

П.Е. Золотарев, П.К. Куценогий, Л.К. Трубина, К.П. Куценогий
Временная изменчивость массовой концентрации
субмикронной фракции атмосферных аэрозолей
в пригородной зоне г. Новосибирска
в летний и осенний периоды

Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 4.02.2006 г.

Описана компьютерная методика с использованием ГИС-технологий для преобразования аналоговой информации, записанной на диаграммные ленты в цифровую форму. Приведены примеры использования этой методики для выявления закономерностей сезонной изменчивости суточного цикла массовой концентрации субмикронной фракции атмосферных аэрозолей в пригородной зоне г. Новосибирска, и показано влияние на них эмиссий от лесных пожаров и осадков.

Введение

Атмосферный аэрозоль (АА) является неотъемлемой составной частью атмосферы и оказывает существенное влияние на качество окружающей среды, климат, химию и физику атмосферы. Это обусловлено тем, что АА активно влияет на оптическое состояние и радиационный баланс атмосферы, а также служит ядрами конденсации облаков и туманов.

Свойства АА зависят от спектра размеров, концентрации, морфологии и химического состава аэрозольных частиц. Из всего спектра размеров частиц АА следует выделить субмикронную (аккумуляционную $0,1 < d < 1$ мкм) фракцию АА. Она образуется при конверсии газообразных предшественников в результате сложных физико-химических процессов [1]. «Время жизни» этой фракции АА в атмосфере наиболее продолжительное [2]. Поэтому ее влияние на атмосферные процессы существенно. Для изучения микрофизических характеристик субмикронной фракции АА на протяжении последних десятилетий широко используется нефелометрический метод. В первую очередь нефелометрические измерения были направлены на определение влияния атмосферных аэрозолей на видимость в атмосфере и оценку антропогенного загрязнения окружающей среды в крупных промышленных центрах (фотохимические смоги) [3–20].

В результате многолетних исследований было установлено, что массовая концентрация этой фракции тесно связана с видимостью в атмосфере [3–14]. Показано, что разнообразная пространственно-временная изменчивость массовой концентрации субмикронной фракции количественно описывает многие оптические свойства атмосферы в видимой области. Предложены простые однопараметрические мо-

дели для описания оптических характеристик атмосферы, их суточной и сезонной изменчивости, а также влияние влажности окружающей среды [15–20].

Использование нефелометрии стало одним из важных средств для исследования пространственно-временной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА в различных регионах мира, а также для изучения сложных физико-химических атмосферных процессов ее образования естественного и антропогенного происхождения [12–20]. На территории бывшего СССР и России до начала 90-х гг. XX в. наиболее исследованной оказалась ее европейская часть. С начала 90-х гг. в рамках проекта «Аэрозоли Сибири» начались комплексные систематические исследования на территории Сибири. В рамках этого проекта в Новосибирской области была организована сеть наземного мониторинга, в состав которой входили пункты наблюдений в промышленном центре (г. Новосибирск) и его пригородной зоне (п. Ключи), а также в фоновом районе (вблизи п. Карасук). В 1994 г. в Новосибирской области был проведен комплексный эксперимент по изучению пространственно-временной (сезонной и суточной) изменчивости аэрозольного светорассеяния [21]. В этом эксперименте в течение 1 мес непрерывно и синхронно в трех пунктах велись наблюдения с помощью нефелометра ФАН-А.

Обработка результатов этого эксперимента показала, что пункт наблюдения, расположенный в пригородной зоне, можно использовать в качестве фонового. Эти результаты хорошо согласуются с данными, полученными в ИФА РАН и ИОА СО РАН [15–20, 25, 26]. Результаты этих исследований легли в основу полумпирической модели, описывающей закономерности суточной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА [21, 22].

Начиная с 1996 г. в п. Ключи начались постоянные измерения суточной и сезонной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА с использованием нефелометра ФАН-А. До начала 2004 г., когда был разработан компьютерный вариант нефелометра на базе ФАН-А [27], показания нефелометра записывались на диаграммную ленту самописца КСП-4. Обработка данных велась вручную. Из-за высокой трудоемкости ручной обработки данных нефелометрических измерений количественные данные получали с малым временным разрешением (дискретность временного ряда была около 2 ч). Одной из задач исследований была разработка компьютерной методики с использованием ГИС-технологии для представления накопленной ранее информации в цифровой форме.

Методика компьютерной обработки

Диаграммные ленты с данными ФАН-А преобразуются в растровое изображение посредством сканирования с разрешением 300 пикселей на дюйм. Для сканирования лента помещается поперек планшетного сканера и перемещается таким образом, чтобы в рабочую область сканера попадал участок, имеющий примерно 20%-е перекрытие с предыдущим. По завершении сканирования результаты сохраняются в растровом формате JPEG.

Обработка растрового изображения диаграммной ленты выполняется в программной среде геоинформационной системы MapInfo Professional 6.5.

На первом этапе обработки необходимо растровые фрагменты ленты (участки диаграммы) скомпоновать в единое изображение, соответствующее исходной диаграммной ленте. Это достигается преобразованием системы координат каждого фрагмента из пиксельной в декартову, что выполняется по четырем «опорным» точкам, выбираемым в углах участка с использованием функции MapInfo Professional «регистрация изображения». При этом одноименные «опорные» точки соседних участков, находящиеся в зоне их перекрытия, позволяют последовательно совместить все участки. В результате получается растровое изображение всей диаграммной ленты, зарегистрированное в условной (выбранной пользователем) системе координат.

Затем создается специальная таблица, в которой предусматриваются два поля (столбца), первое (X) — для отображения значений оси X исходной диаграммы — времени, а второе (Y) — оси Y диаграммы — показания нефелометра. Далее осуществляется цифрование кривой, отображенной на диаграммной ленте. Для этого с помощью курсора на ней помещаются точки с интервалом 20 усл. ед. выбранной системы координат (что соответствует 6 мин) по координате X . Координаты точек X и Y автоматически фиксируются и отображаются в ранее созданной таблице. По завершении работы таблица с данными сохраняется в формате базы данных Microsoft Access.

Дальнейшая обработка ведется в программной среде Microsoft Excel.

Файл с таблицей Microsoft Access экспортируется Microsoft Excel. По значениям X и Y , отображенным в таблице, вычисляются искомые величины по следующим формулам:

$$S = Y/I_m(Y); \quad (1)$$

$$A = 2,6(S - 1), \quad (2)$$

где S — суммарное относительное светорассеяние; Y — показания прибора (нефелометра (ФАН-А)), координат Y , представленных в условных единицах (система координат MapInfo); $I_m(Y)$ — молекулярное светорассеяние, также в условных единицах (эта величина была отмечена вручную оператором на диаграммной ленте, а затем измерена в MapInfo совместно с величиной Y); A — массовая концентрация атмосферного аэрозоля, мкг/м³; $S - 1$ — относительное аэрозольное светорассеяние (как видно из обозначения, получена путем вычитания из величины суммарного относительного светорассеяния единицы).

Для вычисления массовой концентрации воспользовались формулой, полученной в работе [22].

Далее за весь период измерений вычислялись следующие статистические характеристики: среднечасовые массовые концентрации субмикронной фракции АА (по 10 значениям с интервалом 6 мин), среднесуточные значения массовой концентрации субмикронной фракции АА и среднemesячные значения по средним величинам каждого часа суток.

Результаты и их обсуждение

Осенью 1997 г. в окрестностях Новосибирска были многочисленные лесные пожары [23]. В частности, в октябре 1997 г., когда проводились нефелометрические измерения в п. Ключи, в течение нескольких дней в утреннее и вечернее время в Академгородке, удаленном от пункта измерения на 12 км, наблюдалось сильное задымление с характерными признаками дыма от лесного пожара. Наличие дымового шлейфа в Академгородке в этот период подтверждается и измерениями характеристик АА, проводимых в Академгородке с 3 по 15 октября 1997 г. [23].

Данные об изменении химического состава аэрозолей в п. Ключи также показали влияние дымового шлейфа от лесного пожара [24]. Поэтому, используя описанную выше методику, мы детально проанализировали экспериментальные данные о временной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА в октябре 1997 г.

Для более детального анализа особенностей временной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА в октябре 1997 г. были определены суточные циклы временной изменчивости в летний (июнь—июль 1997 г.) и осенний (октябрь 1998 г.) периоды в п. Ключи. Эти результаты представлены на рис. 1.

Вертикальными линиями показана суммарная погрешность определения текущих значений массовой концентрации, которая в нашем случае составила около 5%.

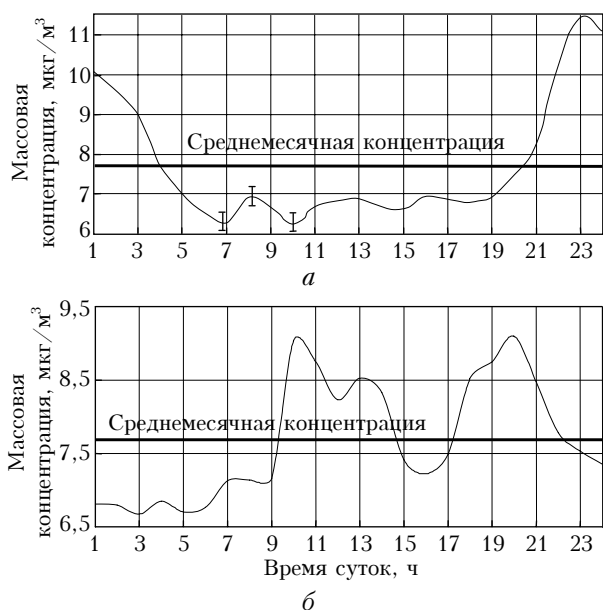


Рис. 1. Среднечасовые значения массовой концентрации атмосферного аэрозоля в приземном слое, усредненные: *а* — за 14 июня — 14 июля 1997 г.; *б* — за октябрь 1998 г.

Как видно из представленных графиков, суточная изменчивость массовой концентрации аккумулятивной фракции АА в теплый период в Новосибирской области описывается типичной зависимостью с минимумом в дневное время и максимумом — в ночное. Среднесуточная массовая концентрация в этот период составляет около $7,7 \text{ мкг/м}^3$. Эти результаты хорошо согласуются с нашими результатами, полу-

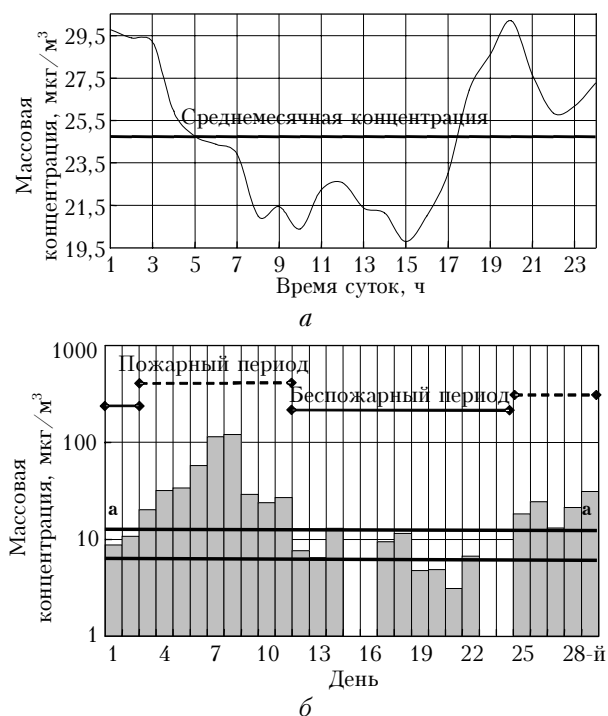


Рис. 2. Значения массовой концентрации атмосферного аэрозоля в приземном слое: *а* — среднечасовые усредненные за октябрь 1997 г.; *б* — среднесуточные за октябрь 1997 г.

ченными в 2004 г. [28]. Проанализируем теперь результаты измерений суточного цикла в октябре 1997 г. Эти данные приведены на рис. 2, *а*.

Форма изменчивости суточного цикла в этот период подобна представленным на рис. 1, но среднесуточное значение массовой концентрации субмикронной фракции АА почти в 3 раза выше. Это связано с тем, что в октябре 1997 г. лесные пожары отмечены не каждый день. Чтобы выделить дни с пожарами, был использован следующий прием. В каждые сутки были рассчитаны среднесуточные значения массовой концентрации, которые приведены в виде гистограммы на рис. 2, *б*. Жирными горизонтальными линиями показан диапазон изменений, в который попадали значения среднесуточных концентраций, измеренные в июне—июле 1997 г. и октябре 1998 г. В результате вся совокупность дней, в которые были измерены среднесуточные концентрации в октябре 1997 г., была разбита на две группы. В первую попали дни, когда среднесуточные концентрации были ниже горизонтальной линии *аа*. Дни, попавшие в первую группу, мы отнесли к беспожарному сезону. Вторая группа была отнесена к периоду, когда проходили лесные пожары. Для каждой группы были рассчитаны суточные циклы временной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА. Результаты этих расчетов представлены на рис. 3.

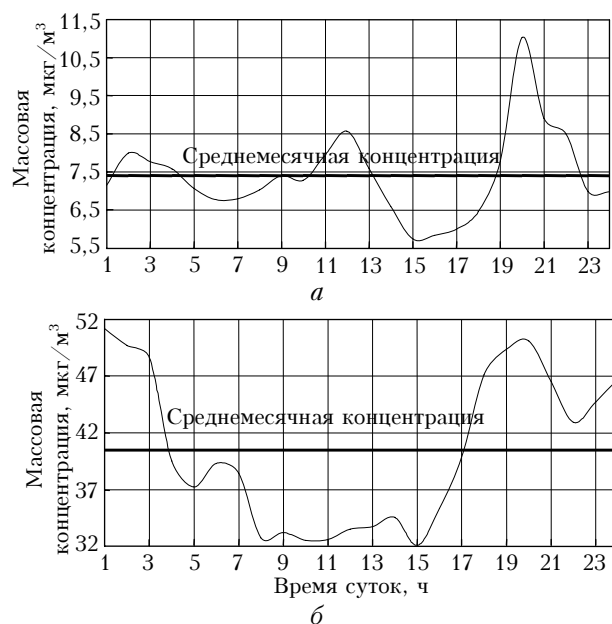


Рис. 3. Среднечасовые значения массовой концентрации атмосферного аэрозоля в приземном слое, усредненные за октябрь 1997 г.: *а* — по дням, когда не наблюдались экстремальные значения массовой концентрации; *б* — по дням, когда наблюдались экстремальные значения массовой концентрации

Из рис. 3, *а* видно, что среднесуточная концентрация массовой концентрации субмикронной фракции в беспожарный период составила $7,5 \text{ мкг/м}^3$, что близко к величине среднесуточных значений в летний период 1997 г. и осенний период 1998 г. В пожарный

период среднесуточное значение достигло 40 мкг/м^3 , что почти в 5 раз превышает аналогичную величину в беспожарный период. Из рис. 2, б видно, что наиболее сильное влияние пожаров проявилось в период с 6 по 9 октября 1997 г. Поэтому мы рассчитали динамику суточной изменчивости массовой концентрации за каждый день с 6 по 9 октября 1997 г. (рис. 4).

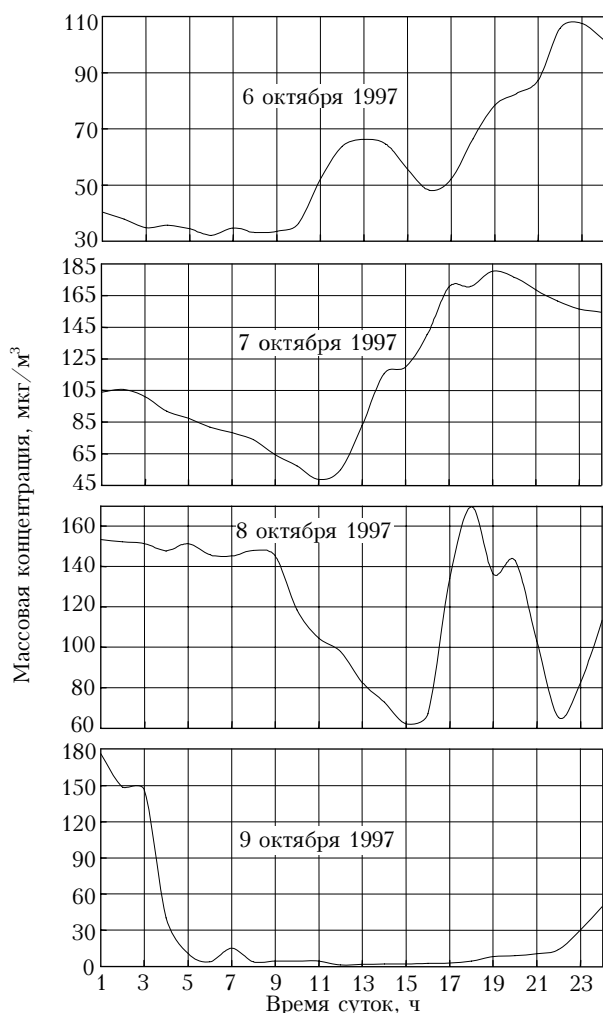


Рис. 4. Средние значения за 1 ч массовой концентрации атмосферного аэрозоля в приземном слое

Из приведенных графиков видно, что наиболее интенсивное задымление наблюдалось 7 и 8 октября 1997 г. В эти дни максимальная среднечасовая концентрация достигала $170\text{--}180 \text{ мкг/м}^3$, а минимальная не опускалась ниже $45\text{--}60 \text{ мкг/м}^3$. В начале рассматриваемого нами периода (6 октября) даже в ночное время массовая концентрация субмикронной фракции АА составляла около 30 мкг/м^3 . В последующий период концентрация постоянно росла и к концу суток достигла 110 мкг/м^3 . В полдень 6, 7 и 8 октября концентрация колебалась в пределах $60\text{--}80 \text{ мкг/м}^3$. В ночное время 6 октября массовая концентрация субмикронной фракции изменялась в пределах $105\text{--}110 \text{ мкг/м}^3$, 7 октября — в пределах $150\text{--}180 \text{ мкг/м}^3$, 8 октября — в пределах $60\text{--}180 \text{ мкг/м}^3$. 9 октября с 3 ч утра наблюдалось резкое снижение массовой

концентрации. Уже к 5 ч утра концентрация снизилась почти до нуля. Такой низкий уровень сохранялся почти до 22 ч. К 24 ч 9 октября массовая концентрация увеличилась до 40 мкг/м^3 . Столь низкие массовые концентрации в дневное время 9 октября и резкое снижение в предрассветный период мы связываем с выпадением осадков, которые привели к затуханию пожара.

Таким образом, в реальных условиях получены данные о влиянии аэрозольной эмиссии от лесных пожаров на изменение видимости в суточном цикле. С учетом того что в точке наблюдения проводились комплексные измерения химического состава атмосферных аэрозолей, массовой концентрации, содержания органического и неорганического углерода (сажи), ионного и многоэлементного состава [24], этот эксперимент является уникальным, так как он позволяет получить более полную информацию о свойствах дымовых шлейфов и их влиянии на оптические свойства атмосферы, а также другие физико-химические атмосферные процессы. Результаты измерений в приземном слое атмосферы спектральной зависимости коэффициента ослабления в области $0,44\text{--}12 \text{ мкм}$, коэффициента аэрозольного рассеяния на длине волны $0,52 \text{ мкм}$, функции распределения частиц по размерам в диапазоне $0,4\text{--}10 \text{ мкм}$ и массовой концентрации сажи в аэрозоле в период дымовой мглы, наблюдавшейся в регионе Западной Сибири в октябре 1997 г., приведены также в работе [29].

Измерения оптических характеристик дымового аэрозоля, образующегося при пожарах торфяников в июле—сентябре 2002 г. в Московской области, приведены в [30, 31]. В этих работах проанализированы вариации метеорологической дальности видимости и массовой концентрации субмикронного аэрозоля в приземном слое и в толще атмосферы [30].

Радиационные измерения, проведенные на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН с мая по сентябрь 2002 г., использованы для оценки величины коротковолнового аэрозольного радиационного форсинга для 10 безоблачных периодов.

Выводы

1. Предложена компьютерная методика обработки аналоговых данных, представленных на диаграммных лентах нефелометра, которая позволяет получить данные в цифровой форме с диаграмм, на которых зафиксированы показания нефелометра ФАН-А в предыдущие годы.

2. Методика представления данных в цифровом виде использовалась для анализа особенностей суточной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции АА от дымовых шлейфов в осенний период 1997 г. на фоновой территории Новосибирской области.

1. Whitby K.R. The physical characteristics of sulfur aerosols // Atmos. Environ. 1978. V. 12. P. 135–159.
2. Jaenicke R.J. Aerosol Physics and Chemistry // Landolt-Boernstein Numerical Data and Space Res., 4 Meteor. (b): Physical and Chemical Properties of Air (ed. G. Fisher). Springer, 1988. P. 391–457.

3. Charlson R.J. Atmospheric Visibility to Mass Concentration // Rev. Environ. Sci. Technol. 1969. V. 3. P. 913–914.
4. Tombach I., Allard D. Intercomparison of Visibility Measurement Methods // J. Air Pollut. Control Assoc. 1980. V. 30. N 2. P. 134–142.
5. Charlson R.J., Ahlquist N.C., Horvath H. On the generality of correlation of atmospheric aerosol mass concentration and light scatter // Atmos. Environ. 1968. V. 2. P. 455–469.
6. Lee R.E., Caldwell J.S., Morgan G.B. The Evaluation of Methods for Measuring Suspended Particulates in Air // Atmos. Environ. 1972. V. 6. P. 593–622.
7. Schelf P.A., Wadden R.A. Comparisons of Three Methods of Particulate Measurement in Chicago // Air Atmos. Environ. 1979. V. 13. P. 639–643.
8. Ensor D., Charlson R., Ahlquist N., Whitby K., Husar R., Liu B. Multiwavelength nephelometer measurements in Los Angeles smog aerosol: 1. Composition of calculated and measured light scattering / G. Hidy (ed.) // Aerosols and Atmos. Chem. AP. NY., 1972. P. 315–324.
9. Горчаков Г.И., Розенберг Г.В. Корреляционные связи между оптическими характеристиками мелкодисперсных дымок // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1967. Т. III. № 6. С. 611–620.
10. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. Л.: ГИМИЗ, 1966. 324 с.
11. Зуев В.Е., Иелев Л.С., Кондратьев К.Я. Новые результаты исследований атмосферного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1973. Т. IX. № 4. С. 371–385.
12. Сидоров В.Н. Проточный поляризационный нефелометр // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1979. Т. XV. № 7. С. 63–67.
13. Панченко М.В. Нефелометрия в комплексных исследованиях атмосферного аэрозоля: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Томск, 1994. 13 с.
14. Розенберг Г.В. Определение микрофизических параметров золь по данным комплексных оптических измерений // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1976. Т. XII. № 11. С. 1159–1168.
15. Сидоров В.Н. Вариации концентраций субмикронного аэрозоля в приземном слое (Москва/Подмосковье, осень 1993). Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Ч. III. Препр. / ИФА. (М.). 1995. № 2. С. 82–87.
16. Емиленко А.С., Сидоров В.Н. Синхронные измерения концентрации субмикронного аэрозоля в Москве и Подмосковье. Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Ч. II. Препр. / ИФА. (М.). 1992. № 9. С. 93–104.
17. Сидоров В.Н. Вариации содержания субмикронного аэрозоля в приземном слое (Подмосковье, 1991). Там же. С. 105–115.
18. Дьяков А.Ф., Емиленко А.С. Изучение пространственного распределения субмикронного аэрозоля нефелометрическим методом // Состояние и охрана воздушного бассейна курортных районов. Кисловодск, 1990. С. 90–97.
19. Емиленко А.С. Исследование вариаций концентрации субмикронного аэрозоля в атмосфере города // Там же. С. 53–60.
20. Емиленко А.С., Сидоров В.Н. Нефелометрический способ определения временных и пространственных изменений концентрации субмикронного аэрозоля. Препр. / ИФА. (М.). 1991. № 1. С. 53–89.
21. Куценогий П.К., Буфетов А.С., Киров Е.П., Шуйский С.И. Динамика суточного и сезонного циклов аэрозолеобразования в атмосфере по измерениям в Новосибирской области // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8. № 9. С. 1355–1365.
22. Куценогий П.К. Сезонная изменчивость суточного цикла массовой концентрации субмикронной фракции континентального атмосферного аэрозоля удаленных территорий // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10. № 5. С. 1327–1335.
23. Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Власенко А.Л., Дульцева Г.Г., Еременко С.И., Козлов А.С., Мальшикин С.Б., Пащенко С.Э. Смоговая ситуация в Новосибирске в период с 5 по 11 октября 1997 г. (Предварительный обзор полученных данных) // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 11. № 12. С. 1344–1345.
24. Смоляков Б.С., Куценогий П.К., Макаров В.И., Ковальская Г.А., Смирнова А.И., Павлюк Л.А., Филимонова С.Н. Влияние лесных пожаров на химический состав аэрозоля // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 523–527.
25. Панченко М.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М. Методические аспекты самолетных нефелометрических исследований тропосферного аэрозоля в региональном масштабе // Оптика атмосфер. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1022–1032.
26. Панченко М.В., Польшин В.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П., Якушева Е.П. О формировании среднерегионального аэрозольного фона // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8. № 7. С. 1112–1114.
27. Бизин М.А., Куценогий П.К. Автоматизация нефелометрических измерений атмосферных аэрозолей // Тез. докл. XI Рабочей группы «Аэрозоли Сибири». Томск, 2004. С. 49.
28. Бизин М.А., Куценогий П.К., Макаров В.И., Куценогий К.П. Сезонная и суточная изменчивость массовой концентрации субмикронной фракции атмосферных аэрозолей в пригородной зоне г. Новосибирска // Тез. докл. XII Рабочей группы «Аэрозоли Сибири». Томск, 2005. С. 47.
29. Козлов В.С., Панченко М.В., Польшин В.В., Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н., Якушева Е.П. Исследование особенностей динамики оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в дымовой мгле // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 5. С. 406–410.
30. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарев Т.Я., Семутников Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование задымленной атмосферы Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2004. Т. 40. № 3. С. 366–380.
31. Тарасова Т.А., Горчакова И.А., Свириденков М.А., Аникин П.П., Ромашова Е.В. Оценка радиационного форсинга дымового аэрозоля по данным радиационных измерений на Звенигодской научной станции ИФА РАН летом 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2004. Т. 40. № 4. С. 514–524.

P.E. Zolotarev, P.K. Kutsenogii, L.K. Trubina, K.P. Kutsenogii. Time variability of mass concentration of atmospheric aerosol submicron fraction in the suburbs of Novosibirsk in summer and autumn periods.

A computer technique is described which involves GIS-technologies for converting analog information recorded on diagram tapes into a digital form. Examples are presented of the application of this technique for determining the regularities of the seasonal variability of the daily cycle of the mass concentration of a submicron fraction of atmospheric aerosols in the suburban zone of Novosibirsk and the influence of aerosol emissions of forest fires and atmospheric precipitation.