

С Е К Ц И Я 3

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИИ

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ В МОРСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУДАХ: МИНЕРАЛЬНЫЕ ФОРМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ

М.А. Рудмин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Ооидовые железняки это хемогенно-осадочные породы, которые формировались в определенные геохронологические периоды в течении фанерозоя [1, 2]. Современные аналоги описываются в единичных случаях: вблизи о. Махенгтанг в Индонезии [3], вблизи о. Тринидад на северо-восточном побережье Венесуэлы и около о. Панареа в Италии [4]. Их природа уже долгое время является предметом дискуссий. Ооидовые железняки долгое время служили основным источником железа для металлургии, пока их не заменили магнетитовыми и гематитовыми рудами эндогенных месторождений, которые обладают лучшими технологическими характеристиками, а именно повышенной долей валового железа и пониженной (или полным отсутствием) вредной примеси фосфора относительно гетитовых руд. Осадочные руды состоят из ооидов, пелоидов, пизоидов и пр., состав которых представлен смесью различных минералов главными из которых являются гидроокислы железа (гидрогетит, гетит, лепидокрокит) и филлосиликаты железа (шамозит, бертьерин) [1]. Помимо железа в составе ооидов имеются относительно высокие содержания Si, Al, Mg, P, K, Ti, V, а также редкоземельные элементы (РЗЭ). На настоящее время известно, что фосфор может входить в ооиды в виде изоморфной примеси или в виде отдельных минералов. Среди минералов фосфора в ооидовых железняках были зафиксированы франколит, вивианит, митрадит, босфорит, апатит, и в недавнее время был обнаружен фосфат РЗЭ. Цель данной работы заключается в исследовании минеральных форм REE в высоко-фосфорных морских ооидовых железняках Бакчарского железорудного месторождения [5, 7] для понимания возможных технологий их селективного обогащения и механизмов их концентрирования.

Как терригенные, так и аутигенные минералы, содержащие редкоземельные элементы (РЗЭ), были обнаружены в железных рудах месторождения. Монацит доминирует среди терригенных минералов РЗЭ и встречается в виде относительно крупных обломков зёрен (от 5 до 120 мкм), в то время как ксенотим имеет подчиненное распространение. Оба минерала относительно преобладают в песчаниках и железняках с детритовым материалом. В рамках настоящего исследования были сфокусированы на аутигенных (новообразованных или *in situ*) минералах РЗЭ. Эти минералы в основном содержатся в железистых сфероидов в виде включений и агрегатов, где могут образовывать отдельные концентрические зоны. Их хорошо сформированные кристаллы очень редки. Размеры фосфатных зерен варьируются от 1.8 до 24 мкм. Их формы (очертания) изменяются между преимущественно ксеноморфными, призматическими и сферическими (рис.), последний из которых встречается редко. В поперечных сечениях сферул была обнаружена очень тонкая (0.45...2 мкм) концентрическая ламинация (микрортекс). Состав LREE-фосфата характеризуются выдержанным трендом $Ce > La \geq Nd$. Форма кристаллов, флуктуация химического состава (отсутствие Th), кристаллическая структура в виде изображения Кикучи, а также низкотемпературные условия формирования не позволяют идентифицировать этот минерал как монацит или какой-либо другой из известных фосфатов ЛРЗЭ. Однако по составу и структуре он ближе всего подходит к «нодулярному» монациту, поэтому в дальнейшем мы предлагаем использовать название «аутигенный монацит» для этих фосфатов. Сорбция из морской воды РЗЭ и Р на железогидроокислых частицах (коллоидах) и их последующая коагуляция являются основными процессами формирования тесной минеральной ассоциации в виде ооидов, пелоидов и онкоидов. Эта минеральная ассоциация объясняет неоднократно отмеченную положительную корреляцию между РЗЭ и Р в ооидовых железняках. Исходя из этого подобные минералы РЗЭ должны быть практически на всех месторождениях ооидовых железняков.

Микронные размеры и разнородная форма редкоземельных фосфатов в структуре железистых сфероидов ограничивают механический способ их сепарации. К перспективным методам обогащения редкоземельных металлов из ооидовых железняков следует отнести химическое или бактериальное выщелачивания. При этом важно понимать, что извлечение редких земель будет сопровождаться удалением фосфора, что положительно отразится на технологическом процессе переработки железной руды. Учитывая выдержанную минеральную ассоциацию минералов железа и фосфатов РЗЭ, ооидовые железняки Бакчарского месторождения стоит рассматривать как комплексные руды. Так среднее содержание РЗЭ в железных рудах месторождения составляет 286.4 г/т, а в отдельном типе руд среднее содержание РЗЭ находится на уровне 500.7 г/т [5]. Учитывая среднее содержание РЗЭ в рудах (с содержанием общего железа более 30 %), мощность, площадь и плотность рудных залежей [5], ресурсы РЗЭ в пределах Бакчарского месторождения можно оценивать в более чем 4.5 млн. тонн. При таких концентрациях ооидовые железняки следует считать новым природным типом руд РЗЭ.

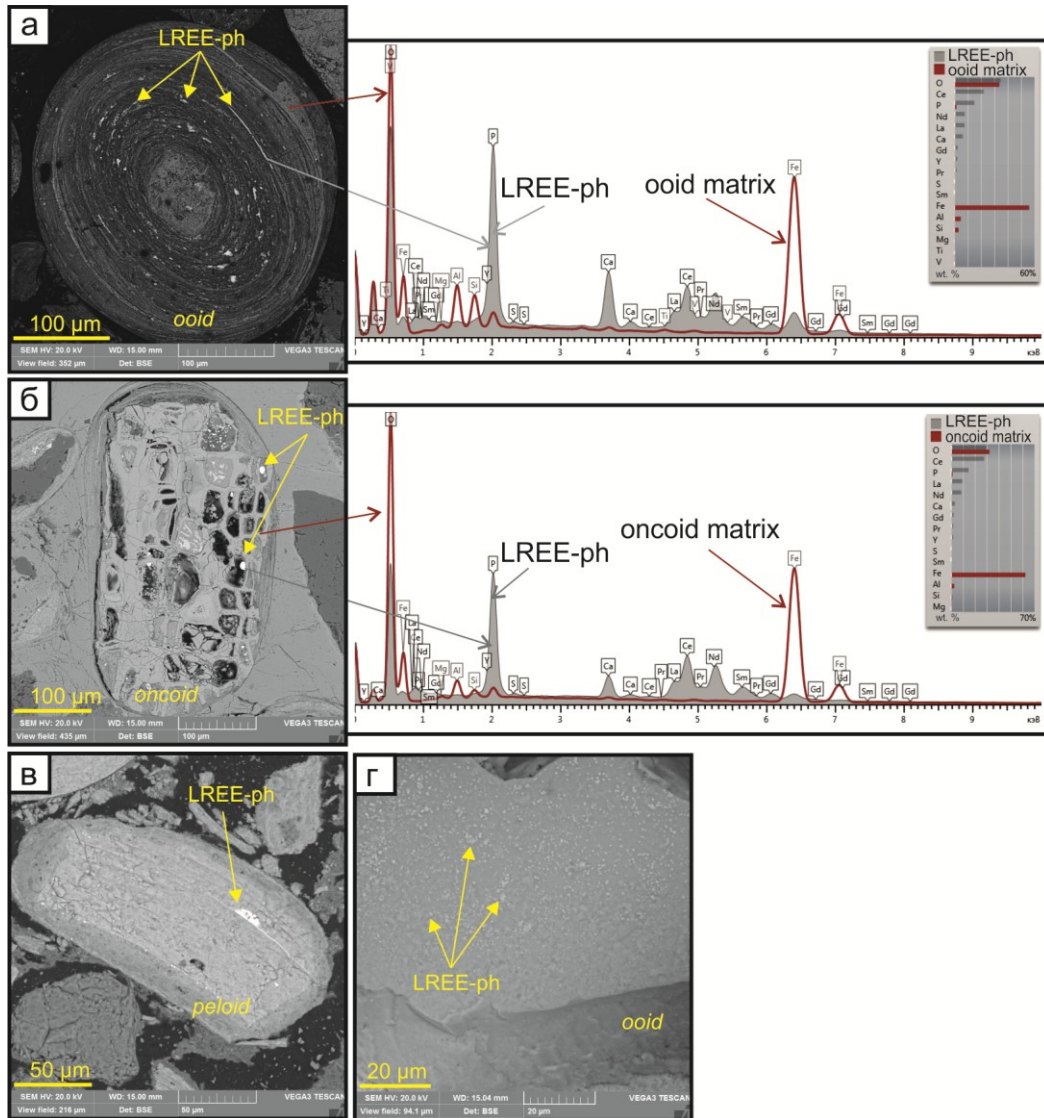


Рисунок. СЭМ-изображения с ЭДС спектрами для фосфата легких редкоземельных элементов (LREE-ph) в железистых ооидах (а, з) и онкоидах (б) и пелоидах (в) Бакчарского месторождения. (з) Фосфаты ЛРЗЭ на поверхности концентров ооида. Изображения представляют собой микрографы с обратным рассеянием электронов (BSE).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и администрации Томской области (19-45-703002).

Литература

1. Young T.P. Phanerozoic ironstones: an introduction and review // Geological Society, London, Special Publications. – 1989. – Vol. 46. – № 1. – P. ix – xxv.
2. Van Houten F.B., Bhattacharyya D.P. Phanerozoic Oolitic Ironstones – Geologic Record and Facies Model // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. Annual Reviews 4139 El Camino Way, P.O. Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, 1982. – Vol. 10. – № 1. – P. 441 – 457.
3. Heikoop J.M. et al. Modern iron ooids from a shallow-marine volcanic setting: Mahengetang, Indonesia // Geology. – 1996. – Vol. 24. – № 8. – P. 759 – 762.
4. Di Bella M. et al. Modern Iron Ooids of Hydrothermal Origin as a Proxy for Ancient Deposits // Scientific Reports. Nature Publishing Group. – 2019. – Vol. 9. – № 1. – P. 7107.
5. Rudmin M., Mazurov A., Banerjee S. Origin of ooidal ironstones in relation to warming events: Cretaceous-Eocene Bakchar deposit, south-east Western Siberia // Marine and Petroleum Geology. Elsevier, 2019. – Vol. 100. – P. 309 – 325.
6. Rudmin M. et al. Ooidal ironstones in the Meso-Cenozoic sequences in western Siberia: assessment of formation processes and relationship with regional and global earth processes // Journal of Palaeogeography. Journal of Palaeogeography. – 2020. – Vol. 9. – № 1. – P. 1 – 21.
7. Rudmin M. et al. Minerals of Rare Earth Elements in High-Phosphorus Ooidal Ironstones of the Western Siberia and Turgai Depression // Minerals. – 2020. – Vol. 10. – № 11. – P. 1 – 16.