

УДК 551.510.42

Временная изменчивость концентраций субмикронных и крупнодисперсных частиц в приземном слое атмосферы на Аэрозольной станции ИОА СО РАН г. Томска (2000–2020 гг.)

В.В. Польшин[✉], М.В. Панченко*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 22.03.2022 г.;
после доработки 7.04.2022 г.;
принята к печати 11.04.2022 г.

Представлен анализ долговременной изменчивости микроструктурных характеристик аэрозоля в приземном слое атмосферы, измеренных в мониторинговом режиме на аэрозольной станции ИОА СО РАН за период 2000–2020 гг. Оценки проведены на основе следующих характеристик: концентраций субмикронных N_f , крупнодисперсных N_c частиц и их соотношения N_f/N_c . Рассмотрены два массива данных: «полный» и отдельно для типа «аэрозольной погоды» «фон». Определено, что диапазон изменения среднегодовых значений общей концентрации частиц $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ составлял $8 \div 50 \text{ см}^{-3}$, а для фоновых ситуаций — $5 \div 30 \text{ см}^{-3}$. Достоверные долговременные тренды исследуемых характеристик не выявлены. Спектральный анализ среднемесячных концентраций для массива «фон» показал наличие значимого (с вероятностью 0,95) временного периода ~ 1 год для параметров N_f/N_c и N_f и его отсутствие для N_c .

Ключевые слова: субмикронный и крупнодисперсный атмосферный аэрозоль, временная изменчивость, фоновый аэрозоль, Западная Сибирь; submicron and coarse atmospheric aerosol, temporal variability, background aerosol, Western Siberia.

Введение

Недостаточность знаний о параметрах атмосферного аэрозоля приводит к высокой неопределенности в оценках радиационного форсинга и глобального изменения климата [1–3]. Всемирная метеорологическая организация, признавая важность влияния аэрозоля на формирования погоды и климата, выделила его основные параметры, которые были рекомендованы для долговременного мониторинга в глобальной сети наземных станций по программе WMO/GAW [4–6], в том числе и микрофизические: счетная и массовые концентрации частиц субмикронной и крупнодисперсной фракций, распределение частиц по размерам. Данные об оптических характеристиках аэрозоля необходимы для коррекции результатов зондирования земной и водной поверхности со спутников [7–10]. Еще в конце XX в. был получен большой объем сведений о характеристиках аэрозоля и основных процессах его образования и трансформации [11–20]. В настоящее время уделяется особое внимание организации наблюдений, интерпретации получаемых данных,

развитию прогностических моделей, их верификации [21]. Регулярные измерения массовой и счетной концентраций аэрозоля и массовой концентрации поглощающего вещества в составе аэрозоля проводятся на Аэрозольной станции ИОА СО РАН с 1996 г. [22, 23].

В настоящей работе обсуждаются результаты мониторинга микроструктурных характеристик аэрозоля (субмикронного и крупнодисперсного) в приземном слое атмосферы пригорода Томска в 2000–2020 гг., а также измерений счетных концентраций субмикронных частиц. Для каждого года, сезона и месяца определены средние концентрации субмикронных (радиусом $r = 0,2 \div 0,5 \text{ мкм}$) N_f и крупнодисперсных ($r > 0,5 \text{ мкм}$) N_c частиц и их отношения N_f/N_c . Анализ был проведен как для полного массива данных, так и отдельно для типа «аэрозольной погоды» «фон» [24], который может составлять от 8% от всех случаев зимой и до 33% летом.

Аппаратура и объем данных

Основные методические и аппаратные составляющие нашего подхода к комплексным исследованиям атмосферного аэрозоля подробно описаны

* Виктор Викторович Польшин (victor@iao.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru).

в [24, 25]. Измерения проводились 1 раз в час с помощью автоматизированного аэрозольного комплекса, в который в разное время входили фотоэлектрические счетчики частиц АЗ-5, ПКГТА, GRIMM. Текущие данные о параметрах доступны в сети Internet (<http://aerosol.iao.ru>). За период с 2000 по 2020 г. после чистки и отбраковки получено 173 тыс. часовых измерений, включающих в себя все типы «аэрозольной погоды», из которых на тип «фон» приходится 38 тыс. измерений.

Межгодовая изменчивость

Рассмотрим межгодовую изменчивость счетных концентраций субмикронных N_f и крупнодисперсных частиц N_c и их отношения N_f/N_c .

Частицы изучаемого диапазона размеров наиболее активно участвуют в процессе рассеяния излучения в видимом диапазоне длин волн. В [26, 27] на основе представлений о микроструктуре аэрозоля, полученных по данным многолетних измерений с помощью фотоэлектрических счетчиков, нами была проведена аппроксимация распределения частиц по размерам двумя логнормальными распределениями. Но для целей настоящей работы анализ временной изменчивости распределения частиц по размерам проведен по данным многолетних измерений на основе непосредственно измеренных характеристик. В настоящей работе средние концентрации частиц анализировались как для полного массива данных (обозначены на рисунках и в тексте как «все ситуации»), так и отдельно для типа «фон» состояния приземной атмосферы (аэрозольной погоды) [24]. Разделение на типы осуществляется по данным параллельных измерений

коэффициента рассеяния сухой основы аэрозоля σ_d и относительного содержания поглощающего вещества P .

На рис. 1 представлен временной ход среднегодовых значений N_f/N_c , N_f , N_c и общей концентрации частиц $N(r > 0,2 \text{ мкм}) = N_f + N_c$ для «всех ситуаций» в сравнении с «фоном» ($\sigma_d < 100 \text{ Мм}^{-1}$, $P \leq 0,05$). Видно, что высокие вариации среднегодовых концентраций $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ (нижний график на рис. 1, а) наблюдаются как для общего массива данных, так и для фоновых ситуаций. Фоновые концентрации заметно ниже, чем концентрации для всего массива данных, и их временные ряды повторяют друг друга. Диапазон изменчивости $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ для всего массива данных находится в пределах от 7,59 (в 2001 г.) до 50,1 см^{-3} (в 2018 г.). Общая концентрация $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ для «фона» меняется от 5,45 (в 2001 г.) до 29,9 см^{-3} (в 2018 г.). Необходимо отметить, что в общий массив входят ситуации с пожарами, смогами, антропогенным воздействием. Высокая достоверность различия между «фоном» и «всеми ситуациями» приводится нами в [23]. Мощные пожары, отмеченные в Западной Сибири в 2012 и 2016 гг., на «фоновые» значения $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ практически не влияют. Однако в период 2000–2004 гг. «фоновые» значения $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ заметно возрастают. Возможно, это связано с тем, что в 2012 и 2016 гг. пожары были в Томской обл., ближе к точке измерений, а в 2004 г. регистрировались дымы очень удаленных лесных пожаров в Иркутской обл. и Красноярском крае и по условному критерию разделения по типам «аэрозольной погоды» [24] в «фоновые» ситуации могли попадать ситуации с дымами.

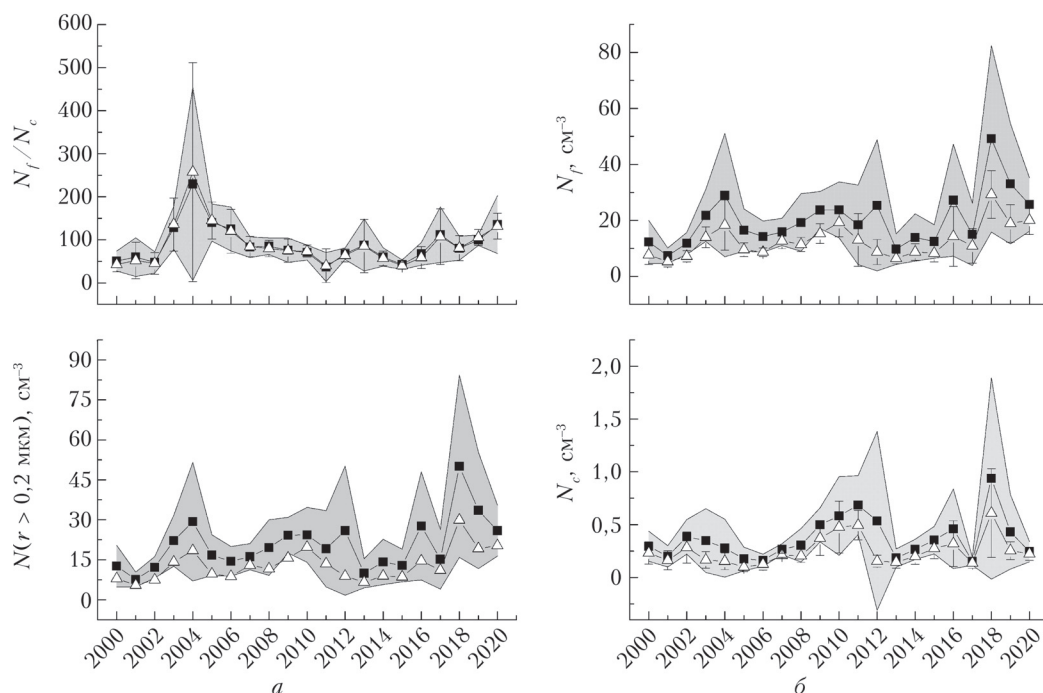


Рис. 1. Среднегодовые значения параметров: а – N_f/N_c и $N(r > 0,2 \text{ мкм})$; б – N_f и N_c , для «всех ситуаций» (квадраты) и для «фона» (треугольники). Здесь и далее светло-серая область – СКО для «всех ситуаций», «усы» – СКО для «фона»

Частично это подтверждается верхним графиком на рис. 1, *a* и *b*, где видно, что отношение N_f/N_c в 2004 г. выросло, скорее всего, за счет меньшего роста N_c , что характерно для прихода в точку измерения субмикронных частиц, переносимых на большие расстояния. Особенно заметны высокие значения N_f/N_c в 2004 г. на рис. 2, *a*, где представлены «фоновые» среднемесячные значения N_f/N_c , N_f и N_c для 2000–2020 гг. Видно, что рост отношения N_f/N_c в 2004 г. обусловлен низкими значениями N_c .

Спектральный анализ по методу быстрого преобразования Фурье (БПФ), проведенный для среднегодовых значений N_f/N_c , N_f и N_c для «всех ситуаций» и для «фона», показал отсутствие значимых временных ритмов с вероятностью 0,95. Значимые временные тренды среднегодовых значений N_f/N_c , N_f и N_c отсутствуют.

Рассмотрим для «фоновых» ситуаций временную изменчивость среднемесячных значений N_f/N_c , N_f и N_c . Если значения этих параметров для одного года нормировать на их среднегодовую величину, то временная изменчивость проявится наиболее отчетливо. Результаты представлены на рис. 2, *b*. Для наглядности здесь дополнительно приводятся сглаживающие по пяти точкам серые кривые. Из рис. 2 видно, что для всех N_f/N_c , N_f и N_c проявляется периодическая структура. Период вариаций параметров близок к одному году. Спектральный анализ по БПФ, проведенный по среднемесячным значениям N_f/N_c , N_f и N_c для «фона», показал наличие значимого с вероятностью 0,95 временного периода ~ 1 год для N_f/N_c и N_f . Значимого временного периода для N_c не найдено.

Для среднемесячных значений N_f/N_c , N_f и N_c временные тренды не значимы с вероятностью 0,95.

Годовой ход

Рассмотрим годовую изменчивость параметров $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f/N_c , N_f и N_c для среднемесячных значений за весь период 2000–2020 гг., которые представлены на рис. 3, для общего массива и для «фона».

Из рис. 3 видно, что общая концентрация $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ для «всех ситуаций» и «фона» достоверно различается, что и отмечалось в [23]. В годовом ходе на рост общей концентрации $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ в мае и июле влияют думы природных пожаров, а в декабре–феврале – смоговые ситуации, которые слабо сказываются на N_f/N_c . Годовой ход отношения N_f/N_c для «всех ситуаций» и для «фона» практически совпадает как по среднемесячным значениям, так и по СКО (рис. 3, *a*, верхний график). Максимальные значения для N_f/N_c приходятся на октябрь–январь, самое большое значение в декабре – 150. Минимальные значения N_f/N_c приходятся на июнь – сентябрь ($58 \div 60$) с небольшим ростом в июле (72). Для «фона» и всего массива данных средние значения N_f/N_c достоверно различаются только между минимальными значениями в июне–августе и максимальными в декабре–феврале с вероятностью 0,95. Годовая изменчивость среднемесячных значений N_f и N_c для «фона» и «всех ситуаций», представленная на рис. 3, *b*, похожа. Только СКО и размах между минимальными и максимальными значениями для «фона» заметно меньше. Так, для «всех ситуаций» минимальные

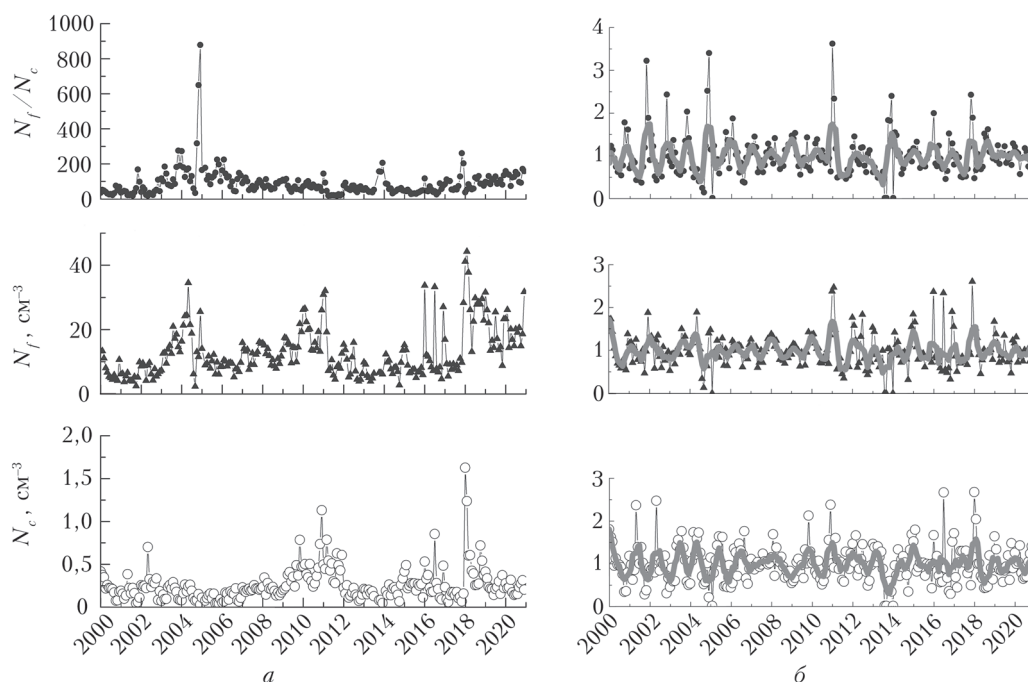


Рис. 2. «Фоновые» значения N_f/N_c , N_f и N_c для 2000–2020 гг.: *a* – среднемесячные абсолютные; *b* – среднемесячные, нормированные на среднегодовые значения

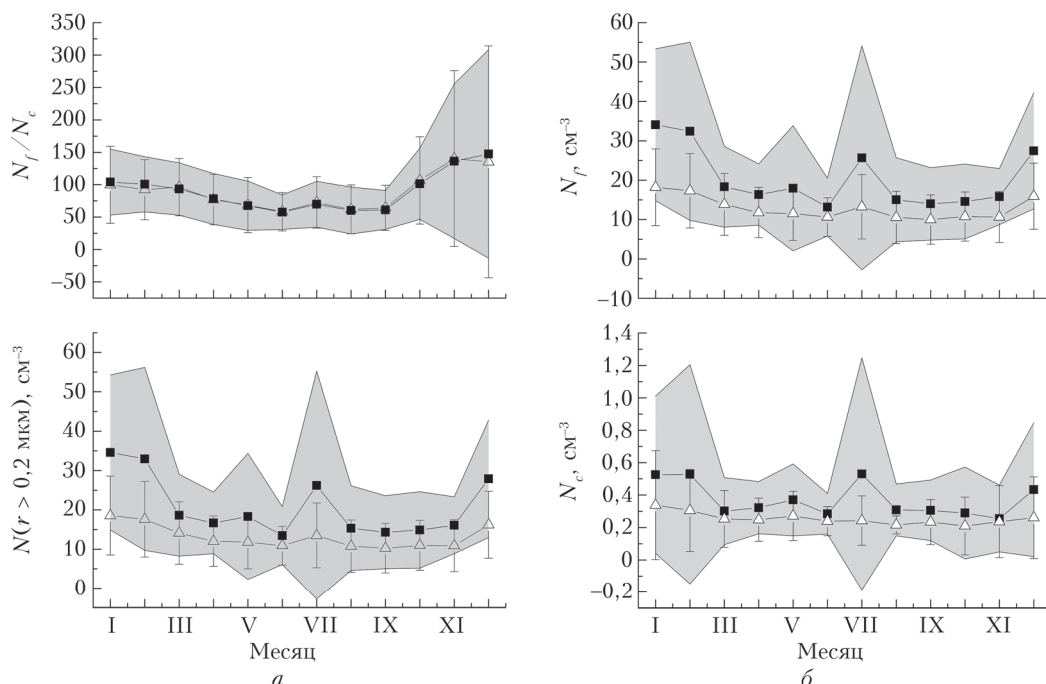


Рис. 3. Годовой ход среднемесячных значений за 2000–2020 гг.: *а* – N_f/N_c и $N(r > 0,2 \text{ мкм})$; *б* – N_f и N_c , для «всех ситуаций» (квадраты) и для «фона» (треугольники)

среднемесячные значения N_f отмечаются в июне ($13,2 \text{ см}^{-3}$), а максимальные – в январе ($34,1 \text{ см}^{-3}$).

Минимум среднемесячных значений N_f для «фона» наблюдается в сентябре ($10,0 \text{ см}^{-3}$), а максимум – в январе ($18,2 \text{ см}^{-3}$). Максимальные среднемесячные СКО для N_f «фона» в январе – 62%, минимальные в июне – 40%. Максимальные среднемесячные СКО для N_f в общем массиве в июле – 110%, минимальные в ноябре – 44%. Для N_c различие в среднемесячных значениях и СКО между «фоном» и «всеми ситуациями» не так заметно. Рост концентраций в июле, когда высока вероятность воздействия лесных пожаров, проявляется наиболее отчетливо для «всех ситуаций», причем как для N_f , так и для N_c .

Межгодовая изменчивость среднесезонных концентраций

Рассмотрим временную изменчивость параметров $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f/N_c , N_f и N_c для зимы, весны, лета, осени по их сезонным значениям для каждого года только в «фоновой» ситуации. В «зиме» входят календарные месяцы с ноября по март включительно, и среднее «зимы» относим ко второму году. Это не касается сезонов «весна» (апрель, май), «лето» (июнь – август) и «осень» (сентябрь, октябрь), так как эти месяцы не выходят за рамки одного календарного года.

На рис. 4 представлены сезонные значения N_f/N_c , $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f и N_c , осредненные для каждого года (среднегодовые сезонные значения). Статистический анализ различия среднегодовых сезонных значений N_f/N_c , $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f и N_c

за 2000–2020 гг. показал высокую вероятность различия (0,95) между сезонами. Однако для отдельных лет и сочетаний сезонов эти различия незначительны с вероятностью 0,9 и выше. В частности, это относится к 2001 г. для всех параметров, к 2006 и 2013 гг. – для общей концентрации $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f и N_c . Но полагаем, что при моделировании функции распределения по размерам целесообразно учитывать сезонный ход N_f/N_c . Особенно это относится к периоду 2003–2006 гг., где проявляется значительный рост N_f/N_c (верхний график на рис. 4, *а*). Диапазон изменчивости N_f/N_c от лета к зиме достигает $111 \div 377$, что объясняется главным образом низкими значениями N_c для всех сезонов и высокими значениями N_f для весны, зимы и лета (нижний график на рис. 4, *б*).

Обращает на себя внимание почти одинаковое поведение $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ и N_f для всех сезонов (нижний график на рис. 4, *а* и верхний на рис. 4, *б*). Это проявилось и для среднегодовых значений параметров на рис. 1, где приведены межгодовые зависимости для «фона» без разделения на сезоны (нижний график на рис. 1, *а* и верхний на рис. 1, *б*).

Зимой увеличение повторяемости радиационных инверсий приводит к накоплению аэрозольного вещества в приземном слое и увеличению концентрации субмикронных частиц. Весной по мере прогрева подстилающей поверхности усиливаются процессы конвективного выноса, что вызывает снижение концентрации частиц субмикронного диапазона в приземном слое. В летних условиях этот процесс происходит наиболее интенсивно, а выносом крупнодисперсных частиц с сухой подстилающей поверхности турбулентными потоками вблизи поверхности обусловлено увеличение их концентрации

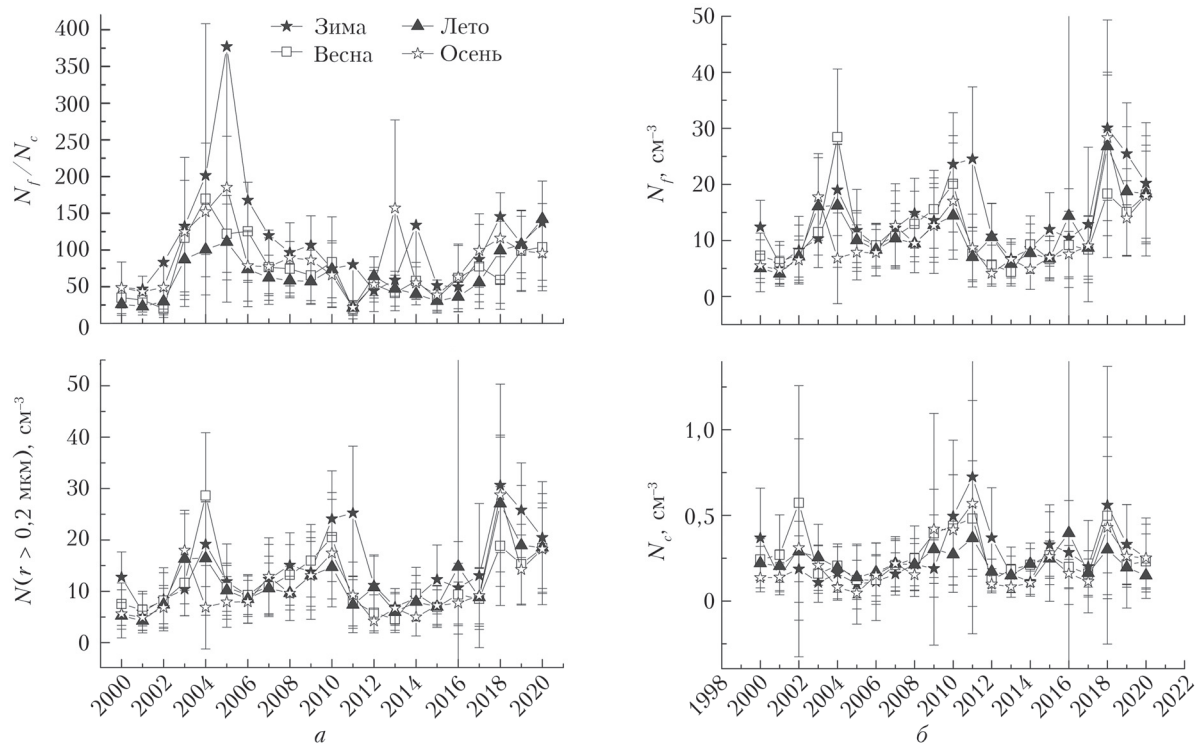


Рис. 4. Временная изменчивость среднегодовых сезонных значений счетных концентраций: а – N_f/N_c и $N(r > 0,2 \text{ мкм})$; б – N_f и N_c , для типа «аэрозольной погоды» «фон»

в приземном слое. Осенью интенсивность этих процессов снижается, а частые осадки препятствуют поступлению частиц с почвы.

Заключение

Анализ экспериментальных данных микроструктурных параметров, полученных на аэрозольной станции ИОА СО РАН, показал, что за период 2000–2020 гг. диапазон изменчивости среднегодовых значений общей концентрации частиц $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ составляет $7,59 \pm 50,1 \text{ см}^{-3}$, а для «фоновых» ситуаций – $5,45 \pm 29,9 \text{ см}^{-3}$. Среднегодовые значения отношения концентраций субмикронных и крупнодисперсных частиц N_f/N_c от лета к зиме варьируются в диапазоне $111 \div 377$. У среднегодовых вариаций N_f/N_c , N_f и N_c достоверные временные тренды не наблюдаются.

Спектральный анализ по быстрому преобразованию Фурье показал, что как для «всех ситуаций», так и для «фона» с вероятностью 0,95 отсутствуют значимые периодичности среднегодовых значений N_f/N_c , N_f и N_c . Спектральный анализ БПФ по среднемесячным концентрациям для «фона» показал значимый с вероятностью 0,95 временной период ~ 1 год для N_f/N_c и N_f и его отсутствие для N_c .

Годовой ход среднемесячных значений общей концентрации $N(r > 0,2 \text{ мкм})$ для «всех ситуаций» и «фона» различается достоверно с вероятностью 0,95. Среднемесячные значения параметров $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f/N_c , N_f и N_c «всех ситуаций» в июле и январе превышают «фоновые» в два раза. Дымы природ-

ных пожаров в мае и июле и смоговые ситуации в декабре – феврале хорошо проявляются в годовых ходах $N(r > 0,2 \text{ мкм})$, N_f и N_c и N_f/N_c .

Финансирование. Общий массив данных для анализа сформирован на основе выборки микроструктурных характеристик из массива многолетних комплексных наблюдений, проводимых в рамках государственного задания по проекту № 121031500342-0. Анализ ритмов временной изменчивости концентраций аэрозоля для общего массива и фоновых условий проведен с целью корректного учета специфики изменения входных параметров в региональной оптико-микрофизической модели Западной Сибири в рамках задач проекта РНФ (соглашение № 19-77-20092).

Список литературы

1. IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.). Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2013. 1535 p. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.
2. URL: <https://www.ipcc.ch/> (last access: 14.03.2022).
3. Boucher O., Randall D., Artaxo P., Bretherton C., Feingold G., Forster P., Kerminen V.-M., Kondo Y., Liao H., Lohmann U., Rasch P., Satheesh S.K., Sherwood S., Stevens B., Zhang X.Y. Clouds and Aerosols // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

- Change. New York: Cambridge University Press, 2014. P. 571–657.
4. WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures: Guidelines and Recommendations. Geneva: WMO, 2003. N 153. 67 p.
 5. WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures, Guidelines and Recommendations. Geneva: WMO, 2016. N 227. 103 p.
 6. WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Implementation Plan: 2016–2023. Geneva: WMO, 2017. N 228. 84 p.
 7. *Satellite aerosol remote sensing over land* / A.A. Kokhanovsky, G. de Leeuw (eds.). Chichester: Springer, Praxis, 2009. 398 p. DOI: 10.1007/978-3-540-69397-0.
 8. von Hoyningen-Huene W., Yoon J., Vountas M., Istomina L.G., Rohen G., Dinter T., Kokhanovsky A.A., Burrows J.P. Retrieval of spectral aerosol optical thickness over land using ocean color sensors MERIS and SeaWiFS // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. 4, N 2. P. 151–171.
 9. Белов В.В., Тарасенков М.В., Энгель М.В., Гриднев Ю.В., Зимовая А.В., Познахарев Е.С., Абрамочкин В.Н., Федосов А.В., Кудрявцев А.Н. Атмосферная коррекция спутниковых изображений земной поверхности в оптическом диапазоне длин волн. Оптическая связь на рассеянном излучении // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 9. С. 753–757; Belov V.V., Tarasenkova M.V., Engel M.V., Gridnev Yu.V., Zimovaya A.V., Abramochkin V.N., Poznakharev E.S., Fedosov A.V., Kudryavtsev A.N. Atmospheric correction of satellite images of the Earth's surface in the optical wavelength range. Optical communication based on scattered radiation // Atmos. Ocean. Opt. 2020. V. 33, N 1. P. 80–84.
 10. Тарасенков М.В., Зимовая А.В., Белов В.В., Энгель М.В. Восстановление коэффициентов отражения земной поверхности по спутниковым измерениям MODIS с учетом поляризации излучения // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 8. С. 641–649; Tarasenkova M.V., Zimovaya A.V., Belov V.V., Engel M.V. Retrieval of reflection coefficients of the Earth's surface from modis satellite measurements considering radiation polarization // Atmos. Ocean. Opt. 2020. V. 33, N 2. P. 179–187.
 11. Розенберг Г.В. Рассеяние света в земной атмосфере // Успехи физ. наук. 1960. Т. 71, вып. 2. С. 173–213.
 12. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы // М.: Мир, 1965. 424 с.
 13. Розенберг Г.В., Сандомирский А.Б. Оптическая стратификация атмосферного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1971. Т. 7, № 7. С. 737–749.
 14. Bullrich K. Scattering Radiation in the atmosphere and the natural aerosol // Adv. Geophys. 1964 V. 10. P. 99–260.
 15. Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. М.: Советское радио, 1966. 317 с.
 16. Розенберг Г.В. Оптические исследования атмосферного аэрозоля // Успехи физ. наук. 1968. Т. 95, вып. 1. С. 159–208.
 17. Розенберг Г.В. Свойства атмосферного аэрозоля по данным оптического исследования // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1967. Т. 3, № 9, С. 936–949.
 18. Атмосферный аэрозоль и его влияние на перенос излучения. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 119 с.
 19. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. М.: Гидрометеиздат, 1986. 160 с.
 20. Розенберг Г.В. Возникновение и развитие атмосферного аэрозоля — кинетически обусловленные параметры // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1983. Т. 19, № 1. С. 21–35.
 21. Boucher O., Bellassen V., Ciais P., Crigui P., Guivarch C., Le Treut H., Mathy S., Sferian R. In the wake of Paris Agreement, scientists must embrace new directions for climate change research // PNAS. 2016 V. 113, N 27. P. 7287–7290. DOI: 10.1073/pnas.1607739113.
 22. <https://pnas.org/content/pnas/113/27/7287.full.pdf> (last access: 14.03.2022).
 23. Kozlov V.S., Panchenko M.V., Tumakov A.G., Shmargunov V.P., Yausheva E.P. Some peculiarities of the mutual variability of the content of soot and sub-micron aerosol in the near-ground air layer // J. Aerosol Sci. 1997. V. 28, suppl. 1. P. 231–232.
 24. Панченко М.В., Полькин В.В., Полькин В.В., Козлов В.С., Яушева Е.П., Шмаргунов В.П. Распределение по размерам «сухой основы» частиц в приземном слое атмосферы пригородного района г. Томска в рамках эмпирической классификации типов «аэрозольной погоды» // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 7. С. 539–547; Panchenko M.V., Pol'kin V.V., Pol'kin V.V., Kozlov V.S., Yausheva E.P., Shmargunov V.P. Size distribution of dry matter of particles in the surface atmospheric layer in the suburban region of Tomsk within the empirical classification of aerosol weather types // Atmos. Ocean. Opt. 2019. V. 32, N 6. P. 655–662.
 25. Шмаргунов В.П., Полькин В.В. Аэрозольный счетчик на базе АЗ-5 // Приборы и техника эксперимента. 2007. № 2. С. 165.
 26. Панченко М.В., Свириденков М.А., Терпугова С.А., Козлов В.С. Активная спектрофелометрия в исследовании микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, № 5–6. С. 428–436.
 27. Панченко М.В., Полькин В.В. Представление о микроструктуре тропосферного аэрозоля Сибири на основе измерений фотоэлектрическим счетчиком // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14, № 6–7. С. 526–537.
 28. Панченко М.В., Козлов В.С., Полькин В.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. Восстановление оптических характеристик тропосферного аэрозоля Западной Сибири на основе обобщенной эмпирической модели, учитывающей поглощающие и гигроскопические свойства частиц // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 1. С. 46–54.

V.V. Pol'kin, M.V. Panchenko. Temporal variability of submicron and coarse aerosol concentrations in the surface air layer at the Aerosol Station of Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk (2000–2020).

The long-term temporal variability of the microstructural characteristics of aerosol in the surface air layer, measured in the monitoring mode at the aerosol station of IAO SB RAS in 2000–2020, is analyzed. Estimates are made on the basis of the concentrations of submicron (N_f) and coarse (N_c) particles and their ratio N_f/N_c . Two data arrays are considered: “full” and for the “background” aerosol weather type. The range of variations in the annual average values of the total concentration of particles $N(r > 0.2 \mu\text{m})$ is found to be $8\text{--}50 \text{ cm}^{-3}$, and for background situations, $5\text{--}30 \text{ cm}^{-3}$. No reliable long-term trends in the characteristics under study are revealed. Spectral analysis of the monthly average concentrations for the “background” array shows the presence of a significant (with a probability of 0,95) time period of about a year for N_f/N_c and N_f and its absence for N_c .