

К.Я. Кондратьев

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРЫ НА ЕВРОПЕЙСКОМ КОНТИНЕНТЕ: ПРОГРАММА EUROTRAC

Сделан обзор содержания программы *EUROTRAC* мониторинга загрязнений атмосферы на европейском континенте, включающий обсуждение ключевых аспектов программы: химическая трансформация и перенос фотооксидантов (прежде всего озона) в тропосфере; процессы, обуславливающие закисление атмосферы (особенно с участием аэрозоля и облаков), усвоение и выбросы малых газовых компонентов биосферой.

Учитывая ухудшающееся состояние окружающей среды на европейском континенте, Комиссия европейских сообществ (*СЕС*) поддержала инициативу осуществления в рамках общеевропейского проекта *EURECA* разработок по междисциплинарной программе *EUROTRAC* (Европейский эксперимент по изучению переноса и трансформации важных для исследований окружающей среды малых газовых и аэрозольных компонентов в тропосфере над Европой), направленных на изучение динамики (переноса, химической трансформации) загрязнений тропосферы [1–3]. Общая задача этих разработок состоит в получении более полной информации о состоянии атмосферы над Европой, причем имеется в виду, что она будет использоваться для научного обоснования принимаемых политических решений, касающихся управления окружающей средой на континенте. В настоящее время, благодаря быстрому внедрению разработок в реализации программы *EUROTRAC*, принимают участие свыше 250 исследовательских групп из более чем 20 европейских стран, усилия которых сконцентрированы на осуществлении 15 подпрограмм.

К числу приоритетных разработок относится исследование:

- химической трансформации и переноса фотооксидантов (например озона) в тропосфере;
- процессов, обуславливающих закисление атмосфер (особенно с участием аэрозоля и облаков);
- усвоения и выбросов малых газовых компонентов (МГК) биосферой.

Средства решения рассматриваемых задач включают использование полевых (на уровне земной поверхности и в свободной атмосфере) и лабораторных измерений, а также имитационное численное моделирование с участием специалистов в области многих естественных наук (метеорология, физика, химия, биология и др.) и техники. Обратимся к рассмотрению отдельных подпрограмм, составляющих программу *EUROTRAC* в целом, приводя отдельные результаты по данным на 1991 г.

1. Полевые наблюдательные подпрограммы

Целями подпрограммы *TRACT* являются исследования переноса загрязнений при наличии сложного рельефа (например гор). Задача разработок *ALPTRAC*, являющихся частью этой подпрограммы, состоит в мониторинге МГК и их осадения на снежный покров в Альпах. Исследования ведутся по следующим направлениям.

Сбор проб снега в 15-ти точках и их последующий анализ для выявления закономерности пространственно-временной изменчивости концентрации загрязняющих компонентов (основных ионов) и их осадения на высотах от 2450 до 3900 м (*SNOSP*). Сделанные в 1991 г. наблюдения обнаружили увеличение концентрации ионов SO_4^{2-} и NO_3^- в 2–3 раза на трассе длиной около 650 км в направлении с запада на восток, но пока не ясно, вызвано ли это различием интенсивности осадения или эффектом разбавления, проявляющимся на западе, где более интенсивны снегопады.

Изучение взаимосвязи между свойствами альпийского воздуха, облаков и снега (*ALASS*), имея в виду решение следующих задач, которым соответствуют различные характерные масштабы времени:

- соотношение между химическим составом аэрозоля и снега;
- соотношение между химическим составом осадков, аэрозоля и атмосферы;
- взаимодействие между МГК, аэрозолями и частицами облаков (переохлажденными каплями и кристаллами льда).
- химический анализ ледяных кернов для изучения химической эволюции на протяжении десятилетий и столетий (*CORE*).

Результаты анализа кернов, взятых в Колле Гнифетти, обнаружили тренд спада концентрации ионов SO_4^{2-} , H^+ и NH_4^+ за последние 15 лет, составляющий около 3 – 5 % в год. Однако данные по изотопу кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) свидетельствуют о том, что этот тренд был лишь отчасти реальным. По сравнению с доиндустриальным периодом современная концентрация SO_2 и NH_4^+ оказалась в 3 – 5 раз более высокой, а щелочная реакция снега сменилась на кислотную.

Главная задача подпрограммы *TOR* – мониторинг динамики содержания тропосферного озона и анализ причин его изменчивости, по данным наблюдений на 25 станциях с использованием методик прямых измерений концентрации озона у земной поверхности и лидарного зондирования. Актуальность такого рода исследований определяется данными наблюдений, свидетельствующими о продолжающемся росте концентрации озона у земной поверхности. Проанализировав полученные в текущем столетии данные наблюдений, К. Вароцос и К. Карталис [4] показали, что за период 1901–1920 гг. произошло повышение концентрации приземного озона с 20 до 28 млрд⁻¹, но затем произошел спад до 15 млрд⁻¹ в 1940 г. После этого возник дальнейший рост концентрации озона. По данным Р.Божкова [5], приземная концентрация озона (ПКО) в сельских районах Европы возросла за последние 100 лет примерно вдвое.

Согласно данным отчета [1], в условиях незагрязненной тропосферы в 1890 г. ПКО составляла около 10 и возросла к настоящему времени до 50 млрд⁻¹ (разумеется, значения ПКО характеризуются сильной пространственно-временной неоднородностью, определяемой прежде всего уровнем загрязнения атмосферы и варьирующими климатическими условиями). Данные, полученные на высокогорных станциях по подпрограмме *TOR*, указывают на то, что поступление озона из стратосферы в тропосферу составляет лишь малую часть общего содержания озона в тропосфере. Высокий уровень ПКО летом обусловлен преимущественно фотохимическими процессами. Оценки вклада окислов азота в формирование озона показали, что на каждую молекулу NO_x образуется около десяти молекул O_3 в таких условиях летом, когда фотохимические процессы (цепные химические реакции) наиболее интенсивны. Наблюдения обнаружили наличие высокой корреляции между ПКО и PAN (перксиацетилнитратом). Поскольку в течение всего года фоновая концентрация PAN составляет около 2 млрд⁻¹, постольку это определяет возможность круглогодичного загрязнения атмосферы фотооксидантами.

2. Исследования облаков

Финансовые трудности привели к закрытию подпроекта *ACE*, посвященного некоторым вопросам химии облаков, включающим исследования процессов закисления облаков (химических реакций с участием соединений азота и серы), а также роли органических соединений в химии облаков. Эти исследования планировалось осуществлять как путем самолетных измерений, так и путем лабораторного моделирования (именно необходимость дорогостоящих самолетных измерений породила серьезные финансовые трудности).

Более удачным оказался подпроект *GCE*, задачей которого являются наземные измерения в горах характеристик облаков с целью изучения физических и химических факторов, контролирующих вклад химических реакций в облаках и вымывания из облаков газов и аэрозоля в закисление облаков и туманов. В число конкретных задач входит изучение:

- факторов, определяющих скорость закисления облачных капель;
- факторов, обуславливающих концентрацию оксидантов и катализаторов в каплях;
- зависимости относительной роли имевшегося в облаках аэрозоля и химических реакций в облаках в формировании химического состава облаков от варьирующих характеристик физики и химии облачной среды;
- зависимости вымывания ядер конденсации от микроструктуры аэрозоля и типа облаков;
- преобладающих типов облаков и туманов в Европе, их годового хода и географической изменчивости.

Основу исходных данных наблюдений для решения перечисленных задач составил в 1991 г. комплексный полевой эксперимент, осуществленный в долине р. По (Италия). Анализ этих данных привел, в частности, к выводу о второстепенной роли ночного радиационного выхолаживания в образовании туманов в рассматриваемом регионе.

Главным фактором формирования устойчивых и плотных туманов была адвекция влажного воздуха. Туманы в долине р. По обуславливают лишь слабое вымывание частиц аэрозоля: всего лишь около 1% частиц крупнее 0,01 мкм обнаружено в каплях тумана; подверглись вымыванию от 1 до 10% частиц (20–30% по массе) аккумуляционной моды (0,1–1,0 мкм). Эти значения гораздо меньше полученных ранее для конвективных облаков (эффективность вымывания до 90%). Подобный контраст обусловлен, вероятно, гораздо более низким уровнем пересыщения в туманах, чем в облаках (частицы аэрозоля диаметром менее 0,3 мкм в туманах вообще не подвергались вымыванию).

Вымывание частиц аэрозоля существенно зависит от их химического состава. Подвергшаяся вымыванию фракция аэрозоля характеризуется повышенным содержанием серы, железа, магния и меди, тогда как для частиц аэрозоля, остающихся в облаках, типична высокая концентрация элементного углерода. Возможно, что одной из главных причин специфичности туманов в долине р. По является наличие на поверхности капель органической пленки.

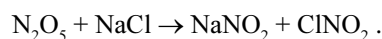
3. Лабораторные исследования

Главной целью двух подпроектов в этой области было получение надежной информации о характеристиках гетерогенных химических реакций в условиях газовой фазы, в водных растворах и на поверхностях частиц, которые имеют важное значение для понимания закономерностей химии тропосферы. В рамках подпроекта *HALIPP* ведутся работы по трем направлениям: 1) химические реакции в водных растворах; 2) взаимодействие газовой и жидкой фаз на поверхностях раздела; 3) реакции на поверхности частиц, включая фотокаталитические.

Что касается исследований растворов, то они сконцентрированы на анализе процессов окисления сернистого газа и сульфитов до сульфатов, которым принадлежит ведущая роль в формировании кислотных осадков. Ведется работа по следующим направлениям:

- окисление сульфита, катализируемое магнием (важные особенности этой реакции связаны с тем, что она является автокаталитической и на ней сказывается синергетический эффект взаимодействия железа и магния);
- реакции радикалов сульфата и ионов SO_4^{2-} с магнием;
- соокисление сульфита и железа;
- фотохимическое преобразование ионов оксалата в радикалы гидропероксида и пероксид водорода в присутствии железа;
- окисление сульфита перекисью водорода в присутствии металлов;
- реакции сульфита с радикалами SO_5^- ;
- фотохимическое разложение перекиси водорода в растворах.

Важной частью разработок были исследования адсорбции МГК поверхностью воды. Выполнены, в частности, измерения коэффициента <прилипания> для NH_3 и HONO . Значение этого коэффициента для адсорбции N_2O_5 каплями воды оказалось равным 0,03, что свидетельствует о роли адсорбции как лимитирующего диффузию фактора. Опыты в камере туманов продемонстрировали возможность образования активного хлора (через ClNO_2 как промежуточный продукт) в результате следующей реакции на частицах соли в условиях загрязненной атмосферы:



Работы по второму подпроекту (*LASTOZ*) охватывали пять разработок: химия гидроксила ОН; реакции с участием радикалов RO_2 ; химия радикала NO_3 ; реакции с участием ароматических и биогенных углеводородных соединений; измерения поглощения и квантового выхода. Подобный выбор приоритетов определялся тем, что ОН играет в атмосфере исключительно важную роль в процессах удаления загрязняющих компонентов в дневное время. Что касается RO_2 , то они образуются в результате реакций между ОН и летучими органическими соединениями VOC, которые приводят к появлению органических радикалов, служащих ис-

точниками образования RO_2 при всегда существующем достаточном количестве кислорода. Радикалы RO_2 участвуют в цепных реакциях формирования фотооксидантов. Радикалы NO_3 , которые подвергаются быстрому фотолизу днем, имеют существенное значение ночью, реагируя с углеводородными соединениями с последующим образованием азотной кислоты и углеводородных радикалов (возможно, и OH).

Составляющие NO_x окислы азота NO и NO_2 имеют относительно короткое время жизни, но могут переноситься на большие расстояния в форме PAN или аналогичных соединений, которые служат временными резервуарами NO_2 до их термического разложения. Новое направление связано с изучением реакций алкенов с озоном. Поскольку такие оксиданты, как озон, образуются из VOC посредством цепных реакций в атмосфере, важной задачей является определение потенциала образования озона – OFP (числа образующихся молекул озона на одну молекулу углеводородных соединений) для каждого летучего органического соединения.

Перспективными для подпроекта *LASTOZ* остаются исследования образования озона в свободной тропосфере, химических реакций с участием VOC и NO_x в пограничном слое атмосферы.

Эти исследования имеют важное значение в контексте проблемы изменений климата, поскольку тропосферный озон и гидроксил являются критически существенными факторами, определяющими концентрации парниковых газов. Особое значение приобретают в этой связи также исследования сульфатного аэрозоля [2].

4. Разработки моделей и оценки выбросов

Надежные оценки природных и антропогенных выбросов в атмосферу наиболее существенных загрязнений составляют главную задачу новой подпрограммы *GENEMIS*, тогда как в рамках подпрограммы *EUMAC* создана модель *EURAD* дальнего переноса загрязнений. Эта эйлерова модель является трехмерной на сетке с шагом по горизонтали, равным 80 км, с 16-слойной атмосферой. Ведется работа по совершенствованию модели с целью более адекватного описания химических реакций и учета процессов в облаках. Разрабатывается методика верификации модели на основе использования данных подпроекта *TOR*.

Применение *EURAD* для воспроизведения ряда эпизодов сильных загрязнений дало удовлетворительные результаты. Это касается, например, оценок распределения концентраций SO_2 , NO_2 и озона, а также *PAN*. Одним из важнейших факторов обуславливающих расхождение с данными наблюдений, является недостаточно надежный учет процессов в облаках.

Исследования по подпрограмме *EUMAC* сконцентрированы вокруг шести направлений – модели химических процессов, облака, выбросы, <вложенная> подмодель (мезомасштабные процессы), применения моделей, верификация моделей. Главным приоритетом является рассмотрение химических аспектов проблемы.

Европа (как и другие индустриальные регионы в Северной Америке и Азии) вносит значительный вклад в формирование загрязнений атмосферы в глобальных масштабах и, в свою очередь, – получает загрязнения из других регионов. В этой связи задачей подпроекта *GLOMAC* являются разработка и применение глобальной трехмерной модели распределения озона, метана и других углеводородных соединений, химически активных соединений азота, сернистого газа, сульфатов и т.д. с учетом переноса, химических реакций и осаждения, имея в виду, в конечном счете, прогноз динамики загрязнений глобальной атмосферы.

Применение модели должно, в частности, ответить на три вопроса:

– каковы источники и стоки тропосферного озона и его предшественников (NO_x , CH_4 , CO , $NMHC$)?

– каково влияние антропогенных процессов (промышленных выбросов, сельского хозяйства и др.) в Европе и в других регионах мира на химический состав фоновой тропосферы и на глобальную климатическую систему?

– как далеко от промышленных регионов происходит перенос соединений серы и других закисляющих атмосферу компонентов?

Численное моделирование опирается на использование сочетания разработанной в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды модели динамики глобальной атмосферы и различных моделей химических процессов (применяется, в частности, схема учета химических реакций с участием соединений серы). Оценки показали, что обусловленное сульфатным аэро-

зодем уменьшение средней для северного полушария суммарной радиации составляет около 1 Вт/м², т.е. сравнимо по величине (но противоположно по знаку) с вкладом усиления парникового эффекта атмосферы за счет роста концентрации углекислого газа. Подобные расчеты будут продолжены с использованием более совершенной модели.

Особое внимание привлекают оценки воздействия изменений концентрации окиси углерода и метана на содержание гидроксила. Важное значение придается разработке методик моделирования процессов трансформации содержаний серы и образования сульфатного аэрозоля.

5. Взаимодействие атмосферы и биосферы

Исследования обмена загрязняющими компонентами и другими МГК между атмосферой и биосферой, включая как сушу, так и водные бассейны, составляют важную часть программы *EUROTRAC*, поскольку биосфера является в конечном счете стоком для почти всех загрязняющих компонентов или продуктов их химической трансформации. С другой стороны, биосфера служит существенным источником МГК, которые могут вносить вклад в процессы закисления или образования фотооксидантов. Необходимы поэтому оценки как скоростей осаждения, так и выбросов за счет различных типов растительного покрова, которые могут быть использованы в моделях загрязнения биосферы. Подобная проблематика составляет содержание подпроектов *BIATEX* и *ASE*.

Подпроект *BIATEX* является одним из наиболее масштабных подпроектов программы *EUROTRAC*, включающим 38 разработок, которые связаны с изучением соединений азота и восстановленной серы, сернистого газа, летучих органических соединений (VOC) и с численным моделированием. К числу важных результатов, полученных за последнее время, принадлежат исследования осаждения NO_x на растительный покров, которые показали, что осаждение NO₂ контролируется устьицами растений, а NO обычно почти не осаждается, а напротив, иногда выбрасывается почвой. Данные о загрязнении лесов вблизи Франкфурта, обусловленном автомобильным транспортом, позволили построить схему бюджета NO_x в этих условиях. Выбрасываемая почвами закись азота имеет микробиологическое происхождение.

Что касается аммиака, то он может как осаждаться, так и выбрасываться в зависимости от степени удобренности почвы, времени года и дня. В удаленных регионах главным осаждающимся на почву соединением азота являются HNO₃ и неорганические нитраты, содержащиеся в каплях дождя и в частицах аэрозоля. Осаждение озона на растительность определяется устьичной проводимостью, которая сильно изменяется в ходе вегетации и обладает большим суточным ходом. Выбрасываемый почвой карбонилсульфид COS поглощается растительностью (как и CO₂). Одна из задач численного моделирования заключалась в оценке проникновения турбулизованного воздуха в полог леса, которое обуславливает значительное усиление осаждения загрязнений в пределах полосы шириной порядка 50 м на краю леса.

Целью подпрограммы *ASE* являются исследования обмена загрязняющими компонентами и МГК через водную поверхность, имея в виду, что физические, химические и биологические процессы на поверхности раздела <атмосфера–море> и вблизи нее играют большую роль в формировании биогеохимических круговоротов углерода, серы, азота и металлов. Оценки массообмена между атмосферой и морем требуют комплексных данных о газообразных, жидких и твердых выбросах, сухом и влажном осаждении, химических реакциях на границе раздела. Подобные выбросы вносят значительный вклад в формирование химического состава атмосферы. Так, например, биологически обусловленные выбросы содержащих серу газов (подобных диметилсульфиду) существенно влияют на кислотность осадков и атмосферного аэрозоля. Море служит также источником легких углеводородных соединений и галогенуглеродов, а также (возможно) аммиака и метиламинов. Поскольку удаление из атмосферы таких химически важных компонентов, как нитраты и сульфаты, интенсифицируется в присутствии частиц аэрозоля из морских солей, важно располагать сведениями об образовании подобных частиц в морях и в прибрежных водах Европы. Содержащиеся в воде загрязнения (например, тяжелые металлы, органика и радионуклиды) могут выбрасываться обратно в атмосферу и затем возвращаться на сушу. Эти процессы также требуют большого внимания.

Подпрограмма *ASE* включает пять направлений разработок:

– вклад биологических и фотохимических процессов в поверхностном слое моря в газообмен между атмосферой и морем;

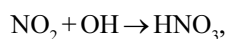
- измерения выбросов МГК через поверхность воды;
- роль преобразований МГК и аэрозоля в атмосфере в процессах осаждения на водную поверхность;
- массообмен веществами природного и антропогенного происхождения между атмосферой и морем в регионе Европы;
- факторы, определяющие изменчивость аэрозоля вблизи водной поверхности.

В рамках подпрограммы *ASE* были проведены две судовые экспедиции в Средиземном море и в Северной Атлантике. Значительный объем наблюдений выполнен по программе рейса НИС <Эрнст Кренкель> в Северной Атлантике с целью изучения [6]:

- фоновых уровней и дневного хода фотооксидантов и связанных с ними МГК в условиях чистой морской атмосферы;
- источников избыточных сульфатов в морской атмосфере и интенсивности их переноса на европейский континент;
- потоков из атмосферы и с континента в верхний слой морских вод таких веществ, которые могут воздействовать на физико-химические и биологические процессы в морских водах;
- роли фронтальных границ в химии озона;
- влияния биопродуктивности на потоки органических соединений из океана в атмосферу;
- параметризации дальнего переноса загрязненных воздушных масс над поверхностью океана с использованием данных о радиоактивных трассерах.

В части, касающейся газовых компонентов, основное внимание было уделено проблеме круговорота озона. Аэрозольные изменения обеспечивали данные о концентрации ядер конденсации, микроструктуре и химическом составе аэрозоля.

Судовые наблюдения, выполненные по программе Эксперимента в Северном море (*NOSE*), обнаружили существенное уменьшение концентрации NO_2 по мере удаления от берега. По-видимому, потеря NO_2 днем происходит по реакции



тогда как в ночные часы реакция с озоном также обуславливает образование паров азотной кислоты.

Целью *NOSE* были также измерения микроструктуры и химического состава аэрозоля, которые позволят, в частности, оценить осаждение тяжелых металлов на поверхность моря. На небольшом острове в проливе Каттегат были выполнены наблюдения для оценки осаждения соединений азота и сернистого газа. Анализ данных судовых наблюдений концентрации неметановых углеводородных соединений в Средиземном море показал, что, как и в Северной Атлантике, верхний слой моря (до глубины в нескольких метрах) характеризуется наличием перенасыщения по отношению к большей части углеводородных соединений, причем пространственная изменчивость их содержания проявляется очень незначительно. Рассматриваемые результаты указывают на существование фотохимического механизма образования NMHC и, следовательно, отображают, по крайней мере, небольшую роль моря как источника предшественников фотооксидантов.

Особый интерес представляют данные наблюдений концентрации диметилсульфида (*DMS*), из которых следует, что *DMS* может служить летом источником серы и причиной закисления атмосферы в таких же масштабах, что и SO_2 . Наблюдения выбросов *DMS* в атмосферу в период интенсивного развития фитопланктона и водорослей в Северной Атлантике продемонстрировали, что поток *DMS* был столь же значителен, как и в южной части Северного моря.

6. Аппаратурные разработки

Задачи аппаратурных разработок решались в рамках трех подпрограмм *EUROTRAC*: *TESLAS*, *TOPAS* и *JETLAG*. Целью подпрограммы *TESLAS* была разработка лидаров для определения вертикального профиля концентрации озона. В рамках *TOPAS* развивается методика дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии для восстановления содержания МГК в атмосфере по данным о поглощении на трассе длиной 1–2 км. Соответствующая аппаратура уже применяется на регулярной основе с целью определения концентрации таких МГК, как NO_2 , SO_2 , HNO_2 , формальдегид и озон в условиях сельской и городской атмосфер.

Подпрограмма *JETLAG* направлена на разработку методик ИК абсорбционной спектроскопии с использованием перестраиваемых диодных лазеров. Первые образцы такого рода аппаратуры уже разработаны и будут применяться как в наземных условиях, так и на борту самолета. По проекту *TROPOZ* осуществлены первые наблюдения различий концентрации CO, NO₂, HCHO и H₂O₂ в северном и южном полушариях: как и ожидалось, концентрация CO в южном полушарии была значительно меньше, чем в северном.

Подводя итоги, следует с огорчением констатировать, что российские специалисты не участвуют в работах по программе *EUROTRAC*, не считая эпизодической экспедиции, предварительные результаты которой обсуждены в [5]. Несомненно, что этот пробел следует устранить в возможно более короткий срок и, таким образом, обеспечить соответствующий мониторинг и исследования для огромной части Европы – европейской территории России. Необходима дальнейшая разработка целей программы *EUROTRAC* и более системное обоснование приоритетов в контексте опубликованных за последнее время концептуальных исследований [7–11].

1. EUROTRAC Annual Report. 1991. / Part I (Garmisch-Partenkirchen, 1992). 195 p.
2. EUROTRAC and climate change. EUROTRAC Newsletter. 1991. N 8. P. 11–12.
3. Jerre J. // The critical load concept as basis for emission reduction in Europe. EUROTRAC Newsletter. 1991. N8. P. 4–6.
4. Varotsos C., Cartalis C. // Surface ozone in Athens, Greece at the beginning and at the end of the 20th century. Atmos. Res. 1993 (in press).
5. Bojkov R. D. // Ozone changes at the surface and in the free troposphere. Tropospheric ozone. D. Reidel Publ. Co. 1988. P. 83–96.
6. Ryaboshapko A., Medinets V. // North Atlantic atmospheric chemistry experiment. EUROTRAC Newsletter. 1991. N8. P. 15–17.
7. Данилов-Данильян В.И., Кондратьев К.Я., Донченко В.К., Лосев К.С. // Экология и политика. СПб: ПРОПО, 1993 (в печати).
8. Кондратьев К.Я. // Глобальная динамика озона. Итоги науки и техники. Геомагн. и высокие слои атм. Т. 19. М.: ВИНТИ, 1989. 212 с.
9. Кондратьев К.Я. // Глобальная экология и требования к данным наблюдений. СПб: Наука, 1992. 93 с.
10. Кондратьев К.Я. // Глобальный климат. СПб: Наука, 1992. 359 с.
11. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. // Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992. 264 с.

Санкт-Петербургский научный центр РАН
Центр экологической безопасности

Поступила в редакцию
30 апреля 1993 г.

K. Ya. Kondratyev. Monitoring Atmospheric Pollution in Europe: EUROTRAC Programme

A survey has been made of the EUROTRAC Programme directed towards monitoring atmospheric pollution in Europe, including the discussion of the key aspects for the programme: the chemistry and transport of photooxidants (first of all, ozone) in the troposphere; the processes leading to the formation of acidity in the atmosphere, particularly these involving aerosols and clouds; the uptake and release of atmospheric trace substances by the biosphere.