

ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ШИРА (ХАКАССИЯ)

Юсупова А.Р.¹, Кузина Д.М.¹, Антоненко В.В.¹, Евтюгин В.Г.²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань, Россия, yusupovaanast095@gmail.com

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Междисциплинарный центр «Аналитическая микроскопия», Казань, Россия

Осадки современных озер являются палеогеографическим архивом, в которых с хорошим разрешением записаны изменения климата, геомагнитного поля, других событий и в целом эволюция окружающей среды за последние тысячелетия [Evans, Heller, 2003]. Огромную роль в этом играют широко распространенные в осадках и осадочных породах биогенные магнитные минералы. Изучение биомагнетизма позволяет определять периодизацию климатических изменений, а также изменение геоэкологической ситуации в бассейне осадконакопления [Лубнина, Бычков, 2015].

Единственным прямым методом, доказывающим содержание магнитофоссилий в образцах донных отложений, является микроскопия. В настоящей работе представлены некоторые результаты просвечивающей электронной микроскопии для осадков озера Шира (54°30'38"N; 90°12'09"E).

Исследуемое озеро имеет следующие морфометрические параметры: площадь водного зеркала – 35.9 км², длина – 9.35 км, максимальная ширина – 5.3 км, длина береговой линии – 24.5 км, максимальная глубина – 24.5 км, средняя глубина из года в год варьирует и превышает 24 м, средняя глубина – 11 м [Малахов и др., 1963]. Для выявления наличия в осадках магнитофоссилий была выбрана керновая колонка длиной 508 см, возраст которой, согласно радиоуглеродному датированию ~10 тыс. лет.

Кривые нормального намагничивания и основные гистерезисные параметры были получены для всех образцов исследуемых керновых колонок. При этом использовался коэрцитивный спектрометр J_meter [Iassonov et al., 1998]. По кривым нормального намагничивания были вычислены значения парамагнитной намагниченности осадков, которые показали значительную изменчивость и возможность диф-

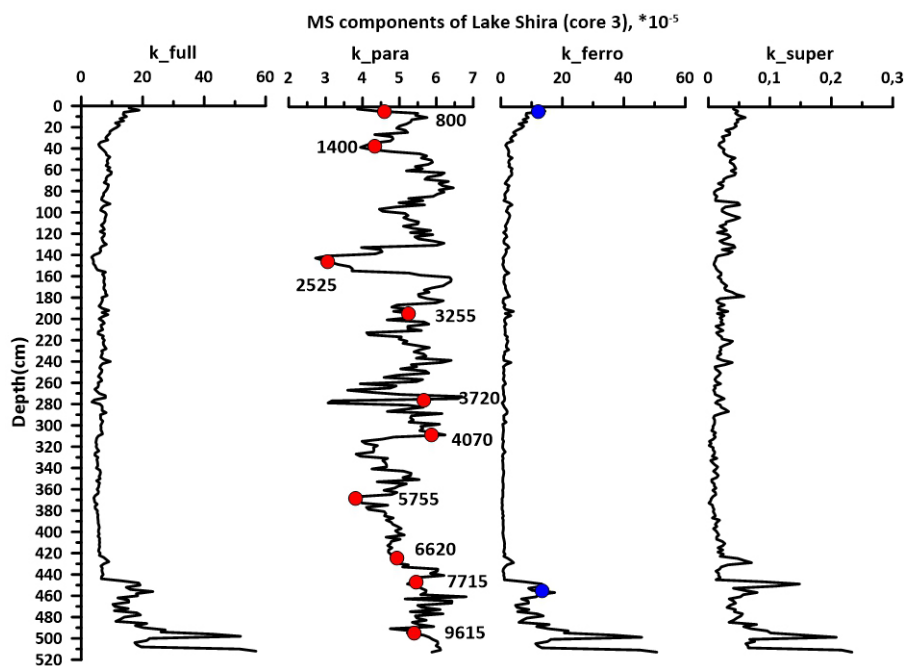


Рис. 1. Вариации компонент магнитной восприимчивости для керновой колонки №3. Красные точки – результаты радиоуглеродного датирования (тыс. лет), синие точки – исследуемые образцы на просвечивающем электронном микроскопе

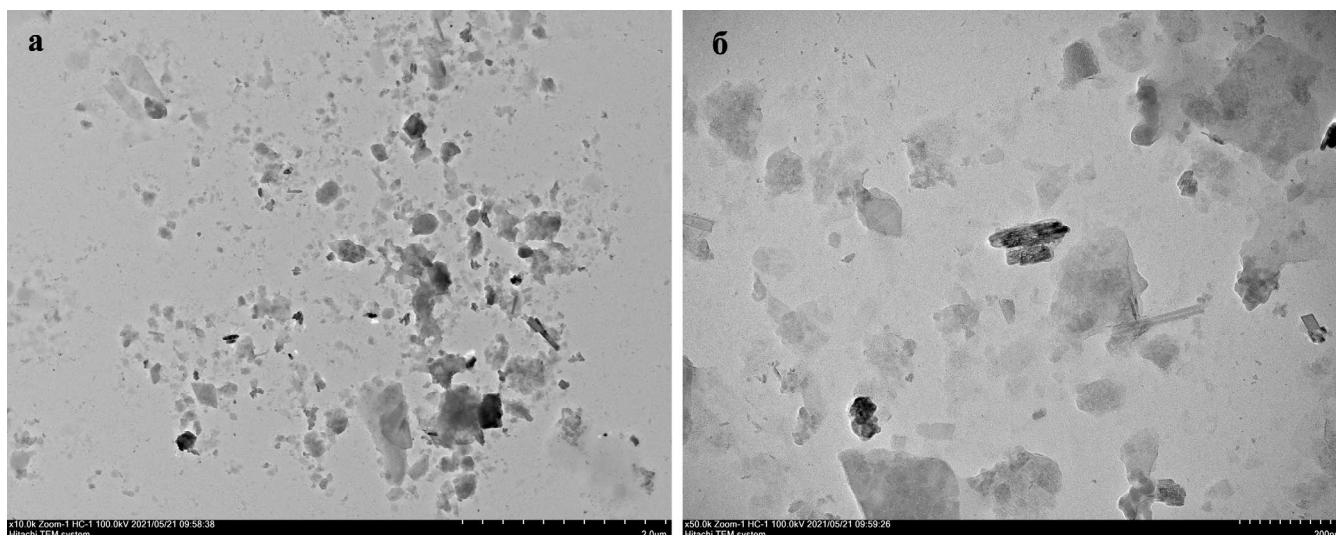


Рис. 2. Электро-микроскопический снимок образца 502

ференцировать разрез по величинам парамагнитной намагниченности, которая в большей степени зависит от содержания аллотигенной компоненты (железосодержащие глинистые минералы). Вариации парамагнитной компоненты осадков могут отражать относительный рост привноса этого материала в бассейн, и, следовательно, гидрологический режим озера и вариации объема воды, поступающей в озеро. Ферромагнитная компонента может быть как привнесенной в бассейн, так и бактериального происхождения [Kosareva et al., 2015]. Совместный анализ содержания парамагнитной и ферромагнитной компонент осадка является источником ценной информации о вариациях природной среды в голоцене. Вариации компонент магнитной восприимчивости для керновой колонки №3 отображены на рис. 1.

Использование электронной микроскопии для обнаружения магнитофоссилий в осадочных породах позволяет выявить размеры, морфологию кристаллов, которые зависят от условий окружающей среды. Магнитофоссилии являются неотъемлемой частью накопления базы данных магнитных палеоэкологических и палеоклиматических записей.

Для обнаружения магнитофоссилий и определения их состава были выбраны образцы в верхнем и нижнем интервалах разреза с повышенными значениями ферромагнитной компоненты – образцы №502 (4 см; $4.41 \cdot 10^{-5}$ SI; ~762.5 лет) и №728 (456 см; $5.7 \cdot 10^{-5}$ SI; ~7952.5 лет).

Для определения наличия магнитных микрофоссилий в ферромагнитной фракции образцов использовался просвечивающий электронный микроскоп Hitachi HT7700 Excellence. Методика пробоподготовки включала в себя помещение 10 мкл суспензии магнит-

ного сепарата на 3 мм медную сеточку с подложкой формвар/углерод и сушку при комнатной температуре. После полного высыхания сеточка помещалась в просвечивающий электронный микроскоп в специальный держатель для проведения микроанализа. Просмотр проводился при ускоряющем напряжении 80 кВ в режиме ТЕМ, элементный анализ проводился в STEM режиме при тех же параметрах с использованием детектора Oxford Instruments X-Max™ 80T.

Некоторые результаты просвечивающей электронной микроскопии представлены на рис. 2. В магнитной фракции образца №502 и №728 выявлены частицы по форме, размерам и составу соответствующие магнитофоссилиям.

Таким образом, показана эффективность предварительного использования магнитных методов для обнаружения магнитных фоссилий в донных отложениях озер. Последующая интерпретация данных просвечивающей электронной микроскопии и сопоставление ископаемых остатков магнитотактических бактерий с уже известными видами позволит дополнить палеоклиматические данные исследуемого района, а также расширить использование магнитофоссилий как палеоклиматических прокси.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной КФУ для выполнения государственного задания №671-2020-0049 в сфере научной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лубнина Н.В., Бычков А.Ю. Магнитотактические бактерии и биомagnetизм: критерии отбора образцов для национального банка-депозитария живых систем // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. №4. С. 49–52.

2. Малахов А.М., Скорняков В.А., Цыцарин Г.В. Гидроминеральные ресурсы курорта озеро Шира // Материалы по изучению лечебных грязей, грязевых озер и месторождений. М.: Центральный НИИ курортологии и физиотерапии, 1963. С. 51-151.
3. Evans M., Heller F. Environmental Magnetism. Principles and applications of enviromagnetics // San Diego: Academic Press, 2003.
4. Iassonov P.G., Nourgaliev D.K., Burov B.V., Heller F.A. A modernized coercivity spectrometr // Geologica Carpathica. 1998. V.49. P. 224–226.
5. Kosareva L.R., Nourgaliev D.K., Kuzina D.M., Spassov S., Fettakhov A.V. Ferromagnetic, dia-/paramagnetic and superparamagnetic components of Aral sea sediments: Significance for paleoenvironmental reconstruction // ARPN Journal of Earth sciences. 2015. V. 4. No. 1. P. 1–6.