэрозолях может увеличить поглощающую способность технического углерода в 2–4 раза, действуя в качестве оболочки (Bond et al., 2006; Fuller et al., 1999; Jakobson, 2001; Schnaiter et al., 2005). Аэрозоль, содержащий органический углерод, может также поглощать ультрафиолетовое излучение в связи с наличием в нем так называемого бурого углерода. Кроме того, аэрозоль, содержащий органический углерод, играет роль в формировании облачных капель, хотя когда-то думали, что на их формирование оказывают влияние только неорганические частицы аэрозоля.

Перспективы углеродосодержащего аэрозоля

Необходимость исследований углеродосодержащего аэрозоля будет даже более насущной, так как ожидается, что его выбросы в развивающихся странах сильно возрастут в будущем. Кроме того, относительная важность

различных источников, которые служат причиной поступления углеродосодержащего аэрозоля в атмосферу, в будущем может сильно измениться, так как мы пытаемся адаптироваться к жизни общества с нейтральным уровнем эмиссии углерода, заменяя ископаемые виды топлива возобновляемыми видами топлива. Одновременно предполагается, что такое же влияние на глобальное потепление может оказать повышенное формирование вторичных органических аэрозолей в результате окисления в атмосфере газообразных органических прекурсоров.

В то время как переход к возобновляемым типам топлива улучшит ситуацию с углекислым газом, их влияние на уровень загрязнения воздуха углеродосодержащими твердыми частицами не определено. По оценкам Международного энергетического агентства (IEA, 2007), почти 80% возобновляемых источников энергии являются горючими веществами, из них 97% – это биомасса. Проекция EIA (2008) показывает, что потребление биомассы (возобновляемые вещества) в период между 2000 и 2020 гг., вероятно, увеличится на 200%.

Будущие выбросы углеродосодержащих аэрозолей в связи с ожидаемым ростом потребления биомассы в определяющей степени будут зависеть от технологий, используемых для преобразования биомассы в тепло и энергию. В прогнозах, сделанных Международным институтом анализа прикладных систем для проекта CAFÉ (Чистый воздух для Европы) указывается на отопление жилых помещений, и в частности на отопле-

ние дровами, как на один из главных источников концентрации твердых частиц и технического углерода над Европой. Для больших районов Европы выбросы от отопления жилых помещений дровами плохо регулируются, и есть тенденция к тому, что сжигание дров происходит в небольших по размеру устройствах с использованием старой технологии, которая способствует выбросу углеродосодержащих аэрозолей. Кроме того, период службы печей, которые топят дровами, и каминов достаточно продолжителен, что замедляет использование новой, более чистой технологии.

Ряд недавних исследований, в рамках которых проводилось измерение левоглюкозана, являющегося уникальным индикатором образования углеродосодержащих аэрозолей в результате отопления дровами, показал, что он присутствует как в городской, так и в сельской окружающей среде во многих местах Европы в весьма высоких концентрациях. Сюда относятся и места, на которые, как ожидалось, этот источник не будет оказывать особого влияния. Физические и химические характеристики частиц дыма, образующихся от сжигания древесины, различаются в зависимости от условий сжигания и устройств для сжигания, и это может оказывать влияние на токсичность частиц. Однако сегодняшние знания по этому вопросу очень ограничены. В то время как присутствие левоглюкозана зимой указывает на образование углеродосодержащих аэрозолей в результате отопления жилых помещений дровами, его присутствие в пробах, отобранных летом, связывают с последствия-

Проблема городских выбросов, имеющая относительно локальный характер, превращается в проблему появления регионального источника окислов, преимущественно гидрофильных углеродосодержащих аэрозолей. Последствия этого окисленного вещества для здоровья и его воздействие на климат, почти без сомнения, сильно отличаются от последствий и воздействия первичных выбросов. (Robinson et al. 2007)

ми стихийных пожаров и сжигания сельскохозяйственных отходов. Несмотря на то, что сжигание сельскохозяйственных отходов запрещено в большинстве стран Западной Европы, это является обычной практикой во многих районах мира.

В последние годы наблюдалось несколько примеров выбросов в результате стихийных пожаров и сжигания сельскохозяйственных отходов, оказавших сильное влияние на качество воздуха в Европе (Saarikoski et al., 2007; Yttri et al., 2007), превысивших нормы содержания в воздухе твердых частиц и поднявших в некоторых случаях концентрацию углеродосодержащих аэрозолей почти на порядок величины. Имеются примеры и того, как стихийные пожары и сжигание сельскохозяйственных отходов повлияли на концентрацию загрязняющих воздух веществ в Арктике (Stohl et al., 2007). Выдвигались также аргументы, свидетельствующие о том, что пожары в бореальных лесах могли стать основным источником технического углерода арктическим летом в годы высокой активности пожаров (Stohl et al., 2006; Stohl et al., 2007).

Уже выражалась обеспокоенность в отношении результатов крупномасштабного перехода от бензина к этанолу (биоэтанолу) в связи с последствиями для здоровья, обусловленными концентрацией озона. По расчетам Jacobson (2007) использование топлива E85 (85 процентов этанола и 15 процентов бензина) может увеличить уровень обусловленных концентрацией озона заболеваний раком, смертности и госпитализации в большом городе, таком как Лос-Анджелес, на 9 процентов по сравнению с топливом, состоящим на 100 процентов из бензина.

Также выражалась обеспокоенность в отношении окисления несгоревшего этанола как источника ацетальдегида, который является для человека канцерогеном. Сжигание биотоплива неизбежно изменит состав органических компонентов углеродосодержащего аэрозоля. Так как, обычно, биотопливо имеет повышенное содержание кислорода, можно ожидать, что в выбросах будет больше насыщенного кисло-



В. ТОРРЕС

В последней статье в журнале Nature Robinson et al. (2007) предположили, что антропогенные вторичные органические аэрозоли имеются в большем количестве, чем ранее ожидалось, из-за окисления продуктов низкой летучести, которые испаряются из первичного углеродосодержащего аэрозоля и рассеиваются в атмосфере. Это указывает на то, что большинство населения подвергается воздействию вторичных органических аэрозолей даже в городских районах.

родом вещества. Такие частицы углеродосодержащего аэрозоля изучены меньше всего, частично из-за ограничений для анализа и, следовательно, являются предметом дальнейших исследований. Насыщенные кислородом соединения в Полярных районах являются веществами, лучше всех растворяющимися в воде и, следовательно, потенциально активными в качестве ядер конденсации облаков.

Последние достижения в области аналитической химии свидетельствуют, что биогенные вторичные органические аэрозоли (BSOA) вносят значительный вклад в органическую часть атмосферного углеродосодержащего аэрозоля даже в городской окружающей среде (Szidat et al., 2006). Это подтверждает то, что давно утверждалось: биогенные вторичные органические аэрозоли являются одним из основных недостающих источников углеродосодержащего аэрозоля. Выдвинута гипотеза о том, что глобальное потепление служит причиной увеличения концентрации биогенных вторичных органических аэрозолей из-за роста выбросов биогенных летучих органических газообраз-

ных соединений, которые затем окисляются и формируют твердые частицы в атмосфере. Кроме того, формирование биогенных вторичных органических аэрозолей, по мере роста атмосферного глобального потепления, может стимулировать скорость протекания реакций, которая зависит от температуры. Robinson et al. (2007) выдвинули аргументы, предполагающие, что антропогенные вторичные органические аэрозоли имеются в большем количестве, чем ранее ожидалось, из-за окисления продуктов низкой летучести, которые испаряются из первичного углеродосодержащего аэрозоля и рассеиваются в атмосфере. Это указывает на то, что большинство населения подвергается воздействию вторичных органических аэрозолей даже в городских районах. Как утверждают Robinson et al. (2007): «Проблема городских выбросов, имеющая относительно локальный характер, превращается в проблему появления регионального источника окисированных, преимущественно гидрофильных углеродосодержащих аэрозолей. Последствия этого окисированного вещества для здоровья и его воздействие на климат, почти без

сомнения, сильно отличаются от последствий и воздействия первичных выбросов». Обычно при оценке источников углеродосодержащего аэрозоля частицы первичного биологического аэрозоля не принимались во внимание. Однако ряд последних исследований показал, что на частицы первичного биологического аэрозоля может приходиться 30–40 процентов органической части углеродосодержащего аэрозоля в районах с умеренным антропогенным влиянием (Winiwarter et al., 2008(a); Winiwarter et al., 2008(b); Yttri et al., 2007). Отдельные частицы первичного биологического аэрозоля могут быть активными как в качестве ядер конденсации облаков, так и в качестве гетерогенных льдообразующих ядер и, таким образом, вносить вклад в образование облаков.

В связи с гетерогенным характером этого источника трудно прогнозировать, как он будет реагировать на изменение климата. Чтобы попытаться уменьшить глобальное потепление посредством сокращения выбросов технического углерода, необходимо определить все основные источники, особенно в районах, вызывающих особую озабоченность, т.е. там, где выбросы технического углерода оказывают сильное воздействие на климат. Примерами являются районы в Азии с быстроразвивающимися экономиками, такими как экономики Китая и Индии, на которые вместе приходится 25–35 процентов всех выбросов технического углерода в мире (Ramanathan and Carmichael, 2008). Другим примером является Евразия зимой и весной, которая является основным источником для низких слоев тропосферы в Арктике (Barrie et al., 1986; Sharma et al., 2006; Stohl et al., 2006). Выбросы в пределах самой Арктики следует свести к минимуму, так они оказывают непропорционально большое воздействие. Это может оказаться непростой задачей, так как, вероятно, различные виды деятельности человека будут расширяться по мере отступления морского льда. Открытие Северо-западного морского пути, связывающего Атлантический океан с Тихим океаном, вероятно, увеличит объем судоходства, так как это будет способствовать проведению нефтегазопромысловых работ,

как происходит в настоящее время в Баренцевом море.

Еще одной крупной проблемой могут стать пожары в бореальных лесах в Сибири (Российская Федерация), Канаде и на Аляске (США), которые не поддаются контролю со стороны человека. Увеличение частоты лесных пожаров постулируется как одно из последствий глобального потепления, и это может привести к дальнейшему усилению таяния морского льда и снега в Арктике. Сильное загрязнение воздуха в европейской части Арктики весной 2006 г., которое было вызвано сжиганием сельскохозяйственных отходов в восточной части Европы, (Stohl et al., 2007) хорошо продемонстрировало, как непропорциональное потепление Арктики способствовало тому, что новые районы в средних широтах стали выступать в качестве районов-источников загрязнения воздуха в Арктике. Этот случай может служить в качестве раннего предупреждения о том, что такое может чаще происходить в будущем, если Арктика будет нагреваться быстрее, чем средние широты. Он также показывает, что сжигание сельскохозяйственных отходов следует запретить.

Отходы сельскохозяйственных культур являются энергетическим резервом с нейтральным уровнем эмиссии углекислого газа и могли бы служить в качестве ценного дополнения в общем объеме энергопотребления; таким образом, их сжигание на полях является разбазариванием ресурсов. Принимая во внимание рост населения земного шара в период 2005–2030 гг. со скоростью один процент в год (IEA, 2008), следует ожидать пропорционального роста производства продовольствия и, следовательно, сельскохозяйственных отходов, что может еще более обострить проблему выбросов в результате сжигания сельскохозяйственных отходов. Согласно предположению, на Украине, которая имеет самый высокий в Европе потенциал для использования сельскохозяйственных отходов в качестве источника энергии, урожай пшеницы потенциально может удвоиться (FAO, 2003; Ericsson and Nilsson, 2006; Sciare

et al., 2008). Следовательно, это является источником углеродосодержащих аэрозолей в будущем, который нельзя не принимать во внимание.

В последние десятилетия в Европе и Северной Америке антропогенные выбросы аммиака, оксидов азота и неметановых углеводородов стабилизировались, а выбросы двуокиси серы значительно сократились. Это привело к относительному повышению важности углеродосодержащих аэрозолей по сравнению с неорганическими аэрозолями. Дальнейшее увеличение углеродосодержащих веществ, будет ли оно обусловлено использованием ископаемых или биологических видов топлива, или более частыми пожарами в бореальных лесах, повысит важность смягчения связанных с этими источниками последствий в грядущие годы.

Как сети мониторинга могут решить проблему углеродосодержащих аэрозолей, поступающих из разных источников?

Как правило, данные долгосрочного мониторинга (> 10 лет) углеродосодержащего аэрозоля, за немногими исключениями, отсутствуют (Sharma et al., 2006). Частично это связано с отсутствием стандартизированного подхода к тому, как осуществлять отбор проб и проводить их последующий химический анализ. Во время отбора проб углеродосодержащего аэрозоля могут быть внесены существенные искажения, в результате которых его органическая часть может быть сильно как переоценена, так и недооценена, а крупные проблемы анализа связаны с отделением органической части от части, которую составляет элементарный/технический углерод (McDow and Huntzicker, 1990; Schmid et al., 2001). Таким образом, данные различных сетей мониторинга сравнивать трудно. В настоящее время в Европе предпринимаются усилия по разработке унифицированного протокола для отбора проб и химического анализа

углеродосодержащих аэрозолей в сельской окружающей среде для объединенных суперстанций Совместной программы Глобальной службы атмосферы ВМО по мониторингу и оценке переноса загрязняющих воздух веществ на дальние расстояния в Европе в рамках Проекта по созданию суперстанций для проведения научных исследований в области атмосферных аэрозолей (www.eusaar.org).

В 2008 г. ни одна из действующих на постоянной основе сетей мониторинга качества воздуха не удовлетворяла уровню, необходимому для определения мест источников концентрации в атмосфере углеродосодержащего аэрозоля. Чтобы этого достичь, необходимо расширить технические характеристики компонентов сетей и ввести в эксплуатацию более современные приборы, работающие как в сети, так и автономно. Очевидно, что такие требования идут вразрез с тем, чтобы использовать простые в эксплуатации и дешевые приборы, и, пожалуй, должны касаться отдельных суперстанций в составе сети.

В качестве альтернативного варианта можно проводить специализированные кампании. У такого подхода есть большее преимущество, так как он объединяет усилия исследовательских групп и национальных организаций. Недавним примером являются интенсивные кампании, предпринятые в рамках Совместной программы по мониторингу и оценке переноса загрязняющих воздух веществ на дальние расстояния в Европе, ряд которых проводился совместно с кампаниями в рамках Европейского комплексного проекта по изучению взаимосвязей между климатологией аэрозольных облаков и качеством воздуха. В рамках этих кампаний специальные измерения проводились осенью и зимой 2008 г. и будут проводиться весной 2009 г. с тем, чтобы определить источники углеродосодержащих аэрозолей. Аналогичным образом предпринимаются усилия по обеспечению долгосрочных данных в Северной Америке. К сожалению, в глобальном масштабе охват станциями, осуществляющими измерения

углеродосодержащих аэрозолей, очень ограничен. В частности, недостаточно измерений проводится в экваториальных районах, в Азии и в бореальных районах. Как правило, ограничения связаны с недостатком профессиональных знаний и навыков на национальном уровне, финансированием и инфраструктурой, но растущие возможности для финансирования передачи потенциала могут улучшить ситуацию в грядущие годы.

Аналогичным образом в последние годы значительно улучшились возможности для анализа. Одним из важных улучшений является использование в исследованиях по определению источников различных индикаторов, таких как ^{14}C , левоглюкозан, целлюлоза, сахар, сахарный спирт. Постоянное использование таких индикаторов, а также времяпролетных приборов неизбежно улучшит наше понимание углеродосодержащего аэрозоля. Измерение фаз, в которых находится аэрозоль, должно подкрепляться одновременными измерениями вероятных газовых прекурсоров углеродосодержащего аэрозоля, включая биогенные летучие органические соединения, летучие органические соединения, выброс которых осуществлен в результате деятельности человека, продукты и соединения их распада, такие как формальдегид и глиоксаль (Simpson et al., 2007). Два последних компонента можно измерять даже из космоса, что позволяет получить региональные картины концентрации, используя один прибор.

Литература:

BARRIE, L.A., 1986: Arctic air pollution—An overview of current knowledge. *Atmos. Environ.*, 20, 643–663.

BOND, T.C., G. HABIB and R.W. BERGSTROM, 2006: Limitations in the enhancement of visible light absorption due to mixing state. *J. Geophys. Res.*, 111, D20211, doi:10.1029/2006JD007315.

BOND, T.C., 2007: Can warming particles enter global climate discussions? *Environ. Res. Lett.*, 2, 045030, doi:10.1088/1748-9326/2/4/045030.

DONALDSON, K., V. STONE, P.S. GILMOUR, D.M. BROWN and W. MACNEE, 2000: Ultrafine particles: mechanisms of lung injury. *Philos. T. Roy. Soc. A*, 358, 2741–2748.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2008: *International energy outlook 2008*. EIA, Washington, DC, USA.

ERICSSON, K. and L.J. NILSSON, 2006: Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass Bioenerg.*, 30, 1–15.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2003: FAOSTAT Agriculture Data. Statistics Division, FAO, Rome.

FORSTER, P., V. RAMASWAMY, P. ARTAXO, T. BERNTSEN, R. BETTS, D.W. FAHEY, J. HAYWOOD, J. LEAN, D.C. LOWE, G. MYHRE, J. NGANGA, R. PRINN, G. RAGA, M. SCHULZ and R. VAN DORLAND, 2007: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (S. SOLOMON, D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR and H.L. MILLER (Eds.)), Cambridge University Press, Cambridge.

FULLER, K.A., W.C. MALM and S.M. KREIDENWEIS, 1999: Effects of mixing on extinction by carbonaceous particles. *J. Geophys. Res.*, 104, D13, 15941–15954.

HANSEN, J., M. SATO, R. RUEDY, A. LACIS and V. OINAS, 2000: Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario. *P. Nat. Acad. Sci. USA*, 97, 9875–9880.

HOEK, G., B. BRUNEKREEF, S. GOLDBOHN, P. FISCHER and P.A. VAN DEN BRANDT, 2002: Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*, 360, 1203–1209.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2007: *Renewables in global energy supply*. An IEA fact sheet. IEA, Paris.

JACOBSON, M.Z., 2001: Strong radiative heating due to the mixing state of

- black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 409, 6821, 695–697.
- JACOBSON, M.Z., 2002: Analysis of aerosol interactions with numerical techniques for solving coagulation, nucleation, condensation, dissolution, and reversible chemistry among multiple size distributions. *J. Geophys. Res.*, 107, 4366, doi:10.1029/2001JD002044.
- JACOBSON, M.Z., 2007: Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 4150–4157.
- LADEN, F., L.M. NEAS, D.W. DOCKERY and J. SCHWARTZ, 2000: Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environ. Health Persp.*, 108, 941–947.
- MCDONALD, J.D., I. EIDE, J. SEAGRAVE, B. ZIELINSKA, K. WHITNEY, D.R. LAWSON and J.L. MAUDERLY, 2004: Relationship between composition and toxicity of motor vehicle emission samples. *Environ. Health Persp.*, 112, 1527–1538.
- MCDOW, S.R. and J.J. HUNTZICKER, 1990: Vapor adsorption artifact in the sampling of organic aerosol: face velocity effects. *Atmos. Environ.* 24A, 2563–2571.
- METZGER, K.B., P.E. TOLBERT, M. KLEIN, J.L. PEEL, W.D. FLANDERS, K. TODD, J.A. MULHOLLAND, P.B. RYAN and H. FRUMKIN, 2004: Ambient air pollution and cardiovascular emergency department visits. *Epidemiology*, 15, 46–56.
- RAMANATHAN, V. and G. CARMICHAEL, 2008: Global and regional change due to black carbon. *Nature Geosci.*, 1, 221–227.
- ROBINSON, A.L., N.M. DONAHUE, M.K. SHRIVASTAVA, E.A. WEITKAMP, A.M. SAGE, A.P. GRIESHOP, T.E. LANE, J.R. PIERCE and S.N. PANDIS, 2007: Rethinking organic aerosols: semivolatile emissions and photochemical aging. *Science*, 315, 1259–1262.
- SAARIKOSKI, S., M. SILLANPÄÄ, M. SOFIEV, H. TIMONEN, K. SAARNIO, K. TEINILÄ, A. KARPPINEN, J. KUKKONEN and R. HILLAMO, 2007: Chemical composition of aerosols during a major biomass burning episode over northern Europe in spring 2006: Experimental and modelling assessments. *Atmos. Environ.*, 41, 3577–3589.
- SCHMID, H., L. LASKUS, H.J. ABRAHAM, U. BALTENSPERGER, V. LAVANCHY, M. BIZJAK, P. BURBA, H. CACHIER, D. CROW, J. CHOW, T. GNAUK, A. EVEN, H.M. TEN BRINK, K.P. GIESEN, R. HITZENBERGER, E. HUEGLIN, W. MAENHAUT, C. PIO, A. CARVALHO, J.P. PUTAUD, D. TOOMSAUNTRY and H. PUXBAUM, 2001: Results of the “carbon conference” international aerosol carbon round robin test stage 1. *Atmos. Environ.*, 35, 2111–2121.
- SCHNAITER, M., C. LINKE, O. MÖHLER, K.-H. NAUMANN, H. SAATHOFF, R. WAGNER, U. SCHURATH and B. WEHNER, 2005: Absorption amplification of black carbon internally mixed with secondary organic aerosol. *J. Geophys. Res.*, 110, D19204, doi:10.1029/2005JD006046.
- SCIARE, J., K. OIKONOMOU, O. FAVEZ, E. LIAKAKOU, Z. MARKAKI, H. CACHIER and N. MIHALOPOULOS, 2008: Long-term measurements of carbonaceous aerosols in the Eastern Mediterranean: evidence of long-range transport of biomass burning. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 5551–5563.
- SHARMA, S., E. ANDREWS, L.A. BARRIE, J.A. OGREN and D. LAVOUÉ, 2006: Variations and sources of the equivalent black carbon in the high Arctic revealed by long-term observations at Alert and Barrow: 1989–2003. *J. Geophys. Res.*, 111, D14208, doi:10.1029/2005JD006581.
- SPENCER, M.T., J.C. HOLECEK, C.E. CORRIGAN, V. RAMANATHAN and K.A. PRATHER, 2008: Size-resolved chemical composition of aerosol particles during a monsoonal transition period over the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 113, D16305, doi:10.1029/2007JD008657.
- STOHL, A., T. BERG, J.F. BURKHART, A.M. FJÆRAA, C. FORSTER, A. HERBER, Ø. HOV, C. LUNDER, W.W. McMILLAN, S. OLTMANS, M. SHIOBARA, D. SIMPSON, S. SOLBERG, K. STEBEL, J. STRÖM, K. TØRSETH, R. TREFFEISEN, K. VIRKKUNEN and K.E. YTTRI, 2007: Arctic smoke—record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 511–534.
- STOHL, A., E. ANDREWS, J.F. BURKHART, C. FORSTER, A. HERBER, S.W. HOCH, D. KOWAL, C. LUNDER, T. MEFFORD, J.A. OGREN, S. SHARMA, N. SPICHTINGER, K. STEBEL, R. STONE, J. STRÖM, K. TØRSETH, C. WEHRLI and K.E. YTTRI, 2006: Pan-Arctic enhancements of light absorbing aerosol concentrations due to North American boreal forest fires during summer 2004. *J. Geophys. Res.*, 111, D22214, doi:10.1029/2006JD007216.
- STONE, E.A., G.C. LOUGH, J.J. SCHAUER, P.S. PRAVEEN, C.E. CORRIGAN and V. RAMANATHAN, 2007: Understanding the origin of black carbon in the atmospheric brown cloud over the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 112, D22S23, doi:10.1029/2006JD008118.
- SZIDAT, S., T.M. JENK, H.-A. SYNAL, M. KALBERER, L. WACKER, I. HAJDAS, A. KASPER-GIEBL and U. BALTENSPERGER, 2006: Contributions of fossil fuel, biomass burning, and biogenic emissions to carbonaceous aerosols in Zürich as traced by ¹⁴C. *J. Geophys. Res.*, 111, D07206, doi:10.1029/2005JD006590.
- WHO, 2002: *The World Health Report: reducing risks, promoting healthy life*. WHO, Geneva, Switzerland.
- WHO, 2006: *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment*. WHO, Geneva.
- WINIWARTER, W., H. BAUER, A. CASEIRO and H. PUXBAUM, 2008(a): Quantifying emissions of primary biological aerosol particle mass in Europe. *Atmos. Environ.*, doi:10.1016/j.atmosenv.2008.01.037 (in press).
- WINIWARTER, W., A. NYÍRI, K. MARECKOVA, R. WANKMÜLLER, H. BAUER, A. CASEIRO and H. PUXBAUM, 2008(b): PM emissions, status 2006. In: *Transboundary particulate matter in Europe. Status report 2008*. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research (EMEP Report 4/2008), 35–42.
- YTTRI, K.E., W. AAS, A. BJERKE, J.N. CAPE, F. CAVALLI, D. CEBURNIS, C. DYE, L. EMBLICO, M.C. FACCHINI, C. FORSTER, J.E. HANSEN, H.C. HANSSON, S.G. JENNINGS, W. MAENHAUT, J.P. PUTAUD and K. TØRSETH, 2007: Elemental and organic carbon in PM₁₀: a one year measurement campaign within the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5711–5725.

Влияние атмосферных осадений в океан на морские экосистемы и климат

Роберт А. Дьюс¹, Джеймс Н. Гэллоуэй² и Питер С. Лисс³

Введение

Перенос химических веществ из атмосферы в океан в течение долгого времени оказывал влияние на океан (это и источник питательных веществ, и влияние на pH). С появлением эпохи антропоцена перенос некоторых химических веществ оказался выше естественного уровня, и к ним присоединились новые химические вещества. В этом кратком обзоре рассматривается влияние увеличения переноса некоторых питательных веществ (азот, железо и фосфор), токсинов (свинец и ртуть) и регуляторов pH (двуокись углерода) на морские экосистемы и климат.

Эта тема исследуется уже свыше 100 лет, причем в ранних статьях основное внимание уделялось двуокиси углерода (Bolin, 1960). Пристальное внимание начали уделять некоторым веществам в конце 1960-х и в 1970-х гг. (Murozumi et al., 1969; Goldberg, 1971). Объединенная группа экспертов ООН по научным аспектам охраны морской среды (ГЕЗАМП) выпустила ряд обзоров, где этой теме было уделено большое внимание (GESAMP, 1989; Duce et al., 1991). В двух дополнительных отчетах ГЕЗАМП (GESAMP, 1991; GESAMP, 1995) прослеживается связь выпадений на поверхность океана с глобальными изменениями

...В океане не осталось мест, которые не подверглись воздействию деятельности человека...Это воздействие в будущем будет расти вследствие продолжающегося увеличения численности населения и использования ресурсов на душу населения.

(Liss and Duce, 1997). ВМО с самого начала поддерживала ГЕЗАМП, и в настоящее время посредством программы Глобальной службы атмосферы возглавляет работу по разработке интегрированной базы данных о переносе химических веществ из атмосферы в океан (www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gesamp.html). Для исследования всей проблемы атмосферных выпадений химических веществ в океан недавно была создана новая рабочая группа ГЕЗАМП (№38, при поддержке ВМО, Международной морской организации, Научного комитета по исследованию океана Международного совета по науке и Шведского агентства по международному сотрудничеству и развитию).

Несколько факторов определяют интенсивность атмосферных осадений, способных повлиять на био-геохимические процессы в той или

иной части океана. К трем важным факторам относятся реакционная способность выпадающего вещества, время пребывания химического вещества в атмосфере и характеристики атмосферного переноса относительно источников загрязнения, т.е. мест выброса химического вещества, продолжительность его пребывания в атмосфере и характер его поведения при переносе в океан. Эти факторы будут рассматриваться в следующих разделах.

Время пребывания загрязняющего вещества в атмосфере, вероятно, является наиболее важным фактором для определения того, будет ли иметь место значительный перенос загрязняющего вещества в открытые районы океана. Если время пребывания вещества в атмосфере невелико, т.е. несколько дней, перенос вещества будет иметь масштаб от локального до регионального. Перенос веществ, время пребывания которых составляет несколько недель, может иметь масштаб полушария, а вещества со временем пребывания более одного или двух лет распространяются в глобальном масштабе.

- 1 Факультеты океанографии и атмосферных наук, Техасский университет, Колледж стэйшен, TX 77845 США.
- 2 Факультет наук об окружающей среде, Университет шт. Виргиния, Шарлотсвилль, шт. Виргиния, 22904 США.
- 3 Школа наук об окружающей среде, Университет Восточной Англии, Норвич NR4 7TJ, Соединенное Королевство.

Вещества в виде частиц, такие, как большинство тяжелых металлов и пыль, будут иметь сравнительно короткое время пребывания (от нескольких дней до нескольких недель), и их вынос за счет влажного или сухого осаждения на поверхность океана будет в основном иметь локальный или региональный масштаб для наземных источников вблизи береговой линии, а для источников на судах – поблизости от основных морских путей. Это также относится к химически активным газам с коротким временем пребывания. Газы длительного времени пребывания, такие, как двуокись углерода и некоторые стойкие органические загрязнители (СОЗ), время пребывания которых в атмосфере составляет несколько десятилетий, распространяются по всему миру более равномерно и их поступление в океан, как правило, не зависит от распределения их источников.

Перенос питательных веществ в океан

Железо и пыль

Железо (Fe) является важным питательным микроэлементом для морских фотосинтезирующих микроорганизмов, и именно оно ограничивает первичную биологическую продуктивность на 30% поверхности океана, главным образом в Южном океане (Martin, 1990). Первоисточником железа в открытом океане является атмосферное осаждение, поскольку большие поступления железа из рек в океан перемещаются в отложения вблизи побережья (Jickells et al., 2005; Mahowald et al., 2005). Железо содержится главным образом в земной минеральной пыли из засушливых районов.

Повышенному интересу к железу мы обязаны Мартину (Martin, 1990), который предположил, что в прошедшие периоды, когда большое количество минеральной пыли (и, следовательно, железа) переносилось к океану, вызванное этим повышение морской биологической продуктивности привело к дополнительному уменьшению содержания двуокиси углерода в атмосфере, оказывая тем самым влия-

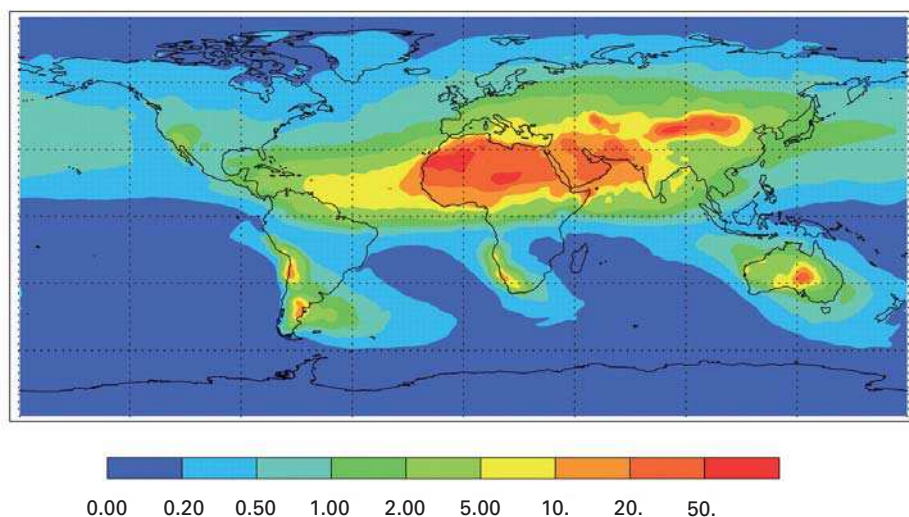


Рисунок 1 – Среднее атмосферное осаждение пыли ($\text{г см}^2/\text{год}$) (Источник: Jickells et al., 2005)

ние на климат. Пустыни и засушливые районы в настоящее время занимают около 1/3 земной поверхности. Эти районы очень чувствительны к изменению климата и другим глобальным изменениям, которые могут повлиять на поток минеральных частиц от поверхности суши в атмосферу. На рис.1 показано глобальное атмосферное осаждение пыли.

Железо присутствует в океане в очень низких концентрациях благодаря его низкой растворимости в насыщенной кислородом воде. С биогеохимической точки зрения оно является растворенным железом, используемым в качестве питательного вещества. Содержание железа в почвенной пыли в среднем составляет ~3,5%, но растворимость такого железа очень низка: в морской воде она обычно составляет от 1 до 2%. Однако измерение растворимости железа в пробах минеральных аэрозолей указывает на более высокую растворимость, возможно, за счет изменений, происходящих в аэрозоле, по мере его переноса через океан (Jickells and Spokes, 2001).

К факторам, от которых зависит растворимость аэрозолей железа, относятся фотохимия, а именно фотовосстановление Fe III в Fe II, и кислая среда минерального аэрозоля, воздействующая на железо в период существования аэрозольного облака (Jickells and Spokes, 2001). Известно, что эмиссия кислотных предшественников, таких, как двуокись серы и окись азота, увеличилась в результате антропогенной деятельности более

чем в два раза, и ожидается, что эмиссия окиси азота будет продолжать расти (Dentener et al., 2006).

Диаметр частиц минеральной пыли составляет от 0,1 до 10 мкм, а средний диаметр – ~ 2 мкм. Продолжительность жизни этих частиц позволяет им переноситься на тысячи километров и затем выпадать в океан (рис.1). Образование, перенос и осаждение пыли в океаны зависит от климатических факторов, которые влияют на подъем пыли, скорость ветра и осадки (которые важны для перемещения частиц). Предполагается, что за счет деятельности человека образование атмосферной пыли увеличилось на 50% (Mahowald, Engelstaedter et al., 2009).

Предположение Мартина (1990) о том, что железо является лимитирующим питательным веществом на больших пространствах океана, привело к серии мезомасштабных экспериментов с железом для проверки этой гипотезы. Как отметили Boyd et al. (2007), эти эксперименты «показали, что запас железа регулирует “цветение воды”, вызванное массовым развитием планктона, которое в свою очередь, влияет на биогеохимические циклы углерода, азота, кремния и серы и в конечном счете влияет на климатическую систему Земли».

Азот и фосфор

Все организмы на Земле нуждаются в азоте, но менее 1% всех биологичес-

ких видов способны преобразовывать обычный молекулярный азот (N_2) в биологически доступный и химически активный азот (N_f). Из-за дефицита азота он часто является лимитирующим питательным веществом для пахотных земель, лесов и пастбищ, а также для экосистем прибрежного и открытого океана. В сущности, люди решили проблему дефицита азота за счет производства азотных удобрений. Хотя большая часть азота, используемого в пищевой промышленности, и весь химически активный азот, образующийся при сжигании ископаемого топлива, потеряны для окружающей среды, однако имеется значительная утечка химически активного азота в неуправляемые системы, включая земную и морскую экосистемы.

Атмосфера является наиболее важным фактором распространения антропогенного химически активного азота в глобальной окружающей среде. В середине 1990-х гг. около 40% антропогенного химически активного азота выпускалось в атмосферу. К 2050 году его количество возрастет до 50%. Таким образом, за исключением прибрежных экосистем (где реки являются важным источником химически активного азота), атмосферное осаждение является основным процессом, поставляющим антропогенный химически активный азот для неуправляемых земных и морских экосистем (Galloway et al., 2008).

Не удивительно, что атмосферное осаждение химически активного азота значительно увеличилось с возникновением индустриальной эпохи и интенсивным ведением сельского хозяйства. В 1860 году осаждение химически активного азота на большую часть океана составляло <50 мг на

м²/год при весьма незначительном количестве районов, где это количество составляло >200 мг на м²/год. Большая часть осадений в океан имела естественное происхождение; антропогенные источники оказывали влияние лишь на несколько прибрежных районов. К 2000 году осаждение на больших пространствах океана превысило 200 мг на м²/год, а во многих районах достигло >700 мг на м²/год. Интенсивные шлейфы осаждающегося азота перенеслись с ветром на большие расстояния от крупных населенных центров Азии, Индии, Северной и Южной Америки, обогнули Европу и западную часть Африки (рис.2) (Duce et al., 2008).

В настоящее время атмосферное осаждение химически активного азота приближается к связыванию молекулярного азота в результате значительного увеличения антропогенной составляющей. Растущим количеством атмосферного антропогенного связанного азота, поступающего в открытый океан, можно объяснить почти треть запаса внешнего (нерециклированного) азота в океане и до ~ 3% годовой вновь образованной морской биологической продукции, ~ 0,3 пиктограмм углерода в год. Этот фактор обуславливает производство ~ 1,6 тераграмм закиси азота в год. Хотя почти 10-процентное сокращение атмосферной антропогенной двуокиси углерода в океане может быть связано с присутствием атмосферного азота, что приводит к уменьшению радиационного воздействия, до двух третей этого количества может компенсироваться увеличением эмиссии закиси азота, которая является парниковым газом. Исходя из будущих сценариев относительно антропогенной эмиссии, к 2030 году

вклад атмосферного антропогенного химически активного азота в первичную продукцию может приблизиться к современным оценкам связывания закиси азота в глобальном масштабе (Duce et al., 2008).

Помимо азота и железа, фосфор (P) также может быть лимитирующим питательным веществом в открытом океане. Последний обзор (Mahowald, Jickells et al., 2009) предполагает суммарную потерю общего фосфора, обусловленную земными экосистемами, и суммарное увеличение общего фосфора за счет океана (560 Гг P/год). Минеральные аэрозоли являются основным источником общего фосфора в глобальном масштабе (82%), при этом первичные биогенные частицы (12%) и источники горения (5%) играют важную роль в районах, где нет пыли. Глобально осредненные поступления в океан антропогенных фосфора и фосфатов оцениваются, соответственно, ~ 5 и 15%, и их вклад в отложения в олиготрофном океане, где продуктивность может ограничиваться фосфором, может достигать 50%. Mahowald, Jickells et al. (2009) также полагают, что более интенсивное поступление антропогенного азота в океан может привести к тому, что некоторые морские районы с дефицитом азота перейдут в разряд районов с дефицитом фосфора.

Перенос токсичных металлов в океан

Свинец

В результате деятельности человека в атмосферу поступает большое

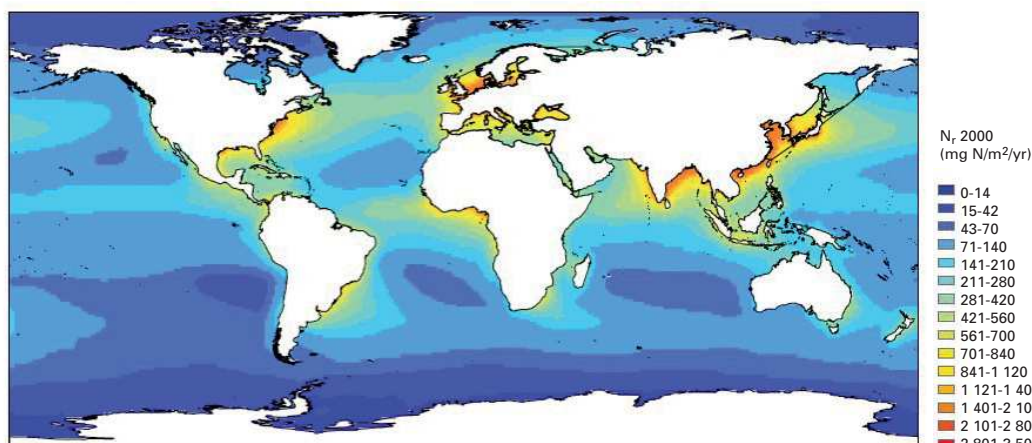


Рисунок 2 – Общее атмосферное осаждение химически активного азота в 2000 году в мг м²/год (Источник: Duce et al., 2008)

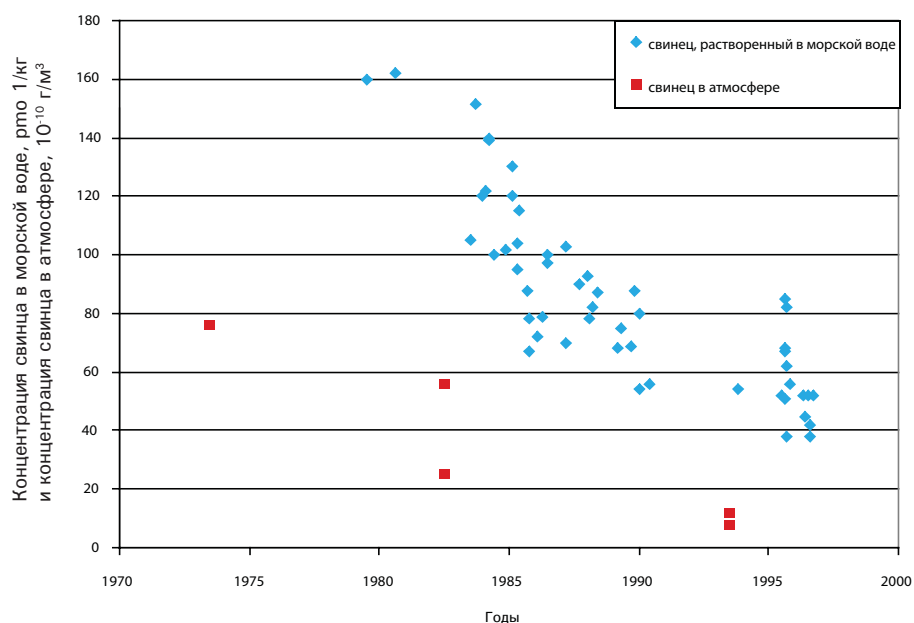


Рисунок 3 – Изменение концентраций свинца в атмосфере и океане с 1970-х гг. до конца 1990-х гг. вблизи Бермудских островов (Источник: Duce, 2001 с использованием данных Huang et al., 1996 и Wu and Boyle, 1997)

количество свинца (Pb), токсичного тяжелого металла. Свинец в составе мельчайших частиц размером менее микрометра может переноситься на тысячи километров, прежде чем осядет в океане. Важными источниками атмосферного свинца являются плавильные печи и другие промышленные процессы, но до недавнего времени основным его источником являлось сжигание топлива, содержащего тетраэтилсвинец. Атмосферное осаждение антропогенного свинца привело к заметному увеличению его концентраций в поверхностном слое океана.

Хотя это явление наиболее заметно в Северной Атлантике, еще 20–30 лет назад его можно было наблюдать в южной части Тихого океана (Patterson and Settle, 1987). Свинец – один из немногих металлов, атмосферное осаждение которого оказало заметное влияние на его концентрацию в поверхностном слое океана. Однако благодаря удалению свинца из автомобильного топлива его поступление в океан значительно снизилось за последние 20–30 лет (Huang et al., 1996; Wu and Boyle, 1997). На рис. 3 показаны концентрации свинца в атмосфере и поверхностном слое океана вблизи Бермудских островов в период с начала 1970-х гг. до 2000 года. Уменьшение свинца в атмосфере сопровождается таким же уменьшением его в поверхностном

слое океана. Подобные результаты получены вблизи Гавайских островов. В силу кратковременного пребывания свинца в океане (примерно 10–20 лет), изменения в атмосферном притоке сравнительно быстро проявляются в его концентрациях в поверхностных водах.

Ртуть

В настоящее время установлено, что атмосферное осаждение является основным источником ртути (Hg) в океане (Mason and Scheu, 2002). Большая часть атмосферной ртути присутствует в виде газообразной элементарной ртути, хотя находят и газообразные ионы ртути. Основная форма ртути, осаждающейся в океан, представляет собой двухвалентную ионную ртуть (Hg^{2+}) в дождевых осадках, но важно сухое осаждение газообразных ионов ртути (Fitzgerald et al., 2007). По оценке, за последние 200 лет в результате деятельности человека количество атмосферной ртути во всем мире увеличилось в пять раз, что привело к увеличению поступления ртути в океан за этот период (Slemr and Langer, 1992). В отношении атмосферной ртути деятельность человека играет более важную роль, чем земные природные источники. Однако в некоторых районах поступление ртути в океан в настоящее время может снижаться: имеются данные о том, что в водном

столбе верхнего слоя океана возле Бермудских островов концентрация ртути, возможно, снизилась почти в два раза за период 1979–2000 гг. (Mason and Gill, 2005).

Ртуть весьма токсична, и имеется ряд доказательств ее токсичности в прибрежных районах, начиная с печально известного случая в заливе Минамата. Хотя и нет доказательств того, что ртуть в поверхностных водах открытого океана оказала какое-либо токсичное влияние, собрано значительное количество данных о том, что некоторые виды рыб в открытом океане накапливают столько ртути, что эта рыба становится опасной для человека при частом употреблении в пищу. Учитывая биоаккумуляцию ртути в рыбе, необходимы дополнительные данные о скорости ее осаждения и о роли человека в этом процессе.

Двуокись углерода и подкисление океанских вод

По мере повышения уровня двуокиси углерода (CO_2) в атмосфере за счет деятельности человека повышается и количество растворенной двуокиси углерода в океане. С возникновением эпохи индустриализации почти половина антропогенной двуокиси углерода, поступающей в атмосферу, растворилась в океане. Поскольку pH морской воды (около $8,2 \pm 0,3$) определяется балансом между растворенными щелочными веществами, поступающими в океан благодаря эрозии почвы, и растворенной атмосферной двуокисью углерода (что создает кислотность или ионы водорода (H^+) в воде), увеличение двуокиси углерода в атмосфере повысит кислотность морской воды. Концентрация ионов углекислой соли (карбоната) (CO_3^{2-}) будет падать, и организмам будет труднее формировать свои панцири или раковины из карбоната кальция ($CaCO_3$), поскольку им необходимо пересыщение, которое обеспечивает концентрация ионов углекислой соли.

С возникновением эпохи индустриализации подсчитали, что pH поверхности океана снизился на 0,1 единиц pH, что соответствует 30-процентному повышению концентрации

ионов водорода. Предполагая, каким будет в будущем уровень атмосферной двуокиси углерода, можно подсчитать, что в конце текущего столетия pH поверхностных морских вод снизится на 0,5 единиц pH, что будет соответствовать 300-процентному увеличению концентрации ионов водорода, по сравнению с доиндустриальной эпохой.

Такое увеличение выходит далеко за пределы вышеупомянутого природного изменения, и прогнозируемые значения pH, вероятно, ниже тех, которые наблюдались в течение нескольких сотен тысяч лет, а может быть, и дольше. Более того, скорость увеличения количества ионов водорода значительно выше, по сравнению с какими-либо процессами, происходившими в океане за этот период (Royal Society, 2005). Учитывая столь значительное и быстрое изменение кислотно-щелочного баланса морской воды, каковы могут быть последствия для биологической жизни, морской экологии и биогеохимических обратных связей, включая саму способность океана поглощать антропогенную окись углерода?

Кораллы служат ярким примером широко распространенных организмов, выделяющих карбонат

кальция, и весьма вероятно, что на них пагубно повлияет уменьшение количества ионов карбоната в среде с более высокой концентрацией двуокиси углерода. Это усугубит влияние повышенной температуры морской воды, которое уже испытывают на себе кораллы в тропических водах. Кроме того, микроскопический фитопланктон, состоящий из карбоната кальция (который широко распространен в океане), также будет в невыгодном положении (рис. 4). В отличие от него планктон, формирующий свою структуру за счет связывания углерода, может получить много пользы от наличия дополнительного углерода в связи с увеличением количества двуокиси углерода. Это может относиться к некоторым организмам, выделяющим карбонат, согласно последнему исследованию (Iglesias-Rodriguez et al., 2008), в котором доказана повышенная аккумуляция кальция в одном виде фитопланктона при пониженном значении pH в морской воде. Любые эффекты, вероятно, наиболее ярко выражены в Южном океане, где низкая температура воды способствует более активному растворению двуокиси углерода. Ясно, что организмы будут реагировать и/или различным образом адаптироваться к пониженным значениям

pH, так что повышенная кислотность почти наверняка вызовет изменения в морском биоразнообразии.

Может также меняться способность океана поглощать двуокись углерода, поскольку повышение кислотности вызывает уменьшение количества ионов карбоната, благодаря которым морская вода обладает природной способностью поглощать двуокись углерода. Таким образом, двуокись углерода, поступающая в атмосферу, будет меньше поглощаться океаном, и здесь прослеживается потенциально важная обратная связь с глобальным потеплением. На другие газы, которые важны для климата и качества воздуха, такие, как диметилсульфид и органогалогенные соединения, также могут влиять связанные с pH изменения микроорганизмов в приповерхностной морской воде, которые образуют эти соединения.

Такие кислые газы, как окислы серы и азота, образуются в результате сжигания ископаемого топлива. Как и двуокись углерода, они растворяются в воде, образуя кислые растворы – в самом деле они являются более сильными кислотообразующими соединениями. Doney et al. (2007) провели модельный эксперимент для оценки роли двуокиси углерода по сравнению с окислами серы и азота и пришли к выводу, что для глобального океана двуокись углерода значительно перевешивает два других окисла.

Геотехнические проекты (например, зеркала в космосе, ввод частиц в стратосферу), призванные замедлить изменение климата, не смогут решить проблему подкисления океана. Единственный реалистичный путь ее решения состоит в уменьшении количества двуокиси углерода, выбрасываемого в атмосферу. Хотя связь между физико-химическим фактором и ролью двуокиси углерода в морской воде легко просматривается, влияние уменьшения pH на биологическую жизнь в океане и обратные связи с глобальной системой далеко не ясны. Поэтому эта тема срочно требует дальнейшего исследования. В настоящее время осуществляется и в скором времени будет инициировано несколько крупных программ исследований.

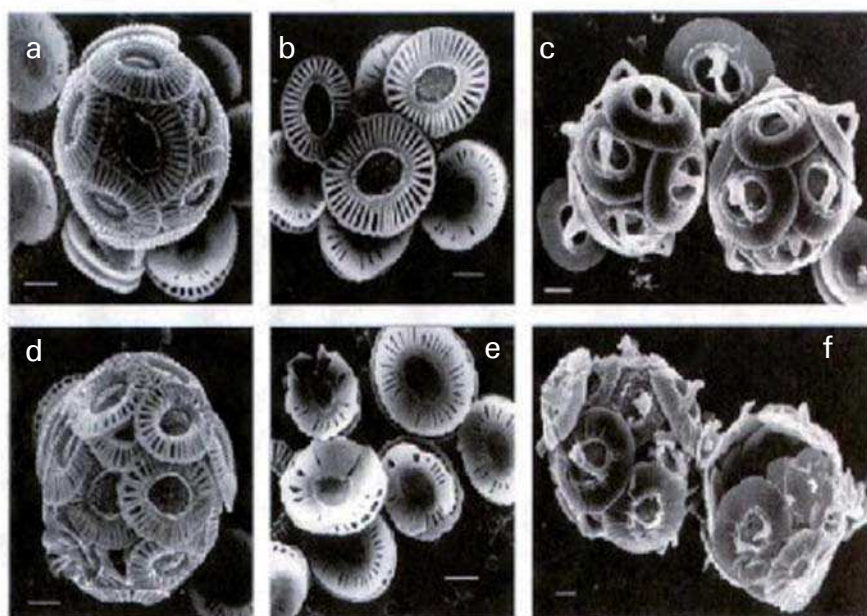


Рисунок 4 – Изображения кокколитофоридов, выращенных в условиях низкого и высокого содержания двуокиси углерода в соответствии с уровнем двуокиси углерода около 300 ppmv (частей на миллион по объему) (a–c) и 780–850 ppmv (d–f). Изображения получены с помощью растрового электронного микроскопа. Обратите внимание на разницу в структуре кокколита (включая неправильное формирование) и в степени аккумуляции кальция у клеток, выращенных при нормальном и повышенном уровнях двуокиси углерода (Источник: Riebesell et al., 2000)

Заключение

Проблема атмосферного переноса химических веществ в океан исследуется более ста лет. С течением времени обнаружено, что атмосфера является важным источником питательных веществ, токсинов и кислот. Мы также обнаружили, что ни один регион океана не может избежать влияния деятельности человека, и что это влияние в будущем будет расти по мере продолжающегося увеличения численности населения и использования ресурсов на душу населения.

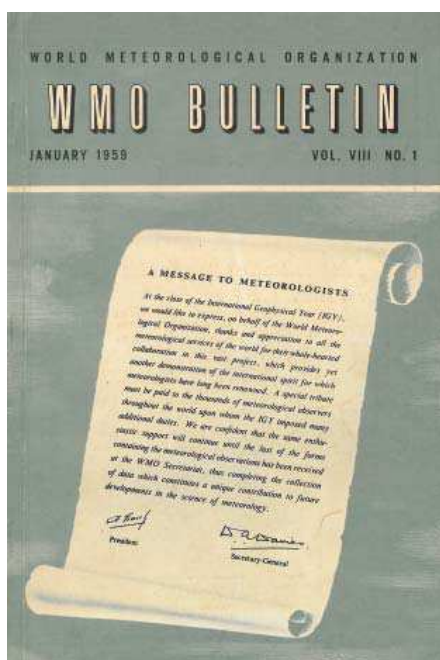
Литература

- BOLIN, B., 1960: On the exchange of carbon dioxide between the atmosphere and the sea, *Tellus*, 12, 274–281.
- BOYD, P.W., T. JICKELLS et al., 2007: Mesoscale iron enrichment experiments 1993–2005: Synthesis and future directions, *Science*, 315, 612, doi: 10.1126/science.1131669.
- DENTENER, F., J. DREVET et al., 2006: Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation, *Global Biogeochem. Cycles*, 20, GB4003, doi:10.1029/2005GB002672.
- DONEY, S.C., N. MAHOWALD et al., 2007: Impact of anthropogenic atmospheric nitrogen and sulfur deposition on ocean acidification and the inorganic carbon system, *Proc. National Academy of Sciences*, 104, 14580–14585.
- DUCE, R.A., 2001: Atmospheric input of pollutants, *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Academic Press, New York, 192–201.
- DUCE, R.A., P.S. LISS et al., 1991: The atmospheric input of trace species to the world ocean, *Global Biogeochemical Cycles*, 5, 193–259.
- DUCE, R.A., J. LAROCHE et al., 2008: Impacts of atmospheric nitrogen on the open ocean, *Science* 320, 893–897.
- FITZGERALD, W.F., C.H. LAMBORG and C.R. HAMMERSCHMIDT, 2007: Marine biogeochemical cycling of mercury, *Chem. Rev.*, 107, 641–662.
- GALLOWAY, J.N., A.R. TOWNSEND et al., 2008: Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions and potential solutions, *Science*, 320, 889–892.
- GESAMP, 1989: The atmospheric input of trace species to the world ocean, Rep. Stud., GESAMP 38, 111 pp.
- GESAMP, 1991: Global changes and the air/sea exchange of chemicals, Rep. Stud., GESAMP 48, 69 pp.
- GESAMP, 1995: The sea-surface microlayer and its role in global change, Rep. Stud., GESAMP 59, 76 pp.
- GOLDBERG, E.D., 1971: Atmospheric dust, the sedimentary cycle and man, *Comments in Geophysics: Earth Sci.* 1, 117–132.
- HUANG, S., R. ARIMOTO and K. RAHN, 1996: Changes in atmospheric lead and other pollution-derived trace elements at Bermuda, *J. Geophys. Res.*, 101, 21033–21040.
- IGLESIAS-RODRIGUEZ, M.D. et al., 2008: Phytoplankton calcification in a high-CO₂ world, *Science*, 320, 336–240.
- JICKELLS, T.D. and L. SPOKES, 2001: *Atmospheric iron inputs to the ocean, in Biogeochemistry of Iron in Seawater* (D. Turner and K.A. Hunter (Eds.)), John Wiley, Hoboken, New Jersey, 85–121.
- JICKELLS, T., Z.S. AN et al., 2005: Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry and climate, *Science*, 308, 67–71.
- LISS, P.S. and R.A. DUCE (Eds.), 1997: *The Sea Surface and Global Change*, Cambridge University Press, 519 pp.
- MAHOWALD, N., A.R. BAKER et al., 2005: Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean, *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB4025, doi:10.1029/2004GB002402.
- MAHOWALD, N., S. ENGELSTAEDTER et al., 2009: Atmospheric iron deposition: global distribution, variability and human perturbations, *Annual Review of Marine Science*, 1, 248–278.
- MAHOWALD N., T.D. JICKELLS et al., 2009: The global distribution of atmospheric phosphorus sources, concentrations and deposition rates and anthropogenic impacts, *Global Biogeochemical Cycles* (in press).
- MARTIN, J.H., 1990: Glacial-interglacial CO₂ change: The iron hypothesis, *Paleoceanography*, 5, 1–13.
- MASON, R. P. and G.A. GILL, 2005: Mercury in the marine environment. In: *Mercury: Sources, Measurements, Cycles and Effects* (M.B. PARSONS and J.B. PERCIVAL (Eds.)). Mineralogical Association of Canada, 2005; Vol. 34, Chapter 10.
- MASON, R. P. and G.R. SHEU, 2002: Role of the ocean in the global mercury cycle, *Global Biogeochem. Cycles*, 16 (<http://dx.doi.org/10.1029/2001GB001440>).
- MUROZUMI, N., T.J. CHOW and C.C. PATTERSON, 1969: Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, 1247–1294.
- PATTERSON, C.C. and D. SETTLE, 1987: Review of data on eolian fluxes of industrial and natural lead to the lands and seas in remote regions on a global scale, *Marine Chemistry*, 22, 137–1620.
- RIEBESELL, U., I. ZONDERVAN et al., 2000: Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂, *Nature*, 407, 634–637.
- ROYAL SOCIETY, 2005: Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy Document 12/05, Royal Society, London, 60 pp.
- SLEMR, F. and E. LANGER, 1992: Increase in global atmospheric concentrations of mercury inferred from the measurement over the Atlantic Ocean, *Nature*, 355, 434–437.
- WU, J. and E.A. BOYLE, 1997: Lead in the western North Atlantic Ocean: Completed response to leaded gasoline phaseout, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 3279–3283.

50 лет назад ...

A MESSAGE TO METEOROLOGISTS

At the close of the International Geophysical Year (IGY), we would like to express, on behalf of the World Meteorological Organization, thanks and appreciation to all the meteorological services of the world for their whole-hearted collaboration in this vast project, which provides yet another demonstration of the international spirit for which meteorologists have long been renowned. A special tribute must be paid to the thousands of meteorological observers throughout the world upon whom the IGY imposed many additional duties. We are confident that the same enthusiastic support will continue...



ПОСЛАНИЕ МЕТЕОРОЛОГАМ

В завершение Международного геофизического года (МГГ) от имени Всемирной метеорологической организации выражаем благодарность всем метеорологическим службам мира за искреннее сотрудничество в этом огромном проекте, которое является еще одним свидетельством международной солидарности метеорологов. Особого уважения заслуживают тысячи наблюдателей-метеорологов во всем мире, на которых в связи с МГГ было возложено множество дополнительных обязанностей. Мы уверены, что этот энтузиазм сохранится до тех пор, пока Секретариат ВМО не получит последнюю сводку метеорологических наблюдений, завершая тем

самым сбор данных, вносящих уникальный вклад в будущее развитие науки метеорологии.

А. Вио, Президент

Д.А. Дэвис, Генеральный секретарь

Содержание

В январском номере Бюллетеня ВМО за 1959 год содержались следующие статьи: «ВМО и развитие метеорологии», «Метеорологические проблемы в области атомной энергии», «Прибор для счета локальных вспышек молнии», «Всемирная метеорология: прошлое и будущее» и «Новое океанское метеорологическое судно». В нем также описаны вторая сессия Комиссии по сельскохозяйственной метеорологии, сотрудничество с другими международными организациями, Международный геофизический год, деятельность региональных ассоциаций и технических комиссий и оказание технической помощи.

ВМО и развитие метеорологии

Достижения, сохраняющие свою важность на долгие годы

Несмотря на относительно скромный бюджет, огромные задачи, поставленные перед ВМО, успешно выполнены благодаря огромным усилиям со сто-

роны стран-членов, работоспособности и великодушию наших экспертов и усердной работе. Неослабевающую преданность своему долгу показали сотрудники Секретариата под руководством сейчас уже покойного Г. Свободы, благодаря которому важный переход от бывшей ММО прошел без сучка и задоринки, а в дальнейшем руководство перешло к активному Д.А. Дэвису.

К счастью, все эти усилия не оказались напрасными. К многочисленным достижениям, которыми по праву гордится ВМО, относятся следующие:

- Создание технических норм, которые, благодаря сравнению данных барометров и радиозондов, вносят вклад в универсальную стандартизацию метеорологических процедур и практических методов.
- Публикация большого количества технических заметок и Атласа облачности, успех которых превзошел все наши ожидания.
- Работа по непрерывному усовершенствованию сетей наблюдений и каналов передачи данных, эффективность и регулярность которой служила примером для других отраслей науки, где лишь спустя длительное время стали переходить от лабораторной стадии к синоптической.
- Международное сотрудничество в области аридных зон и развития водных ресурсов.

Полную версию статьи «50 лет назад» можно найти в электронном варианте Бюллетеня ВМО: http://www.wmo.int/pages/publications/bulletin_en/

- Крупномасштабное участие в программе Международного геофизического года, включая создание Центра метеорологических данных в Женеве.
- Постоянно растущее участие в Программе ООН по оказанию технической помощи.

Все эти достижения отвечают целям нашей Организации, наиболее важной из которых является «дальнейшее применение метеорологии в авиации, судоходстве, сельском хозяйстве и других сферах человеческой деятельности». Возможно, в ближайшем будущем более пристальное внимание следует уделять еще одной цели, а именно «поддерживать исследования и подготовку кадров в области метеорологии и содействовать координации международных аспектов этих исследований и подготовки».

Новые сферы деятельности

Между тем, Организация должна заниматься совершенно новыми важными проблемами, такими, как проблемы, связанные с использованием атомной энергии и вводом в эксплуатацию коммерческих реактивных самолетов. Благодаря сотрудничеству тех членов, которые готовы предоставлять услуги своих экспертов в этих областях, Исполнительный комитет может действовать своевременно и эффективно.

Вмешательство нашей Организации требовалось и в другой важной области – гидрологии, поскольку стала очевидной необходимость межправительственной координации гидрологических наблюдений и исследований во всем мире. Экономический и социальный совет ООН рекомендовал расширить обязанности ВМО с включением большей части этой области. ...Предварительное исследование, проведенное Секретариатом, показало, что многие страны-члены одобрили бы такой шаг, который бы подчеркнул важность и повысил престиж Организации

в данном вопросе. Окончательное решение должно быть принято на Третьем конгрессе.

Полагаю, что результаты, полученные ВМО, позволяют убедить страны-члены в том, что их вклад используется наилучшим образом. ...Ф.У. Рейчелдерфер вполне правомерно отметил, что «они [метеорологи] вынуждены заниматься своим делом при минимуме технических средств и недостаточном объеме информации и данных; в других физических науках эти условия считались бы не соответствующими разумным стандартам». Этот дух экономии, являющийся в некотором роде профессиональной характеристикой метеорологов, привел к тому, что ВМО стала среди международных организаций наиболее привлекательной для инвестиций.

Проблемы для будущего исследования

Мы можем по праву гордиться полученными результатами, но при этом мы должны убедиться в том, что это весьма похвальное желание экономии не приведет к пагубному «срезанию корки сыра». Если использовать анатомическую метафору, наша Организация может быть стройной, избегая при этом опасности стать слабой.

Это особенно важно в данный момент, поскольку сейчас метеорология переживает эволюцию, которая с течением времени однажды может стать революцией. Традиционные карты, показывающие изобары, фронты и воздушные массы, которые использовались до недавнего времени, сейчас дополняются контурными картами, которые в свою очередь могут частично заменяться картами тропопаузы и линий тока. Наши знания об общей циркуляции, струйном течении и структуре тропопаузы постоянно расширяются. Например, изучение высотных ветров между 20 и 40 км к северу от тропика Рака

показывает, что, кроме сезонных изменений восточных ветров, существуют изменения скорости и направления, которые заслуживают более пристального изучения для определения их причины и взаимосвязи с изменениями поля ветра, по крайней мере, до уровня тропопаузы. Кроме того, можно, вне всякого сомнения, подтвердить существование слоя со средней толщиной 7 км, находящегося на 2 км выше тропопаузы, в котором скорость ветра значительно уменьшается, а колебания температуры весьма малы. Поэтому в данном слое, при отсутствии облачности, а, возможно, и турбулентности, созданы идеальные условия для полетов будущих турбовинтовых самолетов на дальние расстояния. Таким образом, каждый день приносит новое подтверждение понятия взаимозависимости всех атмосферных явлений во всем мире.

Карты, подготавливаемые метеорологическими службами, прежде охватывали площади различной, но часто ограниченной территории. Сегодня вычерчивание карт полушарий станет частью повседневной работы, по крайней мере, в некоторых службах. В свою очередь, скоро в повседневную практику будет введено составление карт планеты.

Наряду с увеличением интенсивности метеорологической деятельности расширится и ее масштаб. Наблюдения за радиацией, озоном, химическим составом воздуха и радиоактивностью, которые до сих пор не получили широкого распространения, становятся все более важными; теперь их выполняют не на отдельных станциях, а на организованных сетях станций. Этой деятельности способствует Международный геофизический год, и будет жаль, если эти новые сети закроются.

Применение новых методов

Новые методы готовы внести ценный вклад в имеющееся множество данных. Пока еще преждевременно составлять полный перечень метеорологических данных, которые предполагается получить в результате внеатмосферных наблюдений с использованием ракет и искусственных спутников. Однако мы уже представляем, что измерения альбедо Земли, которые включают эти наблюдения, будут чрезвычайно ценными для метеорологов. Первые фотографии огромных участков облаков также открывают радужные перспективы.

Передача и применение такого огромного объема информации влекут за собой серьезные проблемы, решить которые можно за счет постоянно расширяющейся координации на международном уровне, которую может обеспечить лишь ВМО при наличии необходимых средств. Желательно, чтобы все метеорологические службы располагали своими сетями передачи данных. В таком случае они смогут напрямую и с минимальной задержкой получать основные синоптические данные, необходимые для непрерывной работы прогностических подразделений, которые должны предоставлять информацию в поддержку разных видов деятельности, зависящих от изменений метеорологических условий.

Успехи, достигнутые в области численного прогнозирования погоды, во многом обусловлены все более широким использованием компьютеров метеорологическими службами. Эффективность этих машин в значительной мере связана с возмож-

ностью удовлетворять огромную потребность в свежих наблюдениях. В настоящее время особенно важно, чтобы телекоммуникационные средства передачи международных метеорологических данных отвечали уровню современных требований.

Одной из наиболее сложных и приоритетных задач, стоящих перед метеорологами, является обработка данных Международного геофизического года. Это важное научное мероприятие может принести человечеству огромную пользу. Все метеорологи, несомненно, готовы приложить все усилия для того, чтобы как можно скорее выполнить эту задачу.

Существует поговорка «В единстве – сила». В течение многих лет метеорологи всего мира, занимающиеся изучением атмосферы, которая не признает политических границ, подтверждают ее правоту. В этой области знаний контакты между людьми во время совещаний закладывают основу более тесной дружбы. Именно это братское единство, невзирая на любые превратности судьбы, служит наибольшим стимулом для выполнения уже известных задач и тех, которые еще предстоит выполнить.

А. Вио, Президент ВМО

Новости и уведомление

Кончина сэра Гилберта Уокера

С прискорбием сообщаем, что 4 ноября 1958 г. в возрасте 90 лет скончался член Королевского общества сэр Гилберт Уокер. Сэр

Гилберт получил образование в лондонской школе Святого Павла и Тринити-колледже в Кембридже, где он интересовался проблемами динамики и электромагнетизма. И лишь в 1903 г., когда он стал генеральным директором обсерваторий в Индии, он вплотную соприкоснулся с метеорологией.

Сэр Гилберт останется в памяти прежде всего благодаря его выдающейся работе по установлению корреляций между метеорологическими явлениями в разных частях планеты, которые послужили основой его метода прогнозирования траектории индийского муссона. Он также инициировал первые исследования атмосферного электричества и верхней атмосферы. В 1924 году, после выхода на пенсию сэра Напиера Шоу, он стал профессором метеорологии в Имперском колледже науки и техники в Лондоне, где проработал вплоть до выхода на пенсию в 1934 году. В этот период он уделял много внимания исследованиям в области образования облаков.

На протяжении более 20 лет сэр Гилберт принимал активное участие в работе ММО. В течение многих лет в этот период он был членом Международного метеорологического комитета и также работал в нескольких комиссиях, связанных с различными аспектами метеорологии.

После долгой и блестящей карьеры, принесшей ему много наград и званий, сэр Гилберт продолжал заниматься исследовательской работой с таким же энтузиазмом. Сообщали, что в день своего 90-летия он участвовал в составлении учебника по аэродинамике желобов.

Некролог

Кеннет Поттер

Кеннет Иван Дьюк Поттер, директор Гидрометеорологической службы Гайаны с 1965 по 1975 г. и Постоянный представитель Гайаны в ВМО с 1967 по 1979 г., скончался 10 июня 2008 г. в Сиднее (Австралия).

Кен родился в Джорджтауне (Гайана) 14 июня 1935 года. Он получил среднее образование в Королевском колледже в Джорджтауне, затем получил стипендию от Гайаны для изучения гражданского строительства в университете в Абердине (Шотландия). Степень бакалавра он получил в 1958 году, а в 1963 году в Имперском колледже Лондонского университета ему вручили диплом по инженерной гидрологии.

Свою профессиональную карьеру Кен начал в Департаменте по ирригации и осушению, где занимал различные должности в период с 1958 по 1965 г. Когда в 1965 году была создана Гидрометеорологическая служба Гайаны как централизованное подразделение Министерства общественных работ и гидротехники, Кен был назначен ее руководителем, и эту должность он занимал девять лет. Под его руководством Гидрометеорологическая служба быстро превратилась в хорошо скоординированную и динамичную организацию с профессиональным персоналом.

В самом начале своей работы в Гидрометеорологической службе Кен признал, что оценку и развитие водных ресурсов в Гайане и других англоговорящих странах Карибского бассейна в значительной мере ограничивает нехватка квалифицированных гидрологов среднего звена. Поэтому он добился организации специализированного обучения, подобного тому, которое проводилось для метеорологов среднего звена в регионе. Он был движущей силой в процессе организации Карибского института оперативной гидрологии (СОНИ), созданного в 1980 году при финансовой поддержке ВМО и Карибского метеорологического института (КМИ) в Барбадосе.

В 1968 году Кен познакомился с Лесли, юной австралийкой, старшекурсницей географического факультета Монреальского университета, которая проходила преддипломную практику в Гайане. В 1971 году Лесли вернулась в Гайану и стала работать в Гайанском университете. Они поженились в Джорджтауне в 1973 году.

В 1975 году Кен был назначен главным специалистом Министерства общественных работ и транспорта; в его обязанности входила координация и надзор за работой восьми технических подразделений.

В 1980 году Кен работал консультантом ВМО при запуске операционной фазы проекта СОНИ. Спустя

несколько лет СОНИ объединили с КМИ и создали Карибский институт метеорологии и гидрологии.

К воде Кен проявлял не только профессиональный интерес, он с энтузиазмом занимался водными видами спорта, а больше всего греблей. Он был основателем клуба любителей гребли в Джорджтауне. Он с удовольствием плавал под парусами на реке Демерара и время от времени рисковал выходить в Карибское море и плавал вокруг островов.

В 1980 году Кен оставил свой пост в Гайане и поселился с Лесли в Аделаиде (Австралия). С 1981 по 1992 г. он сотрудничал с консалтинговой фирмой, работая над разнообразными гидрологическими и гидротехническими проектами на юге Австралии. В 1993 году он занялся индивидуальной консультативной деятельностью, специализируясь на проблемах паводков и осушения.

Кен пользовался большим уважением как в странах Карибского бассейна, так и в Южной Австралии. По мнению его семьи и многочисленных друзей, он был истинным джентльменом, спокойным и добрым. Я имел удовольствие знать его и работать с ним и имел честь быть его другом.

Мы разделяем горе его жены Лесли и его сестры Энн.

Джон Бэссиер

Новости Секретариата ВМО

Визиты Генерального секретаря

Генеральный секретарь г-н Мишель Жарро за последнее время посетил с официальными визитами ряд стран-членов ВМО, о чем кратко сообщается ниже. Он хотел бы выразить признательность этим странам за теплый прием и оказанное гостеприимство.

Нидерланды

По приглашению Президента Европейского метеорологического общества (ЕМО) 29 сентября 2008 г. Генеральный секретарь посетил Амстердам для участия в открытии 8-го ежегодного совещания ЕМО и 7-й Европейской конференции по прикладной метеорологии. Генеральный секретарь выступил с докладом на тему: «Эволюция роли ВМО в области адаптации к изменению климата», по окончании которого были заданы вопросы и состоялась оживленная дискуссия.

Гамбия

По приглашению правительства Гамбии, сделанного при посредстве Его Превосходительства distinguished Момоду Чама, министра по делам лесного хозяйства и окружающей среды, Генеральный секретарь посетил эту страну для участия в форуме по изменению климата, который открылся в Кололи 6 октября 2008 года.



Банджул, Гамбия, октябрь 2008 г. – Г-н Жарро приветствует министра юстиции г-жу Мари Сайне Фирдоз. Справа от нее г-н Ушман Джа, заведующий кафедрой социальных наук университета Гамбии, и г-н А. Ндиайе, директор Регионального бюро ВМО для Африки.

Основные цели форума включали повышение информированности о ряде ключевых докладов в области окружающей среды, включая Четвертый доклад об оценках Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), одним из спонсоров которой с 1988 г. является ВМО. Г-н Жарро подчеркнул важность быстрого достижения успехов в области как смягчения последствий выброса парниковых газов, так и адаптации к последствиям изменения климата на местах. Он приветствовал инициативу Гамбии о проведении форума по изменению климата и подчеркнул настоятельную необходимость для всей Африки в рассмотрении проблемы изменения климата. Генеральный секретарь

встретился с Ее Превосходительством Аджатору Исату Нджи-Сайди, вице-президентом Республики Гамбия, для обсуждения вопросов устойчивого развития. Он также посетил Центральное бюро метеорологических прогнозов в международном аэропорту Банджула.

Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк

Генеральный секретарь принял участие во второй очередной сессии 2008 г. и неофициальном совещании Координационного совета руководителей системы Организации Объединенных Наций (КСР), прошедших 24 и 25 октября в штаб-квартире Организации Объеди-

ненных Наций под председательством Генерального секретаря ООН.

Сессия сконцентрировала внимание на вопросах изменения климата, безопасности персонала, финансового кризиса, глобальной энергетической проблемы и традиционного брифинга по политическим, экономическим и социальным вопросам. В отношении изменения климата КСР рассмотрел ход развития общей концепции системы Организации Объединенных Наций, в которой ВМО вместе с ЮНЕСКО играет ключевую объединяющую роль в координации усилий по улучшению знаний о климате, включая мониторинг, оценки и предсказания системы климата и последствий, а также ранние предупреждения об экстремальных климатических явлениях. Знания о климате поддерживают пять центральных областей деятельности: адаптацию, смягчение последствий, уменьшение выбросов, образующихся в результате обезлесения и деградации лесов, передачу технологий для наращивания потенциала и финансирование.

КСР рассмотрел проект отчета, подготовленный руководителями по всем областям деятельности, представленный Комитетом высокого уровня по программам. Итоговый документ под названием «Меры в связи с изменением климата: единство действий ООН» был одобрен для представления странам-членам на Конференции ООН по изменению климата в Познани в декабре 2008 г., в то время как разработка общей концепции с целью ее представления на совещании Конференции Сторон (КС) Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций по изменению климата (РКИК ООН) в 2009 г. в Копенгагене продолжена.

Члены КСР выразили свою постоянную приверженность коллективным усилиям по вопросам изменения климата.

Китай

Президент ВМО и Генеральный секретарь посетили Китай в период с 27 по 29 октября 2008 г. для вручения 53-й премии Международной метеорологической организации г-ну Цинь Дахэ и премию ВМО для молодых



Пекин, Китай, 28 октября 2008 г. – Вручение 53-й премии ММО Цинь Дахэ: китайский вице-премьер Хуэй Ляньюй (в центре) с Президентом ВМО Александром Бедрицким (справа); Генеральным секретарем ВМО Мишелем Жарро и Чжэн Гогуаном, постоянным представителем Китая при ВМО (слева); крайний справа Цинь Дахэ; крайняя слева Елена Манаенкова, директор Департамента Кабинета и внешних связей ВМО.

ученых за научные исследования в 2008 г. г-же Сунь Ин.

Во время визита они встретились с Его Превосходительством г-ном Хуэй Ляньюйем, вице-премьером Государственного совета Китая, для обмена мнениями по вопросам, представляющим взаимный интерес, в частности по вопросам изменения климата и роли Китайской метеорологической администрации (КМА), расширения глобального сотрудничества и сотрудничества между Китаем и ВМО.

Господа Бедрицкий и Жарро посетили КМА, где постоянный представитель Китая при ВМО Чжэн Гогуан кратко проинформировал их о достижениях и прогрессе КМА в различных областях, включая спутниковую метеорологию и уменьшение опасности бедствий, и ее ключевом вкладе в организацию и проведение 29-х Олимпийских и Паралимпийских игр, которые недавно состоялись в Китае.

Объединенные Арабские Эмираты

В период между 7 и 9 ноября 2008 г. Генеральный секретарь посетил Дубай по специальному приглашению

Всемирного экономического форума для участия во Встрече на высшем уровне по вопросам глобальной повестки дня.

Г-н Жарро принял участие в ряде дискуссий, во время которых он подчеркнул роль ВМО в области уменьшения опасности стихийных бедствий и изменения климата, а также рассказал о деятельности ВМО в поддержку своих стран-членов в области адаптации к изменению климата, предотвращения опасности и смягчения последствий стихийных бедствий.

Египет

9 ноября 2008 г. Генеральный секретарь прибыл в Александрию для участия в Девятой международной конференции по развитию засушливых районов: Устойчивое развитие в засушливых районах – решение проблемы глобального изменения климата. Сессия была организована Международной комиссией по развитию засушливых районов.

Генеральный секретарь выступил с докладом под названием «Изменение климата и засушливые районы: Последствия для природных ресурсов



Панама, ноябрь 2008 г. – Генеральный секретарь принял участие в Шестой конференции директоров метеорологических и гидрологических служб иbero-американских стран.

и роль ВМО», акцентируя внимание на ключевом вопросе обеспечения долгосрочной продуктивности сельского хозяйства при сохранении земли, воды и биоразнообразия. Г-н Жарро подчеркнул, что устойчивое развитие регионов, затронутых засухой и опустыниванием, может быть достигнуто только посредством согласованных усилий на основе глубокого понимания различных факторов, способствующих деградации земель.

Алжир

19 ноября Генеральный секретарь посетил Алжир для участия в Африканской конференции министров, отвечающих за охрану окружающей среды, по изменению климата в период после 2012 г. Конференция явилась мероприятием высокого уровня по подготовке к КС 14 РКК ООН, которая состоится в Познани (Польша) в декабре 2008 года.

Выступая на конференции, г-н Жарро подчеркнул важность разработки в Африке стратегических планов по изменению климата, которые внесут вклад в более качественную подготовку континента к последствиям изменения климата в XXI веке, включая разработку эффективной региональной основы для всех соответствующих национальных и региональных программ по изменению климата с целью выявления и устранения недостатков в контексте Африки, в частности, посредством укрепления и мобилизации соответствующих структур и учреждений.

Конференция предоставила возможность для дискуссий с присутствовавшими министрами и руководителями международных организаций.

Панама

Генеральный секретарь посетил Панаму в связи с выступлением на Шестой конференции директоров метеорологических и гидрологических служб иbero-американских стран (27–29 ноября 2008 г.). Целью конференции директоров являлось укрепление институционального

потенциала национальных метеорологических и гидрологических служб (НГМС), улучшение образования и обучения персонала и совершенствование оперативных и управленческих возможностей. Посредством горизонтального сотрудничества НГМС могут оптимизировать ресурсы, поделиться опытом и интегрировать метеорологическое и гидрологическое развитие в двух регионах ВМО. Во время визита г-н Жарро встретился с министром Панамы по вопросам каналов, г-ном Дани Кузники; заместителем министра иностранных дел г-ном Риккардо Дюраном; руководителем акционерной компании Empresa de Transmision Electrica SA (ETESA) г-ном Исааком Кастильо; директором Испанского государственного агентства по метеорологии и постоянным представителем Испании при ВМО г-ном Франсиско Кадарсо; руководителем ETESA по гидрометеорологии и постоянным представителем Панамы при ВМО г-жой Луз Грасиелой М. де Калзадилла.

Польша

9–11 декабря 2008 г. Генеральный секретарь посетил Познань (Польша) для участия в Конференции Организации Объединенных Наций по



Познань, Польша, 10 декабря 2008 г. – Организация Объединенных Наций провела дополнительное мероприятие под названием «Меры в связи с изменением климата: единство действий ООН» (слева направо): Анна Тибайюка, Исполнительный директор ООН-ХАБИТАТ; Кандэ Юмкела, Генеральный директор ЮНИДО; Мишель Жарро, Генеральный секретарь ВМО; Пан Ги Мун, Генеральный секретарь ООН; Ахим Штайнер, Исполнительный директор ЮНЕП; Ша Зукан, заместитель Генерального секретаря ООН по экономическим и социальным вопросам; Катарин Сьерра, вице-президент Всемирного банка по устойчивому развитию.

изменению климата (14-я сессия Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций по изменению климата (РКИК ООН). Он устроил рабочий обед для 30 постоянных представителей и других старших должностных лиц НГМС, во время которого была предоставлена возможность для свободного общения и обмена мнениями по вопросам текущей конференции. Г-н Жарро встречался с Элизабет Липиато и Ларсом Мюллером из Европейской комиссии для обсуждения участия Комиссии в Третьей всемирной конференции по климату (ВКК-3) (август/сентябрь 2009 г.).

Он также принял участие в работе «круглого стола», который был организован для членов Координационного совета руководителей системы Организации Объединенных Наций (КСР) и проходил под председательством Генерального секретаря Организации Объединенных Наций Пан Ги Муна. Десять членов КСР приняли участие в работе «круглого стола», организованного с целью демонстрации концепции «ООН: единство действий». Г-н Жарро рассказал о ВКК-3 и ее ожидаемых результатах, которые соответствуют целям РКИК ООН.

Генеральный секретарь дал пресс-конференцию и ряд интервью для представителей средств массовой информации, в которых он подчеркнул важность климатической информации и предсказаний климата и необходимость устранения пробелов в сетях наблюдений, особенно в развивающихся странах. На шести официальных языках был выпущен и получил широкое распространение пресс-релиз.

Г-н Жарро встретился с г-ном Алесом Кутаком, заместителем министра по вопросам окружающей среды Чешской Республики, которая будет следующей председательствующей страной в Европейском союзе. В рамках выдвигавшихся предложений обсуждалась возможность проведения в Чехии подготовительного совещания ВКК-3 и поддержка в обеспечении высокого уровня участия в конференции.

Вопросы персонала Назначения



Барбара Дж. РЬЯН

2 октября 2008 г. назначена директором Бюро Космической программы ВМО Сектора Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО Департамента наблюдательных и информационных систем.



Лиза-Анна ДЖЕПСЕН

1 октября 2008 г. назначена сотрудником по административным вопросам Секретариата Межправительственной группы экспертов по изменению климата.



Майкл И. БЕРЕЧИ

1 ноября 2008 г. назначен техническим координатором по вопросам передачи метеорологических данных Отдела систем наблюдений ВМО Сектора Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО Департамента наблюдательных и информационных систем.



Анна Кристина КУН

1 октября 2008 г. назначена младшим специалистом Объединенного бюро по планированию Глобальной системы наблюдений за климатом Сектора Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО Департамента наблюдательных и информационных систем.

Повышения

Анушия МАНОХАРАН, сотрудник по финансовым вопросам (вопросы зарплаты) Отдела финансов Департамента управления ресурсами, получила повышение 1 октября 2008 г.

Мелисса СЕРАНТЕС, клерк Бюро по коммуникациям и связям с общественностью Департамента Кабинета и внешних связей

получила повышение 20 октября 2008 г.

Уходы

Душан ХРЧЕК ушел на пенсию 16 октября 2008 г. с поста представителя ВМО для Европы Департамента развития и региональной деятельности.

Инесс БЛЮХАРТ ушла на пенсию 30 ноября 2008 г. с поста письменного переводчика/редактора/устного переводчика Сектора лингвистического обслуживания и публикаций Департамента обслуживания в поддержку программ.

Жан-Баттист МИГРЕЙН, младший специалист Отдела уменьшения опасности бедствий Сектора уменьшения опасности бедствий и предоставления обслуживания Департамента метеорологического обслуживания и уменьшения опасности бедствий покинул ВМО 30 ноября 2008 г. после окончания 3-летнего срока работы.

Антонио БЕЛДА, печатник Сектора лингвистического обслуживания и публикаций Департамента обслуживания в поддержку программ уволился из ВМО 31 октября 2008 г.

Юбилей

Ольга БЕРНАШИНА, клерк по справочным материалам и терминологии Сектора лингвистического обслуживания и публикаций Департамента обслуживания в поддержку программ 2 октября 2008 г. отметила 20-летний юбилей своей службы.

Азеддин АБДЕРРАФИ, клерк по размножению цифровых материалов Отделения по печатанию и электронным публикациям Сектора лингвистического обслуживания и публикаций Департамента обслуживания в поддержку программ 1 ноября 2008 г. отметил 25-летний юбилей своей службы.

Иветт БУРNET ДЕНИС, старший секретарь Отдела гидрологического прогнозирования и водных ресурсов Сектора гидрологии и водных ресурсов Департамента климата и воды 1 ноября 2008 г. отметила 20-летний юбилей своей службы.

Последние публикации ВМО

Технический регламент Том II – Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации (ВМО-№ 49)

[A-C-E-F-R-S]
компакт-диск
2008 г. ; 175 стр.
ISBN 978-92-63-10049-8
Цена: 70 шв. фр.



Сводки и прогнозы по аэродрому – пособие для пользования кодами (ВМО-№ 782)

[E-F-R]
2008 г. ; 81 стр.
ISBN 978-92-63-107482-4
Цена: 20 шв. фр.



От богов погоды до современной метеорологии – филателистическое путешествие (ВМО-№ 1023)

[E]
2008 г. ; 111 стр.
ISBN 978-92-63-11023-7
Цена: 40 шв. фр.



Исполнительный Совет, 60-я сессия – Сокращенный окончательный отчет с резолюциями (ВМО-№ 1032)

[A-C-E-F-R-S]
компакт-диск
2008 г.; vi + 156 стр.
ISBN 978-92-63-11032-9
Цена: 16 шв. фр.



Совещание экспертов по оценке оправдываемости сезонных прогнозов тропических циклонов

(Боулдер, Колорадо, США, 24–25 апреля 2008 г.)
(ВМО/ТД-№ 1455)
[E]
2008 г. ; 26 стр.
Цена: 30 шв. фр.



Новые книжные поступления

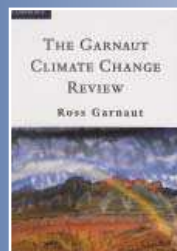


Aerosol Pollution Impact on Precipitation: A Scientific Review
Воздействие аэрозольного загрязнения на осадки

Zev Levin, William R. Cotton (Eds.)
Springer (2009)
ISBN 978-1-4020-8689-2
xxi, 386 стр.
Цена: 149,45 евро/229 дол. США

Одним из факторов, которые могут способствовать изменению режима осадков, является загрязнение аэрозолями, поступающим из различных источников, таких как загрязнение воздуха в городах и сжигание биомассы. Естественные и антропогенные изменения в атмосферных аэрозолях могут иметь важные последствия для осадков, оказывая влияние на гидрологический цикл, что, в свою очередь, может оказывать обратное действие на изменения климата.

В настоящей работе анализируются наши знания о взаимоотношении между аэрозолями и осадками, достигающими поверхности Земли.

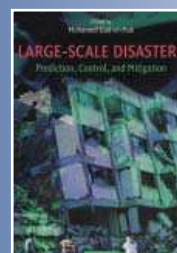


The Garnaut Climate Change Review
Обзор изменения климата, подготовленный Р. Гарно

Ross Garnaut
Cambridge University Press (2008).
ISBN 978-0-521-74444-7.
xiv + 634 стр.
Цена: 60 дол. США

В обзоре изменения климата, подготовленном Р. Гарно, рассматриваются последствия изменения климата для австралийской экономики, стоимость мер по адаптации и смягчению последствий и международный контекст, в котором изменение климата переживается и обсуж-

дается. В обзоре анализируются элементы соответствующей международной политики реагирования и проблемы, с которыми сталкивается Австралия, играя свою пропорциональную роль в этом реагировании. В обзоре изменения климата, подготовленном Р. Гарно, рассматривается, какую политику следует принять международному сообществу, реагируя на изменения климата.



Large-Scale Disasters Prediction, Control and Mitigation
Прогнозирование, контроль и смягчение последствий крупномасштабных бедствий

Edited by Mohamed Gad-el-Hak
Cambridge University Press (2008).
ISBN 978-0-521-87293-5.
xxiii + 576 стр.
Цена: 10 фунт. стерл./ 60 дол. США

В книге дан комплексный обзор широкого поля научно-исследовательской деятельности в области крупномасштабных бедствий и устанавливается общая основа для прогнозирования, контроля и управления как антропогенными, так и природными бедствиями. Особый акцент сделан на явлениях, вызванных изменением климата и погоды. Другие темы включают загрязнение воздуха, цунами, моделирование бедствий, использование дистанционного зондирования и материально-техническое обеспечение предотвращения бедствий и ликвидации их последствий.

Календарь

Дата	Название	Место
11–15 января	Ежегодное совещание Американского метеорологического общества 2009 года (совместное спонсирование)	Финикс, США
12–14 января	Двенадцатая сессия рабочей группы КЛИВАР по сезонному межгодовому предсказанию	Майями, США
19–20 января	Консультативные совещания ВМО для обсуждения политики по спутниковым вопросам на высоком уровне – девятая сессия	Порт-оф-Спейн, Тринидад и Тобаго
19–21 января	Семинар ТИГГЕ по модели по ограниченному району (ЛАМ)	Болонья, Италия
19–23 января	Двадцать первая сессия научно-руководящей группы ГЭКЭВ	Ирвин, США
21–22 января	Шестьдесят первая сессия Бюро ВМО (BUR-LXI)	Порт-оф-Спейн, Тринидад и Тобаго
26–30 января	Совместное совещание ГЕОмон/ИМЕСС	Женева
26–28 января	Совещание по научному планированию кампании по поддержке исследований изменения климата учащимися в рамках программы ГЛОБ	Женева
2–4 февраля	Совещание президентов технических комиссий 2009 года	Женева
2–5 февраля	Совещание по обновлению Плана осуществления ГСНК (ГСНК-92)	Женева
4–6 февраля	Показательный проект по прогнозированию явлений суровой погоды (ПППСР) – совещание группы РА III по осуществлению регионального подпроекта	Бразилиа, Бразилия
5–6 февраля	Группа осуществления РАРС – третье совещание, и группа осуществления ИГДДС – третье совещание	Токио, Япония
9–10 февраля	Второе совещание научно-исследовательской целевой группы	Женева
9–20 февраля	Обучение оперативному прогнозированию тропических циклонов в РСМЦ по тропическим циклонам – Нью-Дели (РСМЦ)	Нью-Дели, Индия
11–13 февраля	Вторая сессия рабочей группы ИС по вопросам климата и связанным с ним проблемам погоды, воды и окружающей среды (ИС-РГ-КВОС-2)	Женева
16–19 февраля	Совещание группы экспертов КСхМ по засухе и экстремальным температурам: обеспечение готовности и управление в целях устойчивого развития сельского, пастбищного, лесного и рыбного хозяйств	Пекин, Китай
16–20 февраля	Консультативная рабочая группа КГи – первая сессия	Женева
23–25 февраля	Международная конференция по задачам и возможностям в области агрометеорологии	Нью-Дели, Индия
26–28 февраля	Совещание группы КСхМ по координации осуществления в поддержку вспомогательных систем агрометеорологического обслуживания	Нью-Дели, Индия
2–6 марта	Группа экспертов ВМО/ЭСКАТО по тропическим циклонам – тридцать шестая сессия	Мускат, Оман
9–13 марта	Третий Международный научный симпозиум ТОРПЭКС	Монтерей, США
16–18 марта	Второе совещание рабочей группы ИС по стратегическому и оперативному планированию ВМО (РГ/СОП)	Женева
16–18 марта	Третье совещание Международного организационного комитета ВКК-3	Бонн, Германия
23 марта–3 апреля	Семинар РА IV по прогнозированию и предупреждению ураганов, а также метеорологическому обслуживанию населения	Майями, США
23–25 марта	Совещание группы управления Комиссии по климатологии	Женева
1–3 апреля	Группа управления ККл	Женева
24 апреля–1 мая	Региональная ассоциация IV – пятнадцатая сессия	Нассау, Багамские острова
11–14 мая	Учебно-практический семинар по комплексному регулированию паводков	Тегеран, Иран
18–21 мая	Международный семинар по содержанию, передаче и применению агрометеорологической продукции и обслуживания в целях устойчивого развития	Тувумба, Австралия
3–12 июня	Исполнительный совет – шестьдесят первая сессия	Женева
31 августа–4 сентября	Третья Всемирная климатическая конференция (ВКК-3)	Женева

Всемирная Метеорологическая Организация

на 31 декабря 2008 г.

ВМО является специализированным учреждением ООН. Цели ВМО:

- Облегчать всемирное сотрудничество в создании сети станций, производящих метеорологические наблюдения, а также гидрологические и другие геофизические наблюдения, относящиеся к метеорологии, и способствовать созданию и поддержанию центров, в обязанности которых входит обеспечение метеорологических и других видов обслуживания.
- Содействовать созданию и поддержанию систем быстрого обмена метеорологической и другой соответствующей информацией.
- Содействовать стандартизации метеорологических и других соответствующих наблюдений и обеспечивать единообразное издание данных наблюдений и статистических данных.
- Содействовать дальнейшему применению метеорологии в авиации, судоходстве, при решении водных проблем, в сельском хозяйстве и в других областях деятельности человека.
- Содействовать деятельности в области оперативной гидрологии и дальнейшему тесному сотрудничеству между метеорологическими и гидрологическими службами.
- Поощрять научно-исследовательскую работу и работу по подготовке кадров в области метеорологии и в соответствии с необходимостью в других смежных областях, а также содействовать координации международных аспектов такой деятельности по проведению научных исследований и подготовке кадров.

Всемирный Метеорологический Конгресс

является высшим конституционным органом Организации. Он созывается раз в четыре года для определения общей политики в достижении целей Организации.

Исполнительный Совет

состоит из 37 директоров национальных метеорологических или гидроме-

теорологических служб, выступающих в индивидуальном качестве; он созывается не реже одного раза в год для руководства выполнением программ, утвержденных Конгрессом.

Шесть региональных ассоциаций,

каждая из которых состоит из стран-членов, имеющих своей задачей координацию деятельности в области метеорологии и других связанных с ней областях в пределах соответствующих географических районов.

Восемь технических комиссий,

состоящих из экспертов, назначенных странами-членами, ответственны за изучение метеорологических и гидрологических оперативных систем, применения и исследования.

Исполнительный Совет

Президент

А.И. Бедрицкий
(Российская Федерация)

Первый вице-президент

А.М. Нуриан
(Исламская Республика Иран)

Второй вице-президент

Т.В. Сазерлэнд
(Британские Карибские территории)

Третий вице-президент

А.Д. Моура (Бразилия)

Члены Исполнительного Совета

(президенты региональных ассоциаций)

Африка (Регион I)

М.Л. Бах (Гвинея)

Азия (Регион II)

В.Е. Чуб (Узбекистан)

Южная Америка (Регион III)

Р.Х. Виньяс Гарсиа (Венесуэла)

Северная и Центральная Америка (Регион IV)

Л.Г. де Калзадилла (г-жа) (Панама)
(исполняющая обязанности)

Юго-Запад Тихого океана (Регион V)

А.Нгари (Острова Кука)

Европа (Регион VI)

В.К. Керлебер-Бурк (Швейцария)

Избранные члены Исполнительного Совета

М.А. Аббас	(Египет)
А.К. Ануфором	(Нигерия) *
О.М.Л. Бехир	(Мавритания)
Р.К. Бхатия	(Индия)
П.-Е. Бич	(Франция)
Й. Будху	(Маврикий)
С.А. Букхари	(Саудовская Аравия)
У. Гамарра Молина	(Перу)
Д. Граймс	(Канада)
Г. Женг	(Китай)
К.С. Йап	(Малайзия)
Ф. Кадарсо Гонзалес	(Испания)
М. Капалдо	(Италия)
В. Куш	(Германия)
Л. Макулени (г-жа)	(Южная Африка)
Дж.Р. Мукабана	(Кения)
М. Остойски	(Польша)
М.М. Розенгаус Москински	(Мексика)
П. Таалас	(Финляндия) *
Г. Фоули	(Австралия) *
Ф. Уйраб	(Намибия)
С.У.Б. Харийоно (г-жа)	(Индонезия)
Т. Хираки	(Япония)
Дж. Херст	(Соединенное Королевство) *
Дж.Л. Хайес	(Соединенные Штаты Америки) *
Х.Х. Циаппезони	(Аргентина)
С.-К. Чунг	(Республика Корея) *

* исполняющий обязанности члена

Президенты технических комиссий

Авиационная метеорология

К. Маклеод

Сельскохозяйственная метеорология

Дж. Сэлнджер

Атмосферные науки

М.Беланд

Основные системы

А.И. Гусев

Климатология

П.Бессеμουлин

Гидрология

Б.Стюарт

Приборы и методы наблюдений

Дж. Нэш

Океанография и морская

метеорология

П. Декстер и Дж.-Л. Феллоус

Члены Всемирной Метеорологической Организации



на 31 декабря 2008 года

Государства (182)

Австралия	Зимбабве	Марокко	Соломоновы Острова
Австрия	Израиль	Мексика	Сомали
Азербайджан	Индия	Микронезия, Федеративные	Судан
Албания	Индонезия	Штаты	Суринам
Алжир	Иордания	Мозамбик	Сьерра-Леоне
Ангола	Ирак	Монако	Таджикистан
Антигуа и Барбуда	Ирландия	Монголия	Таиланд
Аргентина	Иран, Исламская	Мьянма	Того
Армения	Республика	Намибия	Тонга
Афганистан,	Исландия	Непал	Тринидад и Тобаго
Исламское Государство	Испания	Нигер	Тунис
Багамские острова	Италия	Нигерия	Туркменистан
Бангладеш	Йеменская Республика	Нидерланды	Турция
Барбадос	Кабо-Верде	Никарагуа	Уганда
Бахрейн	Казахстан	Ниуэ	Узбекистан
Беларусь	Камбоджа	Новая Зеландия	Украина
Белиз	Камерун	Норвегия	Уругвай
Бельгия	Канада	Объединенная Республика	Фиджи
Бенин	Катар	Танзания	Филиппины
Болгария	Кения	Объединенные Арабские	Финляндия
Боливия	Кипр	Эмираты	Франция
Босния и Герцеговина	Кирибати	Оман	Хорватия
Ботсвана	Китай	Острова Кука	Центральноафриканская
Бразилия	Колумбия	Пакистан	Республика
Бруней-Даруссалам	Коморские острова	Панама	Чад
Буркина Фасо	Конго	Папуа–Новая Гвинея	Черногория
Бурунди	Корейская Народно-	Парагвай	Чешская Республика
Бутан, бывшая Югославская	Демократическая	Перу	Чили
Республика Македония	Республика	Польша	Швейцария
Вануату	Коста-Рика	Португалия	Швеция
Венгрия	Кот-д’Ивуар	Республика Корея	Шри-Ланка
Венесуэла	Куба	Республика Молдова	Эквадор
Вьетнам	Кувейт	Российская Федерация	Эритрея
Габон	Кыргызстан	Руанда	Эстония
Гаити	Лаосская Народно-	Румыния	Эфиопия
Гамбия	Демократическая	Сальвадор	Южная Африка
Гайана	Республика	Самоа	Ямайка
Гана	Латвия	Сан-Томе и Принсипи	Япония
Гватемала	Лесото	Саудовская Аравия	
Гвинея	Либерия	Свазиленд	
Гвинея-Бисау	Ливан	Сейшельские острова	
Германия	Ливийская Арабская	Сенегал	
Гондурас	Джамахирия	Сент-Люсия	
Греция	Литва	Сербия	
Грузия	Люксембург	Сингапур	
Дания	Маврикий	Сирийская Арабская	
Демократическая Республика	Мавритания	Республика	
Конго	Мадагаскар	Словакия	
Джибути	Малави	Словения	
Доминика	Малайзия	Соединенное Королевство	
Доминиканская Республика	Мали	Великобритании и	
Египет	Мальдивские Острова	Северной Ирландии	
Замбия	Мальта	Соединенные Штаты Америки	

Территории (6)

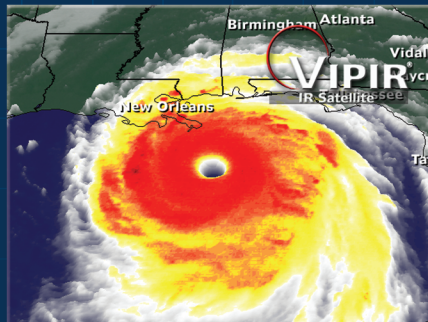
Британские Карибские
территории
Гонконг, Китай
Макао, Китай
Нидерландские Антильские
острова и Аруба
Новая Каледония
Французская Полинезия

Innovation in Weather



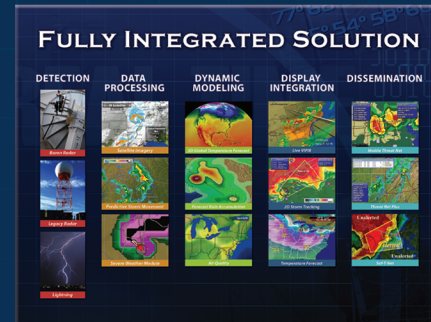
The Most Advanced Doppler Radar Sensors

We design and manufacture world-class C-Band, S-Band and X-Band Doppler radar sensors equipped with advanced signal processing.



Systems Integration

Our fully-integrated, turn-key solutions are the most comprehensive on the market, incorporating real-time 2D or 3D graphics and hydrometeor display, advanced forecast modeling, lightning and remote weather sensors.

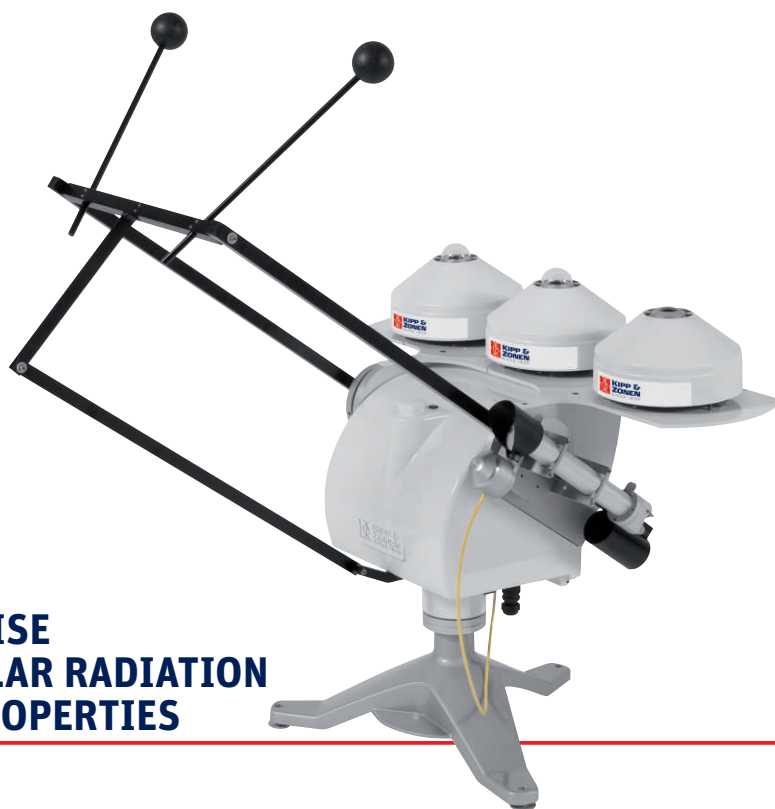


Dual-Polarization Technology

The latest example of Baron innovation: Baron Services and L-3 Communications were recently awarded a \$43 million Scout 24 umbrella contract from the U.S. National Weather Service to upgrade 171 NEXRAD sites to dual-polarimetric capability.



4930 Research Drive
Huntsville, Alabama 35805
256-881-8811 Phone
256-881-8283 Fax
sales-int@baronservices.com
www.baronservices.com



**SOLUTIONS FOR PRECISE
MEASUREMENT OF SOLAR RADIATION
AND ATMOSPHERIC PROPERTIES**



Kipp & Zonen's passion for precision has led to the development of a large range of high quality instruments: from all weather resistant Pyranometers to complete measurement networks.



Kipp & Zonen B.V.
Delftechpark 36, 2628 XH Delft
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands

T: +31 (0) 15 2755 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com
www.kippzonen.com

PASSION FOR PRECISION





World Meteorological Organization

7bis, avenue de la Paix - Case postale 2300 - CH-1211 Geneva 2 - Switzerland

Tel.: +41 (0) 22 730 81 11 - Fax: +41 (0) 22 730 81 81

E-mail: wmo@wmo.int - Website: www.wmo.int

ISSN 0250-6076