

## Магнитные минералы в археологической керамике и обожженных глинах: генезис, фазовый состав и приложения в геофизике и археологии

Археомagnetизм – это научное направление в геофизике, изучающее поведение магнитного поля Земли в прошлом по измерениям остаточной намагниченности образцов керамики, обожженной глины и т.п., приобретенных в результате обжига так называемую термоостаточную намагниченность. Археомagnetные исследования дают уникальную по своему географическому охвату и временному разрешению информацию о поведении магнитного поля Земли за последние 10000 лет.

Понимание процессов формирования и сохранности естественной остаточной намагниченности образцов археологической керамики представляет собой основу археомagnetизма как научного направления. Фазовый состав магнитных минералов, присутствующих в археологической керамике, весьма многообразен; он в большой степени определяется условиями производства керамики (температура обжига, режим охлаждения и т.п.). В силу этого, можно ожидать, что и магнитные свойства археологической керамики будут, с одной стороны, весьма многообразны, но, с другой стороны, могут служить диагностическими признаками тех или иных процессов, которые образец испытал за свою историю.

На кафедре физики Земли археомagnetные исследования, в сотрудничестве с коллегами из Института физики Земли РАН (Москва) и Национального института геофизики, геодезии и географии Болгарской академии наук (София), ведутся по следующим направлениям:

1) Изучение магнитных свойств магнитожестных минералов, присутствующих в археологической керамике и обожженных глинах. Были детально исследованы магнитные свойства образцов археологической керамики (обожженных глин и кирпичей) из Болгарии и России. Обнаружено, что в образцах присутствуют одна или две магнитожестные фазы, резко отличающиеся по своим деблокирующим температурам (температурам разрушения остаточной намагниченности). Минерал с деблокирующими температурами между 540 и 620 °C – по-видимому, замещенный гематит. Остаточная намагниченность второй магнитожестной фазы разрушается при значительно более низких температурах, между 140 и 200 °C. Природа этой фазы остается не вполне ясной; она обнаруживает определенное сходство с особой полиморфной формой оксида железа (III) –  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , но в то же время ее намагниченность разрушается при заметно более низких температурах, чем у чистого  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . В ряде случаев магнитожестные фазы с высокими и низкими деблокирующими температурами, сосуществуют, в других же образцах низкотемпературная фаза является единственным магнитожестным минералом.

**Kosterov A.**, Kovacheva M., Kostadinova-Avramova M., Minaev P., Salnaia N., Surovitskii L., Yanson S., **Sergienko E.**, Kharitonskii P. *High-coercivity magnetic minerals in archaeological baked clay and bricks* // Geophys. J. Int. 2021. 224 (2), 1256-1271.

2) Получение новых определений напряженности для временных интервалов, недостаточно хорошо обеспеченных данными на региональном уровне, а также анализ причин неидеального поведения археологической керамики и обожженных глин в ходе экспериментов по определению напряженности древнего геомагнитного поля методом Телье. Так, для Болгарии наименьшее количество археомagnetных данных за последние 8000 лет имеется для периода 1200-0 лет до н.э., археологически отвечающего железному веку. Попытки получить новые определения элементов геомагнитного поля были предприняты для 26 структур из обожженной глины из девяти различных археологических памятников. Немногим более половины изученных объектов позволили получить определения направлений древнего геомагнитного поля и лишь несколько – его напряженности. В итоге, получено 10 новых направлений и 5 новых определений напряженности древнего поля. Столь малая доля «успешных» объектов весьма нетипична для археомagnetных исследований и требует дальнейших исследований для объяснения такого поведения.

Kostadinova-Avramova M., **Kosterov A.**, Jordanova N., Dimitrov P., Kovacheva M. *Geomagnetic field variations and low success rate of archaeointensity determination experiments for Iron Age sites in Bulgaria* // Phys. Earth Planet. Inter. 2021. 320, 106799.