К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКАХ МЕТАЛЛОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТУРГАЙСКОГО ПРОГИБА (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)

М.А. Рудмин, Н.А. Калинина

*Томский политехнический университет, Томск, Россия,
rudminma@tpu.ru, kalininalia58@gmail.com*

Речные месторождения железняков (channel ironstone deposit – CID) относятся к распространенному типу фанерозойских ооидовых железняков [8, 12, 15]. Среди них известны месторождения в районе Пилбара в Западной Австралии [13, 15] и в Тургайском районе Северного Казахстана [2–4]. Речные месторождения железняков – это богатые железом аллювиальные и реже озерные отложения, включающие осадочные породы от мелкозернистых алевролитов и аргиллитов до мелкозернистого гравия и валунных конгломератов. Образование известных месторождений ограничивается кайнозойем [11, 14, 15]. К наиболее близким современным аналогам относятся осадки дельты р. Махакам в Индонезии [5], озёр Малави и Чад в Восточной Африке [10, 18], озера Этив в Шотландии [16]. Генезис речных железняков (в Западной Австралии) описывается следующими моделями: непосредственное (прямое) осаждение в речных и озёрных водах [6], замещение обломков в русловых отложениях [7, 11], механическое накопление железорудных обломков подобное россыпям и преимущественно педогенное образование ооидов и пелоидов [13]. В тоже время происхождение плиоценовых железняков дельты р. Махакама в работе Майкла Кимберли [9] рассматривается как эксгалационное.

Тургайский прогиб и Западно-Сибирская плита являются смежными геологическими структурами в пределах которых на протяжении мела и кайнозоя формировались разнотипные осадочные месторождения железа. Верхнемеловые морские и олигоценовые долинно-речные железняки распространены в пределах Тургайского прогиба [3]. Морские железняки также массово образовывались в верхнем меле вдоль восточного, юго-восточного и в меньшей степени западного обрамления Западно-Сибирской равнины. В аспекте выдвинутой [1, 17] флюидно-литогенной концепции генезиса морских железняков Западной Сибири справедливо оценить минералого-геохимическую специфику речных месторождений. Цель данной работы – исследование условий формирования континентальных железняков Тургайского прогиба с оценкой основных источников металлов на основе петрографических, минералогических и геохимических исследований.

Лисаковское месторождение располагается в Тургайском прогибе в Северном Казахстане и считается эталонным примером речных железняков. Тургайский прогиб представляет собой часть платформы, соединяющей Западно-Сибирскую и Туранскую плиты и расположенной между Уральской и Казахстанской складчатыми системами и в стратиграфическом отношении имеет уникальное строение, что связано со специфичным палеогеографическим положением. С аллювиальными отложениями среднего и верхнего олигоцена в пределах северной части прогиба накапливались залежи ооидовых железняков (Лисаковское, Кировское, Шиелинское, Талдыкское месторождения) [2–4].

В разрезе речных олигоценовых железняков Лисаковского месторождения (северная часть Тургайского прогиба) были выделены четыре основные хемотропные литофации и одна терригенная литофация. Железосодержащие минералы месторождения представлены зёрнами или цементом. Аутигенные зёрна (рис. 1) были классифицированы на ооиды, пелоиды, микроонкоиды и онкоиды, пизоиды и прото-ооиды согласно международной терминологии. Ооиды (рис. 1 А, F-I) имеют концентрически-зональное строение, выраженное в чередовании кольцевых зон с изменением соотношений гидроокислы железа/филлосиликат железа и характеризуются размерами не более 2 мм диаметре. Центральная часть ооидов может быть «центром»/«core» (рис. 1 А, F-G) или «ядром»/«nucleus» (рис. 1 I) вокруг которых образуется кортекс («корка») состоящий из различных концентров (концентрических слоёв, кортикальных пластинок). Кварц, обломки ранее образованных ооидов и пелоидов, реже циркон могут быть ядром ооидов. Часто в ооидах фиксируются микро-трещины синерезиса (рис. 1 А, F-I), заполненные гёти-

том. Пелоиды (рис. 1 А) отличаются однородным или массивным внутренним строением и размерами также не более 2 мм в диаметре. Микроонкоиды (рис. 1 В) и онкоиды имеют биоморфное внутреннее строение и отличаются размерами 0.2-2 мм и более 2 мм, соответственно. Интракласты состоят из обломков железняков неправильной формы (рис. 1 С), которые были размыты и перенесены в пределах одной фации или одной зоны седиментации. Пизоиды имеют размеры более 2 мм. Идиоморфные микрокристаллы гетита (рис. 1 D) и ботриоидные формы (рис. 1 E) образуются в пустотном пространстве.

Рис.1. СЭМ-изображения железистых зерен Лисаковского речного месторождения. (А) Ооид с микротрещинами синерезиса (красная стрелка) и пелоиды. (В) Вытянутый микроонкоид с прото-ооидами и обломочными зернами (Qz – кварц). (С) Прото-ооиды, кварц и интракласты, заключенные в цемент. (D) Кристаллы гетита в пустотах. (Е) Ботриоидные формы цемента. (F) Ооид с гётитовым центром (красный пунктирный контур) и микротрещинами синерезиса (стрелка). (G) Ооид с гётитовым центром и микротрещинами синерезиса. (H) Детальное изображение, показывающее включения редкоземельных фосфатов (LREE-ph) (яркие зёрна). (I) Ооид с ядром из кварца (красной стрелкой отмечена микротрещина синерезиса)

Пелоиды, микроонкоиды, прото-ооиды, кортекс и ядро ооидов в железняках Лисаковского месторождения состоят из смесей двух основных минеральных фаз, а именно гётита (гидрогётита) и филлосиликата (бертьерина). На ПЭМ снимках это выглядит как хаотичная смесь преобладающих изометричных и таблитчатых кристаллов гётита и, в меньшей доле, волокнистых кристаллов слоистых пакетов бертьерина. На картинах электронной дифракции бертьерин демонстрирует рефлексы ~ 7 , 3.4, 2.5 и 1.6 Å, гётит – 4.2, 2.7, 2.5, 2.2 и 1.7 Å. Гётит характеризуется размером кристаллов от 4-6 до 50-60 нм в длину различной морфологии: призматические и длинно призматические, изометричные и реже игольчатые кристаллы. Бертьерин в ооидах представлен волокнистыми и чешуйчатыми кристаллами с межплоскостным расстоянием ~ 7 Å. Реже из *in situ* минералов в железняках Лисаковского месторождения фиксируются гидроксиллапатит, барит, галенит, вюрцит, романешит, кальцит.

В результате полученных данных предлагается три стадии минералообразования. На первой стадии растворялся цемент и матрикс переносимых железняков, в то время как устойчивые ооиды и пелоиды сохраняли свою реликтовую форму. Ионы металлов высвобождались из нестабильного цемента и концентрировались в речной или поровой воде, в результате чего вновь

осаждаемый матрикс обогащался этими металлами. Далее накопление континентальных железняков Тургайского прогиба включало раннее диагенетическое осаждение минеральных фаз (вторая стадия минералообразования), в том числе последующую цементацию (третья стадия минералообразования). Прото-ооиды, гидрогетитовый цемент и сульфидно-сульфатные минералы формировались вблизи обедненной кислородом зоны непосредственно под границей раздела вода-осадок. Микротрещины синерезиса в ооидах указывают на изменение условий седиментогенеза, происходящие на этой стадии. Соответственно, основная цементация железистых камней гетитом-лепидокрокитом и, реже, карбонатным цементом происходила во время раннего диагенеза в завершении накопления осадков месторождения, что привело к перекристаллизации первичных железистых минералов.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 20-77-00007.

Литература

1. Павлов Д.И. Связь осадочных месторождений железа и марганца с нефтегазоносными бассейнами // Геология рудных месторождений. 1989. (2). С. 80–91.
2. Слипченко Б.В. О двух генетических типах оолитовых железных руд Лисаковского месторождения (Северный Казахстан) // Геологический журнал. 1981. № 6 (41). С. 53–61.
3. Формозова Л.Н. Железные руды Северного Приаралья // Труды ГИН АН СССР. Геологическая серия. 1959. (20). С. 444.
4. Яницкий А.Л. Олигоценные оолитовые железные руды Северного Тургая и их генезис / А.Л. Яницкий, Москва: АН СССР, 1960. 220 с.
5. Allen G.D., Laurier D., Thouvenin J. Etude sedimentologique du delta de la Mahakam // Compagnies Francoises des Petroles. Notes et Memoire. 1979. (15). P. 1–156.
6. Dalstra H.J., Gill T., Faragher A., Scott B., Kakebeeke V. Channel iron deposits, a major new district around the Caliwingina Creek, central Hamersley Ranges, Western Australia // Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section B: Applied Earth Science. 2010. № 1 (119). P. 12–20.
7. Heim J.A., Vasconcelos P.M., Shuster D.L., Farley K.A., Broadbent G. Dating paleochannel iron ore by (U-Th)/He analysis of supergene goethite, Hamersley province, Australia // Geology. 2006. № 3 (34). С. 173–176.
8. Houten F.B. Van Review of cenozoic ooidal ironstones // Sedimentary Geology. 1992. № 1 (78). P. 101–110.
9. Kimberley M.M. Exhalative origins of iron formations // Ore Geology Reviews. 1989. № 1–2 (5). P. 13–145.
10. Lemoalle J., Dupont B. Iron-bearing Oolites and the Present Conditions of Iron Sedimentation in Lake Chad (Africa) Springer Berlin Heidelberg, 1973. P. 167–178.
11. Macphail M.K., Stone M.S. Age and palaeoenvironmental constraints on the genesis of the Yandi channel iron deposits, Marillana Formation, Pilbara, northwestern Australia // Australian Journal of Earth Sciences. 2004. № 4 (51). P. 497–520.
12. McGregor F., Ramanaidou E., Wells M. Phanerozoic ooidal ironstone deposits – generation of potential exploration targets // Applied Earth Science. 2010. № 1 (119). P. 60–64.
13. Morris R.C., Ramanaidou E.R. Genesis of the channel iron deposits (CID) of the Pilbara region, Western Australia // Australian Journal of Earth Sciences. 2007. № 5 (54). P. 733–756.
14. Ramanaidou E.R., Wells M.A. 13.13 – Sedimentary Hosted Iron Ores 2014. P. 313–355.
15. Ramanaidou E.R., Morris R.C., Horwitz R.C. Channel iron deposits of the Hamersley Province, Western Australia // Australian Journal of Earth Sciences. 2003. № 5 (50). P. 669–690.
16. Rohrlach V. Microstructure and microchemistry of iron oolites // Mineralium Deposita. 1974. № 2 (9). P. 133–142.
17. Rudmin M., Banerjee S., Abdullayev E., Ruban A., Filimonenko E., Lyapina E., Kashapov R., Mazurov A. 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. 2020. № 1 (9). P. 1–21.
18. Williams T.M., Owen R.B. Authigenesis of ferric oolites in superficial sediments from Lake Malawi, Central Africa // Chemical Geology. 1990. № 1–2 (89). P. 179–188.