

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

На диссертацию Бржезинского Антона Станиславовича «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

*Диссертационная работа Бржезинского Антона Станиславовича «Изучение элементного состава и свойств наночастиц городской пыли Москвы и пеплов действующих вулканов Камчатки» включает введение, четыре главы, заключение и список литературы. Во введении обоснованы актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования. В первой главе дан обзор современных представлений о наночастицах в окружающей среде, их источниках, свойствах и методах изучения, с особым вниманием к городской пыли и вулканическим пеплам. Вторая глава посвящена характеристике объектов исследования, условиям пробоотбора и описанию применённого комплекса аналитических методик. В третьей и четвёртой главах представлены и проанализированы результаты комплексного минералого-геохимического изучения наночастиц городской пыли Москвы и пеплов действующих вулканов Камчатки.*

Представленная к защите научная работа является итогом детальных междисциплинарных исследований автора по практически новому научному направлению — наноминералогии. Детально, на самом современном аналитическом уровне, исследованы наночастицы (НЧ) природного (вулканические пеплы) и антропогенного (городская пыль) генезиса. Оба объекта исследований имеют чрезвычайно важное научное и практическое значение. Научная новизна и актуальность работы не вызывают сомнения.

С целью развития методологии изучения элементного состава и свойств наночастиц городской пыли и вулканического пепла действующих вулканов Камчатки, диссертант на этапе пробоподготовки применил две самых современных лабораторных методики:

1. Метод проточного фракционирования частиц в поперечном силовом поле во вращающейся спиральной колонке (ВСК), с использованием в качестве элюэнта деионизированной воды или 2 мМ  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ;
2. Многомерные статистические методы выявления природных и антропогенных источников поступления вещества, содержащего потенциально токсичные элементы.

Наиболее эффективным для отбора наночастиц оказался первый метод с 2 мМ  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ .

Эти методики позволили диссертанту выделить для дальнейших исследований количественно значимые порции вещества наночастиц и получить достаточно надёжные результаты анализов их геохимического состава. Элементный состав выделенных фракций **НЧ** изучался хорошо апробированными методами МС-ИСП и АЭС-ИСП.

### **Результаты исследований:**

Практически пионерные и чрезвычайно важные — и научные, и практические — результаты получены диссертантом в процессе исследований элементного состава наночастиц городской пыли крупного региона — г. Москва. Проведено сравнение полученных результатов с данными таких мегаполисов, как Гонконг, Пекин и Торонто.

Анализы показали, что наночастицы городской пыли содержат высокие концентрации потенциально-токсичных химических элементов — таких как Cu, Hg, Zn, Mo, Cd, Sn, Sb и Bi. Уровень загрязнения варьируется от умеренного — для Mo, Bi и Sn — до умеренного до сильного — для Cu, Zn, Cd, Sb и Pb. Для Hg обнаружено экстремальное загрязнение. Выявленные закономерности безусловно привлекут внимание соответствующих специалистов как городского хозяйства, так и науки.

Очень важен вывод диссертанта о том, что наночастицы вулканических пеплов современных извержений вулканов Камчатки характеризуются высоким содержанием потенциально токсичных химических элементов — Cu, Hg, Pb, Bi и др. Коэффициент их концентрирования может достигать 170. Более того, по данным анализов автора работы, наночастицы вулканического пепла существенно отличаются от микрочастиц пеплов повышенной сорбционной активностью и иным химическим составом. Так оказалось, что концентрации Ni, Zn, Cd, Ag, Sn, Se, Te, Hg, Tl, Pb, Bi в **НЧ** вулканических пеплов могут в 10–500 раз превышать общее содержание этих элементов в исходных образцах. При этом диссертант подчёркивает, что элементный состав исследованных пеплов близок к составу лав. В принципе, уже это доказывает, что исследованные пеплы были производными дробления соответствующих лав при вулканических взрывных процессах. Эти данные существенно дополняют результаты исследований вулканологов Камчатки.

Без сомнения, прав диссертант, констатируя, что эти данные позволяют рассматривать **НЧ** не только как потенциально опасные для окружающей среды, но и как геохимические индикаторы изверженных процессов. Например, анализ распределения элементов в **НЧ** вулканического пепла может быть использован для построения моделей их образования в процессе эксплозивных извержений вулканов. Но далее диссертант заявляет, что «взаимосвязь (так в тексте) с составом вулканических газов отсутствует». Этот тезис, на мой взгляд, является преждевременным и требует уточнения.

### **Некоторые замечания и рекомендации**

#### **1. О механизмах образования наночастиц.**

Диссертант отметил возможность двух механизмов образования наночастиц в вулканических пеплах, а именно — конденсация из газа и дробление пород. Но вполне возможен и третий механизм, участвующий в формировании наночастиц — адгезия вещества из атмосферы и окружающей среды. Ведь вулканический пепел отбирался спустя некоторое время после извержения. А наночастицы — как

показал это сам диссертант — имеют очень большую химически активную поверхность. Не исключено аддитивное образование вещества наночастиц, в том числе и за счёт адгезии.

## 2. О морфологии и составе НЧ.

Диссертант отметил, что особенности морфологии, размерного распределения и состава **НЧ** вулканического пепла практически не изучены. Это не совсем так. В печати уже появились данные о результатах таких исследований по пеплам извержений камчатских вулканов (Карпов, Силаев и др., 2016 г.; Силаев, Карпов и др., 2024).

Но хорошо и показательно, что в работе представлены качественные рисунки с изображением наночастиц вулканического пепла.

## Несомненные достоинства научной работы

1. Диссертантом использованы самые современные и надёжные методы пробоподготовки проб пеплов для извлечения из них наночастиц.
2. Диссертантом применён широкий спектр самых современных аналитических методов исследований вещества пеплов и наночастиц из них.
3. Методики анализов хорошо апробированы в опубликованных статьях с участием автора.
4. Материал диссертации достаточно полно отображён в опубликованных научных статьях и в докладах на научных конференциях.
5. Геохимическая характеристика городской пыли основана на анализах статистически значимого количества отобранных проб и заслуживает внимания специалистов.
6. Отмечена специализация наночастиц пеплов базальтового состава на Cu, Pb, Bi, Hg.

В наночастицах из пеплов андезит-дацитового состава содержание меди в 3–4 раза меньше, что имеет важное генетическое и поисковое значение.

Суммируя вышеотмеченные достижения автора диссертационной работы, можно констатировать, что научная новизна материала исследований не вызывает сомнения. Научные положения, выносимые на защиту, а также сформулированные в диссертации выводы являются обоснованными и достоверными, логично вытекают из представленного фактического материала.

Изложенные замечания имеют рекомендательный характер.

В рамках выполненной работы автором решена научная задача развития методологии изучения элементного состава и свойств наночастиц городской пыли и вулканического пепла, включающая оптимизацию способов выделения НЧ и получение новых данных о распределении элементов в НЧ. Решение этой задачи обеспечило возможность выявления источников поступления элементов в НЧ городской пыли, а также установления

взаимосвязей между составом наночастиц, микрочастиц пепла, лав и вулканических газов для девяти действующих вулканов Камчатки.

Работа соответствует паспорту специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография, геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, в частности: п. 13 (геохимия природных и техногенных систем) – проведено комплексное исследование геохимических особенностей наночастиц природного и антропогенного генезиса; п. 22 (экологическая геохимия и геохимический мониторинг окружающей среды) – дана оценка степени загрязнения городской пыли Москвы, выполнен анализ пространственного распределения потенциально токсичных элементов и установлены источники поступления микроэлементов в НЧ.

Работа также соответствует паспорту специальности 1.4.2 – Аналитическая химия, а именно: п. 8 (методы маскирования, разделения и концентрирования) – предложена новая методика выделения фракций НЧ из вулканического пепла, обеспечившая существенное увеличение выхода НЧ и позволившая определять элементы, ранее находившиеся ниже предела обнаружения; п. 12 (анализ объектов окружающей среды) – впервые получены данные об элементном составе фракций НЧ пеплов девяти действующих вулканов Камчатки, относящихся к различным типам магматизма.

Представленная к защите диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в пп. 9–14 Постановления правительства РФ «О порядке присуждения учёных степеней» от 24.09.2013 г. № 842 в действующей редакции (вместе с «Приложением о присуждении учёных степеней»).

Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальностям 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография, геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» и 1.4.2 – «Аналитическая химия».

**Я, Карпов Геннадий Александрович**, даю своё согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

**Официальный оппонент:** Главн. научн. сотр.  
Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, д. г.-м. н.  
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9,  
(4152) 20-20-52, (4152) 20-21-03  
e-mail: karpovga@kscnet.ru

Г. А. Карпов

13.11.2025



*Карпова Р.А.*

заверяю.

*В.В. Шамкина*

### **Сведения об официальном оппоненте**

Я, Карпов Геннадий Александрович, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Бржезинского Антона Станиславовича «ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ МОСКВЫ И ПЕПЛОВ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ» по научным специальностям: 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых и 1.4.2 – Аналитическая химия.

### **О себе сообщаю:**

**Фамилия, имя, отчество:** Геннадий Александрович Карпов

**Учёная степень, учёное звание:** доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН)

**Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация:**

25.00.04 – петрология, вулканология.; 04.00.02 -геохимия

**Наименование организации:** Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН)

**Должность, структурное подразделение:** главный научный сотрудник ИВиС ДВО РАН

**Адрес и телефон:** 683023, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9, (4152) 25-02-25; 8 916 694 1019.

e-mail: karpovga@kscnet.ru

### **Публикационная активность Карпова Г.А.**

1. Карпов Г.А. Узон- Вайотапский тип комплексного ртутно-сурьмяно-мышьякового оруденения в современных гидротермальных системах //Геология рудных месторождений № 3 , май-июнь. 1991. С.3 – 15.
2. Karpov G.A., Krivovichev, Vergasova L.P. at all. Oxysulfates of Copper, Sodium, and Potassium in the Lava Flows of the 20121-2013 Tolbachik Fissure Eruption //Jornal of Volcanology and Seismology, 2013 Vol.7, № 6, pp.362-370.

3. Гордеев Е. И., Карпов Г. А. Фундаментальные достижения академической науки в исследованиях вулканов и землетрясений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2022. № 4. С. 4–16.
4. Калачева Е. Г., Мельников Д. В., Волошина Е. В., Карпов Г. А. Геохимия вод кратерного озера вулкана Малый Семячик // Вулканология и сейсмология. 2022. № 3. С. 28–42.
5. Силаев В. И., Аникин Л. П., Карпов Г. А., Хазов А. Ф. Толбачинские алмазы (ГТИ-50, Камчатка): новое доказательство их вулканогенной природы // Вестник геонаук. 2023. № 2. С. 17–29.
6. Silaev V. I., Karpov G. A., Demin A. G., Anikin L. P., Vergasova L. P., Filippov V. N., Smoleva I. V., Vasiliev E. A., Sukharev A. E., Makeev B. A., Khazov A. F. Extra-mantle Genetic Types of Diamond and Prospects for the Kamchatka Diamond-bearing Province of Russia // Journal of Volcanology and Seismology. 2024. № 2. P. 78–92.
7. Галимов Э. М., Каминский Ф. В., Карпов Г. А. Об особенностях состава и о природе вулканогенных алмазов // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 10. С. 1303–1315.
8. Гордеев Е. И., Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Сухарев А. Е. Об истории открытия и природе алмазов в вулканических породах Камчатки // Вестник Пермского университета. Геология. — 2019. — Т. 18. — № 4. — С. 307–331.
9. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Л. П. Вулканогенный углеродный парагенезис на Камчатке // История науки и техники. — 2017. — № 7. — С. 67–77.
10. Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Л. П., Смолёва И. В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 1. Алмазы, углеродные фазы, конденсированные органоиды // Вулканология и сейсмология. — 2019. — № 5. — С. 54–67.
11. Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Л. П., Филиппов В. Н., Тарасов К. В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 2. Минералы-спутники алмазов толбачинского типа // Вулканология и сейсмология. — 2019. — № 6. — С. 36–49.

13. 11. 2025

Д.г.-м.н. Карпов Г. А.



*Карпова Р.А.*

заверю.

*Мельникова Е.В.*