

## **Магнитно-силовая микроскопия с использованием искусственных нейронных сетей для реконструкции намагниченности в ансамблях наночастиц**

**Руслан А. Рытов**<sup>1,2</sup>, Алексей Н. Целебровский<sup>2</sup>, Валерий И. Максимочкин<sup>2</sup>, Роман А. Грачев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University

[ruslan.rytov2017@yandex.ru](mailto:ruslan.rytov2017@yandex.ru)

Ансамбли магнитных наночастиц в процессе возникновения в базальтовых лавах сохраняют информацию о магнитном поле Земли в течение долгого времени. Для корректной интерпретации палеомагнитных данных важно знать, как частицы распределены по размерам и форме в объеме породы, а также их доменную структуру и её эволюцию во внешнем магнитном поле.

Магнитно-силовая микроскопия (MFM) — это метод, широко используемый в исследовательских лабораториях для визуализации магнитной структуры мелких частиц. Прибор использует принцип регистрации изменений механических колебаний магнитного кантилевера в рассеянных магнитных полях намагниченного образца [1]. Однако MFM предоставляет только скалярные данные, но рассеянное магнитное поле является векторной величиной. Далее с помощью решения обратной задачи по рассеянным магнитным полям возможно восстановление векторной намагниченности в исследуемых образцах.

В данной работе разработана искусственная нейронная сеть для восстановления полного векторного магнитного поля, а также векторной намагниченности, по измеренным скалярным данным. Нейронная сеть обучается решать обратную задачу прямым методом: по рассеянным магнитным полям подбирается распределение намагниченности так, чтобы создаваемое им магнитное поле совпадало с полем, измеренным кантилевером магнитосилового микроскопа. Такой подход не требует базы данных для обучения нейронной сети.

Разработанная нейронная сеть была протестирована на образцах природных ферромагнитных частиц магнетита и титаномагнетита [2].

[1] Kazakova O. et al., Journal of Applied Physics. 125 (2019) 6.

[2] Maksimochkin V. I., Grachev R. A., Tselebrovskiy A. N. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 58 (2022) 2.

### **This research has been supported by:**

1. "Российский научный фонд", grant 24-27-00250