

УДК 620.187:551.510.42

## МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

© 2023 г. Д. П. Губанова<sup>1, \*</sup>, Н. В. Садовская<sup>2</sup>, М. А. Иорданский<sup>1</sup>,  
А. С. Авилов<sup>2</sup>, В. М. Минашкин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

“Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук”, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное учреждение “Федеральный научно-исследовательский центр

“Кристаллография и фотоника” Российской академии наук”, Москва, Россия

<sup>3</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие

“Всероссийский научно-исследовательский институт “Центр” Минпромторга России”, Москва, Россия

\*E-mail: gubanova@ifaran.ru

Поступила в редакцию 20.04.2023 г.

После доработки 22.05.2023 г.

Принята к публикации 28.06.2023 г.

Методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа исследованы морфология и состав аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы Москвы с учетом сезонных и синоптико-метеорологических условий. Выявлены основные морфологические типы частиц природного и антропогенного происхождения.

DOI: 10.31857/S036767652370240X, EDN: OIXSEY

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно [1, 2], благодаря уникальности и изменчивости своих свойств аэрозоли играют активную роль в атмосферных процессах, оказывающих воздействие на состояние биосферы и приводящих к изменению климата Земли. Эта роль возрастает в условиях крупного промышленного мегаполиса, при наличии локальных источников генерации частиц и особого режима воздушных потоков, формируемого плотной застройкой, микроклиматом и рельефом города. При этом в приземном слое городской атмосферы аэрозольные частицы, загрязняя различные объекты окружающей среды, могут негативно влиять на здоровье и жизнедеятельность человека.

Реакционная способность аэрозольных частиц в атмосферных гетерогенных процессах, зависящая от их морфологии и элементного состава, определяет изменчивость газо-аэрозольного состава атмосферы, ее радиационных и оптических характеристик, а также специфику образования и свойств облаков [2]. Кроме того, строение и состав аэрозольных частиц служат своеобразным индикатором антропогенных и природных источников эмиссии аэрозолей в городскую среду, в том числе за счет регионального и дальнего атмосферного переноса загрязняющих примесей.

В последние годы в мире изучению морфологии частиц атмосферных аэрозолей уделяется большое внимание, (например, [3–13]). В этих публикациях, в частности, рассмотрены форма, размер и элементный состав частиц антропогенного и природного происхождения в разные сезоны в различных регионах мира, идентифицированы их основные источники в городах. Интересные результаты научной экспедиции в центральные Гималаи описаны в [14]. Выявлено, что по морфологии и элементному составу аэрозольные частицы в высокогорных Гималаях (г. Эверест) сопоставимы с аэрозолями в Центральной Азии и Арктике, а вклад в состав атмосферного аэрозоля в Гималаях может вносить перенос примесей из северо-западной части Индии.

Информация, важная для моделирования климатических эффектов аэрозолей, получена о морфологии и составе минеральной пыли [15, 16] и углеродсодержащих частиц, образующихся в различных процессах горения (летучая зола, сажа, органический углерод, шарики смолы и др.), включая результаты численных экспериментов [3, 18–23].

Несмотря на актуальность вопроса, в последние годы опубликовано немного работ отечественных ученых, связанных с морфологией аэрозольных частиц в атмосфере. Они относятся

к натурным и лабораторным исследованиям микроструктуры и состава углеродсодержащих аэрозольных частиц различной природы [24, 25], а также нерастворимых аэрозолей в снежном покрове, например, [26, 27].

Настоящее исследование связано с определением морфологии и элементного состава отдельных микрочастиц аэрозолей, содержащихся в приземном слое атмосферы Московского мегаполиса, с учетом сезонной изменчивости и различных синоптико-метеорологических условий.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись отдельные частицы атмосферного аэрозоля, содержащиеся в аэрозольных пробах. Пробы отбирали в ходе комплексного эксперимента по изучению изменчивости физико-химических характеристик приземного аэрозоля, реализуемого в ИФА им. А.М. Обухова РАН в 2019–2022 гг. [28]. Пункт наблюдений располагался в административно-деловом центре столицы, на территории института (Пыжевский пер., д. 3). Забор аэрозольных проб осуществляли на высоте 2 м от подстилающей поверхности на гидрофобные мембранные фильтры из политетрафторэтилена (ПТФЭ) и волокнистые фильтры из ткани Петрянова с помощью малообъемного пробоотборника воздуха. Время отбора проб составляло от 12 до 24 ч в разные дни в зависимости от сезона, синоптической обстановки и метеорологических условий. Были отобраны пробы при различном уровне аэрозольного загрязнения атмосферы мегаполиса: при высоком росте концентрации приземного аэрозоля вследствие регионального переноса аэрозолей горения или дальнего переноса пыли, а также во время работы близкого интенсивного локального источника; в период локдауна из-за пандемии COVID-19 при снижении антропогенной нагрузки в городе; при доминировании неблагоприятных метеорологических условий, способствующих накоплению загрязняющих примесей в воздухе; при значительном очищении атмосферы от аэрозольных частиц во время господства арктических воздушных масс и др.

Изучение свойств отдельных аэрозольных частиц проводили электронно-зондовыми методами, которые уже давно нашли широкое применение при решении подобных задач [2–4, 6, 7, 10, 12, 13, 29]. В настоящем исследовании при морфологическом анализе аэрозольных частиц применяли метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения с автоэмиссионным катодом JSM 7500F фирмы JEOL (Япония). Изображения получали в режиме вторичных электронов, так как этот режим обеспечивал наиболее высокое разрешение (при энергии

первичного пучка 15 кэВ разрешение составляло 1.5 нм). Исследовали образцы сухих фильтров с пробой (аэрозольными частицами), случайным образом вырезанные из основных фильтров, размером примерно 5 мм<sup>2</sup>. С целью исключения зарядки, возникающей в диэлектриках под действием электронного зонда, на поверхность образцов методом магнетронного распыления наносили металлическую пленку платины толщиной 5 нм. При различных увеличениях ( $\times 1000$ – $\times 45000$ ) получали по три или более изображений каждого образца.

Методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) определяли локальный элементный состав отдельных частиц, размеры которых были сопоставимы с размером области генерации характеристического рентгеновского излучения. В случае более мелких частиц (например, 100 нм) исследовали их агломераты. Использовали аналитическую приставку к растровому электронному микроскопу – энергодисперсионный микроанализатор INCA Penta FET-x3 фирмы OXFORD INSTRUMENTS (Великобритания). Анализатор был оборудован кремний-литиевым детектором с азотным охлаждением, разрешение по углероду составляло 129 эВ. Калибровку детектора осуществляли по излучению  $\text{CoK}\alpha$  от эталонного металлического кобальта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования проанализировано более 1900 частиц атмосферного аэрозоля, идентифицированных в 189 аэрозольных пробах, отобранных в Москве в разные сезоны 2019–2022 гг. Выявлены типичные группы частиц в составе приземного аэрозоля Московского мегаполиса, имеющие различную морфологию, состав и происхождение. Формы частиц варьируются от фрактальных агрегатов сфер (агломераты сажевых частиц) до частиц неправильной формы биогенного и минерального происхождения. Размеры обнаруженных частиц меняются в широком диапазоне: от десятков нанометров до десятков микрон.

Все исследованные частицы можно условно разделить на три основные группы:

- частицы/агломераты частиц антропогенного происхождения, образующиеся в процессах горения, при промышленной деятельности и работе транспорта;
- частицы/агломераты частиц минерального происхождения;
- биогенные частицы/агломераты частиц (биоаэрозоли).

Группа частиц антропогенного происхождения состоит в основном из углеродсодержащих частиц и частиц, обогащенных серой, тяжелыми металлами и иными антропогенными элемента-

ми. В условиях промышленного мегаполиса они имеют многочисленные локальные источники, деятельность которых и обуславливает специфику морфологической структуры и состава частиц, а также их сезонную изменчивость. Их эмиссии вкпе с эмиссией газовых примесей ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , ЛОС и др.) вносят существенный вклад в атмосферную химию, усложняя гомогенные и гетерогенные процессы в атмосфере.

В наших исследованиях в данной группе при анализе аэрозольных проб в разные сезоны наиболее часто идентифицировали агломераты сажевых частиц (рис. 1а), являющихся одними из самых сильных загрязняющих примесей атмосферы. Первичные сферические частицы атмосферной сажи размером до нескольких десятков нм участвуют в процессе агрегации и образуют фрактальные кластеры, состоящие из десятков и сотен первичных частиц. Результаты исследований, подобные нашим, опубликованы в ряде работ, например, в [3, 5, 7, 15, 21]. В теплые сезоны года (лето, осень) в составе приземного аэрозоля в Москве были обнаружены частицы летучей золы (рис. 1б). Они представляют собой алюмосиликатные сферы сгорания диаметром 2–10 мкм, выделяемые при сжигании угля. Летучая зола по элементному составу отличается высоким содержанием кислорода, алюминия и силикатов и может быть обогащена углеродом, железом, кальцием. Элементный состав летучей золы может изменяться за счет обогащения такими элементами, как, углерод, железо, кальций [3]. В атмосфере крупных городов летучую золу выявляют достаточно часто [3, 7, 11], ее источником могут служить также выбросы с железных дорог [30]. Кроме рассмотренных типов, в аэрозольных пробах были идентифицированы одиночные крупные (размером от нескольких до 10 мкм) углеродсодержащие частицы сферической или овальной формы с примесью минеральных элементов и серы, а также сложные агломераты из углеродсодержащих, почвенных и кристаллических частиц, обогащенных Na, K, Mg, Ca, Al и др. Аналогичные результаты были получены другими исследователями [6, 7].

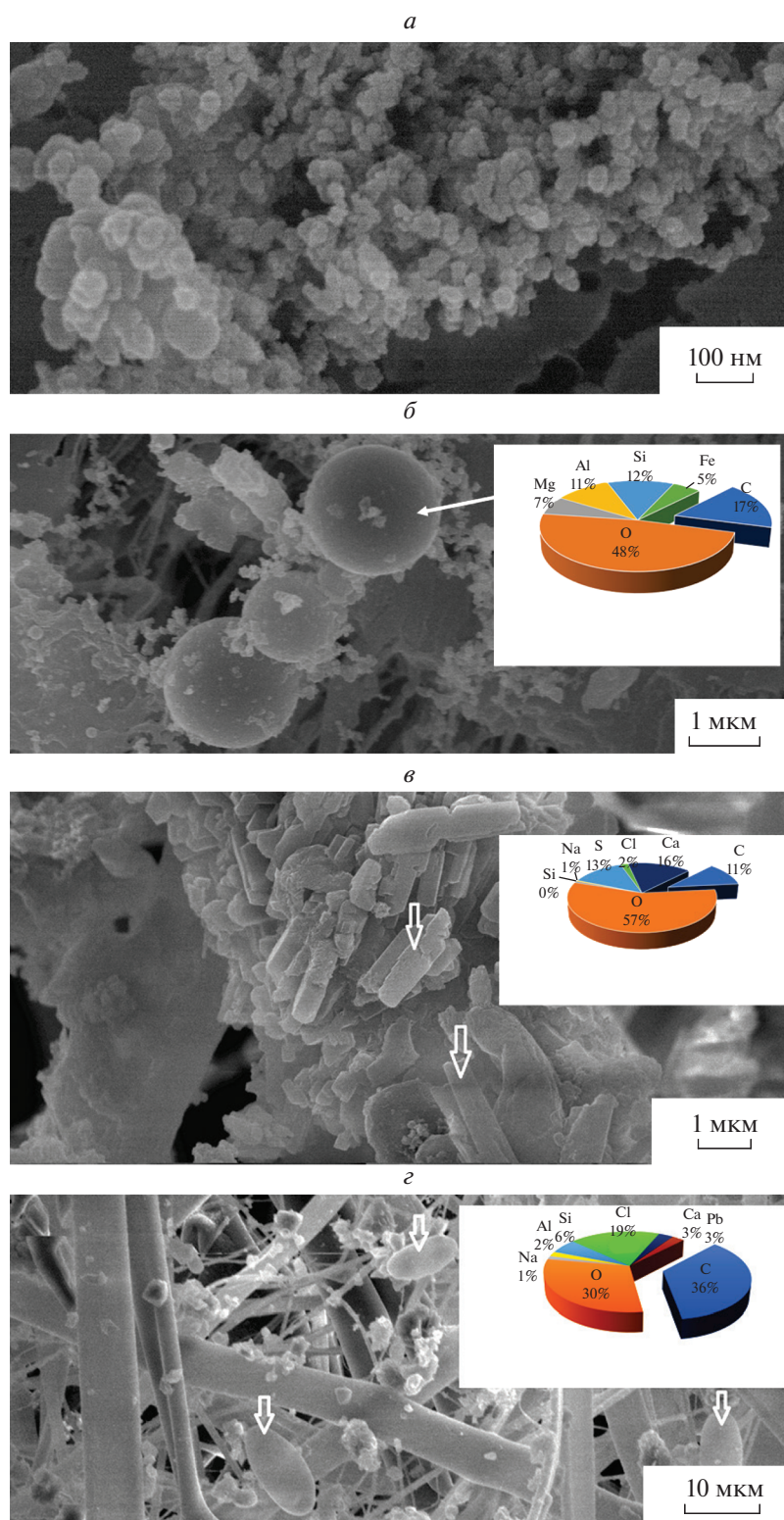
В зимних пробах были обнаружены агломераты серосодержащих частиц в форме кристаллов или блоков (рис. 1в) с примесью кальция, солей, силикатов и в некоторых случаях — со следами тяжелых металлов. Элементный состав этих частиц свидетельствует о том, что наиболее вероятные их источники связаны с антропогенной деятельностью. В отдельных пробах летом 2021 г. было выявлено небольшое количество агломератов частиц гипса, который может иметь как минеральное происхождение, так и образовываться в результате охлаждения и разбавления дымовых газов при сжигании. Элементный состав гипса отличается атомным соотношением серы и кальция 1 : 1 и наличием большого количества кисло-

рода [3]. В наших исследованиях также были идентифицированы частицы минерального и антропогенного происхождения различной структуры и состава, содержащие незначительное количество серы: от частиц алюмосиликатов или солей неправильной формы до фрактальных агрегатов сажевых частиц.

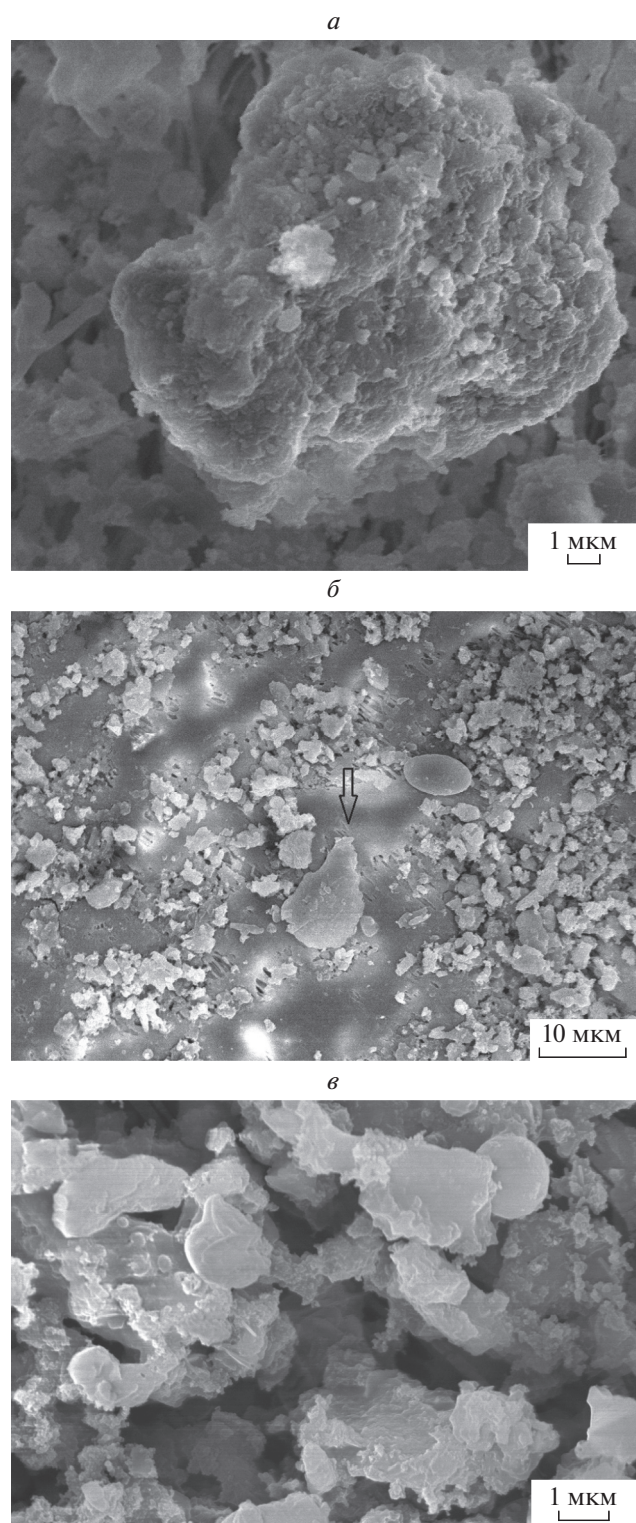
Частицы, обогащенные металлами (Pb, Ti, Cr, Cu, Mn, Ni), были выявлены в аэрозольных пробах, отобранных в разные сезоны. В следовых и незначительных количествах они находились в алюмосиликатах, частицах солей, фрактальных агрегатах сажи, а также в железистых частицах. Одним из городских источников этих частиц является ресуспендирование дорожной пыли в результате износа шин, истирания механических частей транспортных средств, сжигания масел и др. [7]. Кроме того, источники вышеупомянутых частиц металлов могут быть связаны с работами, в которых используются строительные материалы (цементы, сталь, железо и др.).

В холодное время года (осень, зима, ранняя весна) в аэрозольных пробах доминировали частицы солей или солей с примесью алюмосиликатов, имеющие антропогенное происхождение. Их высокое содержание в приземном слое атмосферы в Москве в холодные сезоны обусловлено интенсивным применением службами городского хозяйства противогололедных реагентов и моющих составов для дорожных покрытий. В уникальных условиях локдауна в Москве при пандемии COVID-19 весной 2020 г. городскими службами регулярно проводилась масштабная дезинфекция улиц и дорог с использованием хлорсодержащих препаратов (гипохлорит натрия, хлорная известь и др.). Данные факторы обусловили высокое содержание в составе атмосферного аэрозоля в Москве обогащенных хлором частиц (рис. 1г). Однако в целом в теплые сезоны в пробах идентифицировали достаточно малое количество хлорсодержащих частиц, что свидетельствует об отсутствии сильных локальных городских источников хлора в это время года.

В составе приземного аэрозоля природного (почвенного) происхождения в Москве доминируют частицы алюмосиликатной группы. Алюмосиликаты являются основным типом соединений в земной коре и составляют в пересчете на массу около 75% [7]. Результаты морфологического анализа наших проб показали, что частицы и агломераты частиц алюмосиликатов содержатся в большом количестве в аэрозолях Москвы, особенно в теплые сезоны года, и являются основными природными загрязнителями атмосферы. Обнаруженные алюмосиликатные частицы имеют неправильную форму с размером от нескольких мкм до десятков мкм и в основном состоят из оксидов Al и Si с различным количеством Ca, Fe, K,



**Рис. 1.** РЭМ-изображения и элементный состав (на врезке) углеродсодержащих аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы Московского мегаполиса: типичные агломераты сажевых частиц (а), частицы летучей золы (б), кристаллы серосодержащих частиц с примесью кремния и солей (в), хлорсодержащие частицы (г), обнаруженные в аэрозольной пробе весной 2020 г. после масштабной дезинфекции улиц Москвы в период локдауна из-за пандемии COVID-19.



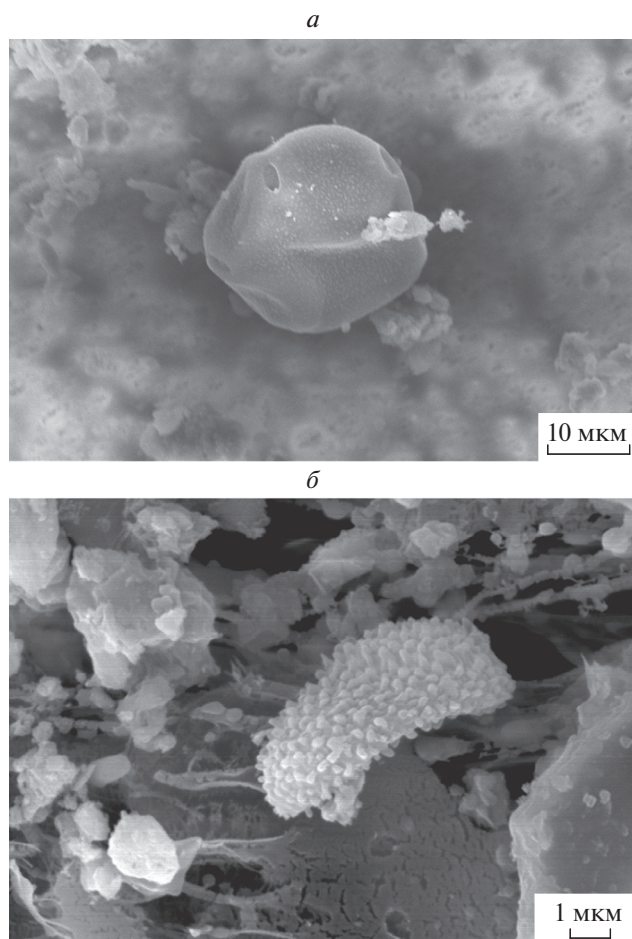
**Рис. 2.** РЭМ-изображения минеральных аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы Московского мегаполиса: силикат алюминия и кальция (а), калиевый полевой шпат (б), глинистая частица (в).

Mg. Наибольшее количество идентифицированных в пробах алюмосиликатов составляли силикаты алюминия и кальция (гроссуляр), электронное микроизображение которых представлено на рис. 2а. Также были выявлены силикаты алюминия и магния, силикаты алюминия, магния и железа, калиевый полевой шпат (рис. 2б), глина (рис. 2в), кварц и иные виды алюмосиликатов и силикатов со следами других частиц минеральной пыли. Особенно большое количество почвенных частиц в составе приземного аэрозоля в Москве наблюдали в периоды аномально высокого аэрозольного загрязнения атмосферы вследствие дальнего и регионального переноса пыли в Московский регион или во время работы близкого интенсивного локального антропогенного источника [28, 31]. Подобные результаты были опубликованы в ряде статей, посвященных исследованию морфологических характеристик аэрозольных частиц в мегаполисах Восточной Азии [7, 16, 17]. В холодное время года в аэрозольных пробах найдено незначительное количество алюмосиликатов с примесью солей и тяжелых металлов, что в данном случае свидетельствует об антропогенной составляющей происхождения таких частиц в приземном аэрозоле в Москве.

Аэрозольные частицы биологического происхождения (биоаэрозоли) играют жизненно важную роль во взаимодействии между атмосферой, биосферой, климатом и здоровьем населения и представляют собой переносимые по воздуху частицы или крупные молекулы, которые либо являются живыми, переносят живые организмы, либо выделяются живыми организмами (например, бактерии, споры грибов, вирусы, пыльца, биопленки, остатки клеток и др.) [1, 2]. В Москве биоаэрозоли были обнаружены в теплые сезоны (весна–осень), причем в пробах доминировали пыльца растений и споры грибов (рис. 3). Их элементный состав включает углерод и кислород со следами некоторых элементов (Na, Mg, Ca, K, Al, Fe, Si, S, P). В отдельных биогенных частицах также были выявлены следы тяжелых металлов (Pb, Cu) и солей, обусловленные эмиссиями от локальных антропогенных источников.

Редкий результат был получен при исследовании морфологической структуры частиц в составе приземного аэрозоля в Москве летом 2021 г. В 4-х пробах идентифицирован еще один вид биоаэрозолей – брохосомы (рис. 4), представляющие собой квазисферические полые пористые образования размером 0.2–0.7 мкм [32], схожие по геометрической структуре с молекулами фуллерена  $C_{60}$  [33]. Подобные результаты в Московском мегаполисе получены впервые.

Биоаэрозоли различных видов, включая брохосомы, в составе приземного воздуха городов и урбанизированных районов были идентифици-

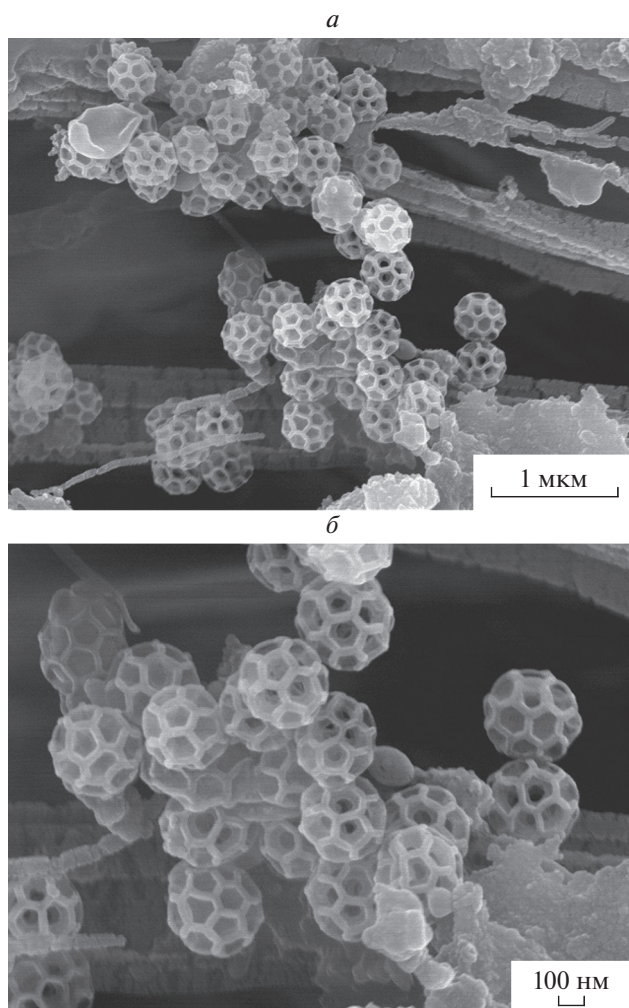


**Рис. 3.** РЭМ-изображения биогенных аэрозольных частиц (биоаэрозолей) в приземном слое атмосферы Московского мегаполиса: пыльца (а); конидиоспора (б).

рованы в зарубежных исследованиях, в частности, в работах [3, 7, 15, 34]. В отечественной литературе подобная информация встречается редко, например, [35, 36], а сведения о брохосомах в составе приземных аэрозолей вовсе отсутствуют.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методами РЭМ и РСМА исследованы морфология и состав отдельных частиц в составе приземного аэрозоля в Московском мегаполисе в разные сезоны 2019–2022 г. и при различных синоптико-метеорологических условиях. По результатам морфологического анализа проб выявлены основные типы аэрозольных частиц антропогенного и природного происхождения. К первой группе относятся фрактальные кластеры сажи, летучая зола, серосодержащие и солевые частицы, а также частицы, обогащенные тяжелыми металлами. Их эмиссия в городской воздух обусловлена различными локальными источниками (предприятия



**Рис. 4.** РЭМ-изображения брохосом, обнаруженных в составе приземного аэрозоля в Москве летом 2021 г., полученные при различных увеличениях:  $\times 23000$  (а),  $\times 50000$  (б).

теплоэнергетики и общепита, промышленное производство, выбросы от транспорта и др.). Ко второй группе принадлежат минеральные частицы, состоящие из различных типов силикатов и алюмосиликатов. Их источники связаны с подстилающей поверхностью в теплое время года, а также с региональным и дальним переносом пылевого аэрозоля. Также в составе приземного аэрозоля в Москве обнаружены биоаэрозоли: споры грибов, пыльца растений, органические волокна и брохосомы. Идентификация последних – редкий и новый результат, впервые полученный при натурных наблюдениях характеристик приземного аэрозоля в Москве и в других регионах России.

Работа выполнена в рамках тем государственных заданий ИФА им. А.М. Обухова РАН и ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН”, а

также при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50088; Микромир).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. 2nd edition. N.Y.: Wiley, 2006. 1232 p.
2. Pósfai M., Buseck P.R. // Annu Rev. Earth Planet. Sci. 2010. V. 38. No. 1. P. 17.
3. Kang E., Park I., Lee Y.J. et al. // J. Nanosci. Nanotechnol. 2012. No. 7. Art. No. 6016.21.
4. Yue W., Li X., Liu J. et al. // Sci. Total. Environ. 2006. V. 368. No. 2–3. P. 916.
5. Mishra S.K., Saha N., Singh S. et al. // MAPAN. 2017. V. 32. No. 3. P. 229.
6. Li W., Shao L., Wang Z. et al. // J. Environ. Sci. 2010. V. 22. No. 4. P. 561.
7. Pachauri T., Singla V., Satsangi A. et al. // Aerosol Air Qual. Res. 2013. V. 13. No. 2. P. 523.
8. Murari V., Kumar M., Singh N. et al. // J. Atmos. Chem. 2016. V. 73. P. 165.
9. Ueda S., Osada K., Takami A. // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. No. D17. Art. No. D17207.
10. Genga A., Siciliano T., Siciliano M. et al. // Environ. Monit. Assess. 2018. V. 190. No. 8. P. 456.
11. Ebert M., Müller-Ebert D., Benker N. et al. // J. Environ. Monit. 2012. V. 14. No. 12. P. 3257.
12. Karaca F., Anil I., Yildiz A. // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2019. V. 26. No. 23. P. 24020.
13. Longoria-Rodríguez F.E., González L.T., Mancilla Y. et al. // Toxics. 2021. V. 9. P. 37.
14. Mugica V., Maubert M., Torres M. et al. // J. Aerosol Sci. 2002. V. 33. No. 1. P. 91.
15. Cong Z., Kang S., Dong S. et al. // Environ. Monit. Assess. 2010. V. 160. No. 14. P. 323.
16. Shao L., Li W., Yang S. et al. // Sci. China Ser. D. 2007. V. 50. No. 6. P. 953.
17. Mishra S.K., Agnihotri R., Yadav P.K. et al. // Aerosol Air Qual. Res. 2015. V. 15. P. 974.
18. Tumolva L., Park J.-Y., Kim J. et al. // Aerosol Sci. Technol. 2010. V. 44. No. 3. P. 202.
19. China S., Mazzoleni C., Gorkowski K. et al. // Nature Commun. 2013. V. 4. Art. No. 2122.
20. Liu L., Kong S., Zhang Y. et al. // Sci. Reports. 2017. V. 7. Art. No. 5047.
21. China S., Salvadori N., Mazzoleni C. // Environ. Sci. Technol. 2014. V. 48. No. 6. P. 3128.
22. Qin Z., Zhang Q., Luo J. et al. // Environ Res. 2022. V. 214. Part 2. Art. No. 113895.
23. Wu Yu., Cheng T., Zheng L. et al. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2016. V. 168. P. 158.
24. Поповичева О.Б., Кустлер М., Киреева Е.Д. и др. // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. 2017. Т. 53. № 1. С. 56; Popovicheva O.B., Kireeva E.D., Persiantseva N.M. et al. // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2017. V. 53. № 1. P. 49.
25. Поповичева О.Б., Козлов В.С., Рахимов Р.Ф. и др. // Опт. атм. и океана. 2016. Т. 29. № 4. С. 323.
26. Shevchenko V.P., Vorobyev S.N., Krickov I.V. et al. // Atmosphere. 2020. V. 11. P. 1184.
27. Топчая В.Ю., Чечко В.А., Шевченко В.П. // Опт. атм. и океана. 2012. Т. 25. № 6. С. 518.
28. Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Iordanskii M.A., Skorokhod A.I. // Atmosphere. 2022. V. 13. P. 574.
29. Sielicki P., Janik H., Guzman A. et al. // Crit. Rev. Analyt. Chem. 2011. V. 41. P. 314.
30. Suzuki K., Takii T., Tomiyasu et al. // Appl. Surf. Sci. 2006. V. 252. No. 19. P. 7022.
31. Gubanova D., Chkhetiani O., Vinogradova A. et al. // AIMS Geosci. 2022. № 8(2). P. 277.
32. Rakitov R., Moysa A.A., Kopylov A.T. et al. // Insect Biochem. Mol. Biol. 2018. V. 94. P. 10.
33. Трошин П.А., Любовская Р.Н. // Усп. химии. 2008. Т. 77. № 4. С. 323.
34. Valsan A.E., Priyamvada H., Ravikrishna R. et al. // Atmos. Environ. 2015. V. 122. P. 321.
35. Бородулин А.И., Сафатов А.С., Белан Б.Д., Панченко М.В. // ДАН. 2002. Т. 385. № 1. С. 113; Boro-dulin A.I., Safatov A.S., Belan B.D., Panchenko M.V. // Dokl. Biol. Sci. 2002. V. 385. No. 1–6. P. 285.
36. Андреева И.С., Сафатов А.С., Пучкова Л.И. и др. // Опт. атм. и океана. 2021. Т. 34. № 6(389). С. 408.

## Morphology of surface aerosol particles in Moscow via scanning electron microscopy

D. P. Gubanova<sup>a, \*</sup>, N. V. Sadovskaya<sup>b</sup>, M. A. Iordanskii<sup>a</sup>, A. S. Avilov<sup>b</sup>, V. M. Minashkin<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

<sup>b</sup>Federal Scientific Research Centre “Crystallography and Photonics of the Russian Academy of Sciences”, Moscow, 119333 Russia

<sup>c</sup>All-Russian Scientific Research Institute “Center” of the Ministry of Industry and Trade, Moscow, 123242 Russia

\*e-mail: gubanova@ifaran.ru

The morphology and composition of aerosol particles in the surface Moscow atmosphere have been studied by scanning electron microscopy and X-ray spectral microanalysis. The results are interpreted considering seasonal, synoptic, and meteorological conditions. The main morphological types of particles of natural and anthropogenic origin are revealed.