

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ГЕОХИ РАН

д.х.н., чл.-корр. РАН

Р. Х. Хамизов



« 10 » июня 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) о диссертации **Антоня Станиславовича БРЖЕЗИНСКОГО** «Изучение элементного состава и свойств наночастиц городской пыли Москвы и пеплов действующих вулканов Камчатки», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям: 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых; 1.4.2 – Аналитическая химия.

Диссертация выполнена в лаборатории геохимии наночастиц ГЕОХИ РАН. Научные руководители: Федотов Пётр Сергеевич, д.х.н. (ГЕОХИ РАН); Шилобреева Светлана Николаевна, к.г.-м.н. (ГЕОХИ РАН). В 2014 году соискатель окончил Химический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Химик». В 2021–2024 гг. обучался в очной аспирантуре ФГБУН «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН» по направлению «Науки о Земле», профиль — «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», по окончании которой присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». В период подготовки диссертации соискатель работал и по настоящее время работает в должности исполняющего обязанности младшего научного сотрудника лаборатории геохимии наночастиц ГЕОХИ РАН.

Соискателем сданы кандидатские экзамены по специальности 25.00.09 «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» и по специальности 02.00.02 «Аналитическая химия», что подтверждается соответствующими отметками в дипломе об окончании аспирантуры № 107724 0116747, выданном ФГБУ науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институтом геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук от 01.10.2024 г.

По результатам рассмотрения вышеозначенной диссертации принято следующее заключение.

Актуальность работы. Наночастицы (НЧ) городской пыли аккумулируют широкий спектр потенциально токсичных элементов (ПТЭ) (As, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Sb и др.), причём их содержание в НЧ часто значительно выше, чем в микрочастицах. Это формирует серьёзные экологические риски, особенно в промышленных и транспортно-нагруженных мегаполисах, где многочисленные источники загрязнения сложно идентифицировать. Несмотря на очевидную значимость проблемы, комплексные исследования, включающие большие массивы данных о составе НЧ городской пыли и источниках поступления ПТЭ, до настоящего времени отсутствуют.

Вулканический пепел является естественным источником НЧ и может служить удобной моделью для изучения процессов вулканической активности. НЧ фракции пепла

обладают высокой сорбционной способностью и аккумулируют микроэлементы, что делает их информативными геохимическими индикаторами эруптивных процессов. Для выделения достаточного количества НЧ, пригодного для количественного анализа, в последние годы применяется метод проточного фракционирования в поперечном силовом поле во вращающейся спиральной колонке (ВСК). Этот подход с использованием деионизованной воды как элюента показал эффективность при работе с образцами городской пыли, однако для ряда образцов вулканического пепла получаемого количества НЧ оказалось недостаточно для определения широкого спектра микроэлементов.

Таким образом, совершенствование методологии исследования состава, свойств и механизмов формирования НЧ городской пыли и вулканического пепла представляет собой актуальную междисциплинарную задачу. Развитие подходов к изучению элементного состава НЧ пепла открывает новые перспективы для исследования их элементного состава, распределения микроэлементов по фракциям и моделирования процессов формирования НЧ в ходе вулканических извержений.

Конкретное личное участие соискателя. Соискатель принимал непосредственное участие в планировании исследований, пробоподготовке образцов, проведении экспериментальных работ, обработке и интерпретации полученных данных, а также в подготовке публикаций по теме диссертации. Представленные в работе результаты получены автором лично либо при его непосредственном участии.

Степень достоверности результатов исследований. Полученные материалы были апробированы в рамках выполнения проектов Российского научного фонда, представлены в докладах на российских конференциях и опубликованы в рецензируемых российских и международных научных изданиях.

Научная новизна работы. Впервые получены обширные массивы данных элементного анализа наночастиц (НЧ) городской пыли Москвы. Применение методов статистической обработки позволило выявить комплекс природных и антропогенных процессов, определяющих поступление элементов в НЧ городской пыли.

Разработан новый подход к выделению НЧ из вулканического пепла с использованием пирофосфата в качестве элюента при проточном фракционировании в ВСК. Предложенный способ пробоподготовки продемонстрировал существенные преимущества по сравнению с традиционным выделением НЧ в деионизованной воде, которое не обеспечивало достаточной полноты выделения для последующего количественного анализа.

С применением нового подхода впервые определён широкий спектр микроэлементов в НЧ пеплов девяти действующих вулканов Камчатки (Толбачик — БТТИ, Южный прорыв и ТТИ, Кизимен, Шивелуч, Ключевской, Корякский, Безымянный, Жупановский, Карымский). Это позволило изучить взаимосвязь между элементным составом нано- и микрочастиц пепла, а также составом лав и вулканических газов.

Практическая значимость работы. Разработанный комплексный подход может быть использован для оценки потенциальной опасности наночастиц (НЧ) для окружающей среды, а также для выявления источников поступления потенциально токсичных элементов (ПТЭ) в состав НЧ городской пыли.

Предложенная новая методика фракционирования образцов вулканического пепла позволила увеличить выход фракции НЧ примерно в 10 раз по сравнению с традиционным фракционированием в ВСК с применением деионизованной воды в качестве элюента. Это обеспечило возможность определения элементов (Be, Cr, Co, Zn, Ag, Sb, Te, Ta, W, Tl, Bi), которые обычно находятся ниже предела обнаружения.

Расширение возможностей анализа элементного состава НЧ вулканического пепла перспективно для изучения формирования НЧ в процессе эруптивной деятельности вулканов.

Ценность научных работ соискателя. Полученные соискателем результаты имеют существенную ценность для дальнейшего развития представлений о составе и свойствах

наночастиц в природных и техногенных объектах. Новые сведения об элементном составе и морфологии НЧ городской пыли Москвы и вулканического пепла Камчатки расширяют понимание их роли в процессах миграции и перераспределения химических элементов, включая потенциально токсичные.

Разработанные и апробированные методические подходы к выделению и анализу НЧ позволяют решать как прикладные задачи экологической оценки качества среды, так и фундаментальные вопросы геохимии, связанные с формированием и поведением наночастиц в различных геосредах.

Таким образом, научные работы соискателя представляют значимость как в теоретическом, так и в практическом аспекте, обеспечивая основу для дальнейших исследований в области геохимии и аналитической химии НЧ.

Научные специальности, которым соответствует диссертация. Работа носит междисциплинарный характер и выполнена по двум научным специальностям: 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, и 1.4.2 – Аналитическая химия.

В рамках специальности 1.6.4 по направлению 13 («Изучение химического состава природного вещества и процессов распределения, концентрирования и фракционирования химических элементов») исследован элементный состав фракций НЧ вулканического пепла девяти вулканов Камчатки, проведено сопоставление с составом лав, пеплов и вулканических газов, рассчитаны коэффициенты концентрирования и охарактеризованы особенности распределения потенциально токсичных элементов.

По направлению 22 («Экологическая геохимия и геохимический мониторинг окружающей среды») дана оценка степени загрязнения городской пыли, пространственного распределения потенциально токсичных элементов и выявлены источники поступления микроэлементов в НЧ.

В рамках специальности 1.4.2 – Аналитическая химия по направлению 8 («Методы маскирования, разделения и концентрирования») предложена новая методика выделения фракций НЧ из вулканического пепла, обеспечившая существенное увеличение их выхода и возможность определения элементов, ранее находившихся ниже предела обнаружения.

По направлению 12 («Анализ объектов окружающей среды») впервые получены сведения об элементном составе фракций НЧ пеплов девяти действующих вулканов Камчатки, относящихся к различным типам магматизма.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Все основные результаты и выводы диссертационного исследования нашли отражение в публикациях автора и материалах его научных докладов. По теме диссертации опубликовано 9 работ, включая 5 статей и 4 тезиса докладов. Среди них — статьи в международных рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science (*Environmental Geochemistry and Health*, *Chemosphere*, *Molecules*), а также публикации в «Журнале аналитической химии», входящем в перечень ВАК РФ. Таким образом, все основные положения и выводы диссертации прошли апробацию и опубликованы в рецензируемых изданиях, включая ведущие международные журналы высокого квартиля и профильные журналы из перечня ВАК РФ.

Основные результаты изложены в следующих публикациях:

1. Anton S. Brzhezinskiy, Alexandr I. Ivaneev, Vasily K. Karandashev, Natalia N. Fedyunina, Mikhail S. Ermolin, Petr S. Fedotov. Nanoparticles of dust as an emerging contaminant in urban environments. *Environ Geochem Health* 46, 367 (2024).

2. Anton S. Brzhezinskiy, Alexandr I. Ivaneev, Vasily K. Karandashev, Mikhail S. Ermolin, Petr S. Fedotov. Assessment of sources, environmental, ecological, and health risks of potentially toxic elements in urban dust of Moscow megacity, Russia, *Chemosphere*, Volume 321, April 2023, 138142

3. **Anton S. Brzhezinskiy**, Mikhail S. Ermolin, Alexandr I. Ivaneev, Natalia N. Fedyunina, Vasily K. Karandashev and Petr S. Fedotov. Distribution of Platinum and Palladium between Dissolved, Nanoparticulate, and Microparticulate Fractions of Road Dust. *Molecules* 2022, 27, 6107.

4. **Бржезинский А.С.**, Ермолин М.С., Иванеев А. И., Карандашев В.К., Мохов А.В. и Федотов П.С. Антропогенный источник золота в московской городской пыли. *Журнал аналитической химии*, 2022, Т. 77, № 10, с. 956-966.

5. **Бржезинский А.С.**, Ермолин М.С., В.К. Карандашев, П.С. Федотов. Оптимизация способов пробоподготовки для повышения эффективности выделения наночастиц из образцов окружающей среды. *Журнал аналитической химии*, 2025, Т. 80, № 9. С 937-948.

Тезисы докладов:

1. Бржезинский А.С., Иванеев А.И., Ермолин М.С., Федотов П.С., «Выделение и анализ наночастиц городской пыли Москвы при идентификации антропогенных и природных источников их образования». XXII Менделеевском съезд по общей и прикладной химии. (г. «Сириус», 2024).

2. Бржезинский А.С., Ермолин М.С., Шилобреева С. Н., Федотов П.С. «Развитие методологии выделения наночастиц вулканических пеплов». XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. (г. «Сириус», 2024).

3. Бржезинский А.С., Ермолин М.С., Шилобреева С.Н., Федотов П.С. «Выделение и анализ наночастиц вулканического пепла» Всероссийский Ежегодный Семинар по Экспериментальной Минералогии, Петрологии и Геохимии (Хитариада 2024).

4. Бржезинский А.С., Иванеев А.И., Федотов П.С., Ермолин М.С., Карандашев В.К. «Оценка содержания тяжелых металлов в городской пыли города Москвы и их потенциальной опасности для городских экосистем». Конференция «Экоаналитика» (Устный). IV съезд аналитиков России. 26-30 сентября 2022, г. Москва.

Диссертация проверена в системе антиплагиат. В диссертации соблюдены ссылки на авторов и источники заимствования материала.

Диссертация вносит вклад в решение актуальных научных проблем, связанных с изучением природных и антропогенных наночастиц в окружающей среде, их роли в миграции химических элементов, включая потенциально токсичных. Работа вносит вклад в развитие и расширение области применения современных подходов к выделению наночастиц окружающей среды, исследованию их элементного состава и морфологии. Полученные результаты способствуют решению задач экологической оценки влияния наночастиц на окружающую среду и здоровье человека, а также фундаментальных проблем геохимии, связанных с исследованием элементного состава наночастиц, распределением микроэлементов между фракциями частиц различного размера и моделированием механизмов формирования наночастиц в ходе вулканических извержений.

Постановили:

Диссертация Антона Станиславовича Бржезинского рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.6.4 - минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых и 1.4.2 – Аналитическая химия.

Заключение принято на заседании расширенного семинара лаборатории геохимии наночастиц ГЕОХИ РАН 10.06. 2025 года. Присутствовало на заседании 25 человек, из них докторов наук 11 человек. Результаты голосования: «за» - единогласно. Протокол № 1 от 10.06.2025 года.

Председатель семинара, д.г.-м.н., в.н.с.,
лаборатории геохимии магматических и
метаморфических пород ГЕОХИ РАН



Криволуцкая Н.А.

Секретарь семинара, к.х.н., с.н.с.
лаборатории геохимии наночастиц



М.С. Ермолин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена
Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).
119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.19. Телефон: + 7 (499) 137-14-84. Факс: + 7 (495) 938-20-54
Электронная почта: director@geokhi.ru. Сайт: www.geokhi.ru.