

## Особенности диагенеза морских оолитовых железняков Западно-Сибирского железорудного бассейна (на примере Бакчарского месторождения)

© *М. А. Рудмин, И. В. Рева, А. М. Сорокина, А. К. Мазуров*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,  
E-mail: rudminma@tpu.ru

Данная работа посвящена проблеме формирования оолитовых железняков Западно-Сибирского бассейна на примере Бакчарского месторождения. Цель исследований заключается в детальном анализе аутигенной минералогии месторождения для понимания геохимических режимов диагенеза и возможных источников металлов. В качестве основного метода использовались рутинные исследования шлифов и аншлифов на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Диагенез Бакчарского месторождения отражается в различных минеральных новообразованиях при полном разнообразии аутигенных железистых минералов, формирующихся в отличительных геохимических условиях. Режим минералообразования контролировался несколькими основными факторами: (а) разложением органического вещества, (б) подтоком железа в коллоидной или ионной форме, (в) поступлением терригенного материала. Наличие специфических для отложений морских железняков минеральных форм свидетельствует о поступлении типичных для гидротермальных процессов металлов в древний осадок.

**Ключевые слова:** оолитовые железняки; диагенез; минералогия; источники металлов; Бакчарское месторождение; Западная Сибирь.

### Features diagenesis of marine oolitic ironstones of the West-Siberian basin (Bakchar deposit)

*M. A. Rudmin, A. K. Mazurov, I. V. Reva, A. M. Sorokina*

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. E-mail: rudminma@tpu.ru

The focus of this work is the issue of oolitic ironstone formation in the West-Siberian basin by the example of the Bakchar deposit. The main aim of this study is a detailed analysis of the authigenic mineralogy within deposit for understanding the geochemical conditions of diagenesis and possible sources of metals. The research method consists of a routine study of thin sections by the scanning electron microscope (SEM). The diagenesis of the Bakchar deposit is reflected in various minerals with a full variety of authigenic ferruginous minerals, which formed in different (from oxic to anaerobic) geochemical conditions. The environment of mineral formation was controlled by the following main factors: (a) the microbial decomposition of organic matter, (b) the dissolved or colloidal iron fluxes, and (c) the terrigenous input. The presence of specific minerals in oolitic ironstones indicates to the fluxes of metals into an ancient coastal sediments, which are typical for hydrothermal processes.

**Keywords:** oolitic ironstone; diagenesis; mineralogy; sources of metals; Bakchar deposit; Western Siberia.

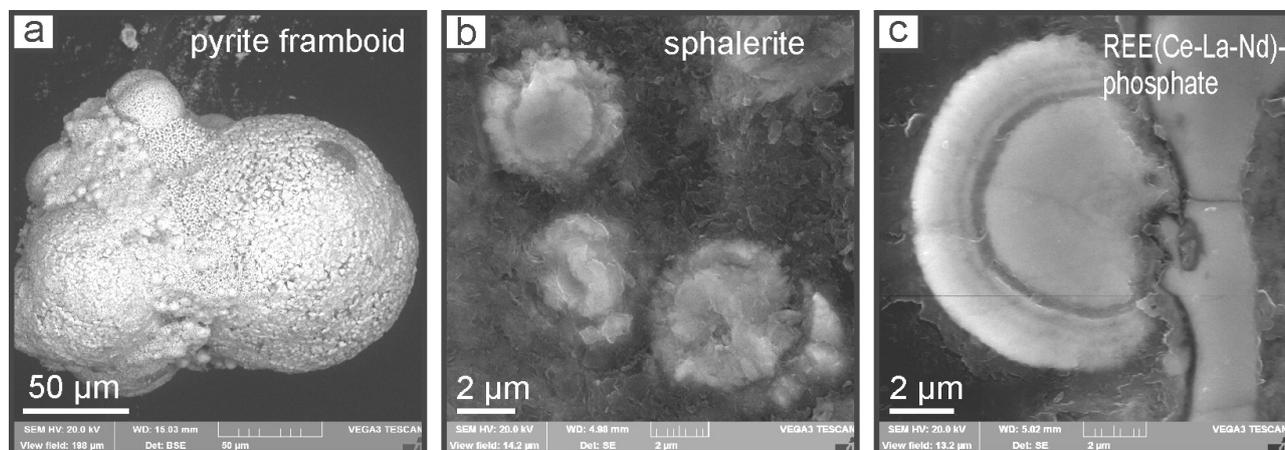
В данной работе приведены доказательства уникальной и разнообразной минералогии Бакчарского месторождения мезо-кайнозойских морских оолитовых железняков как эталонного объекта гигантского Западно-Сибирского железорудного бассейна. Актуальность научного изыскания определяется загадочным генезисом оолитовых (или ооидовых) железных руд, в том числе изучаемого объекта [1–3]. Франклин ван Хойтен описывает понятие «оолитовые железняки» как «...отличительные бескремнистые, песчано-глинистые осадочные породы с более чем 5% железистых оолитов/ооидов и более чем 15% железа» [4]. Факторы, контролирующие распределение морских железняков, источники железа и механизмы образования оолитов, все еще являются предметом многочисленных дискуссий с рядом конкурирующих механизмов и гипотез. Оолитовые железняки в геологической истории характерны для ордовика, силура, девона, юры, мела и палеогена [4], при этом современные аналоги слабо задокументированы [5]. В качестве известных «классических» морских месторождений можно перечислить ордовикские вабановские толщи в Ньюфаундленде (Канада), силурийскую Клинтонскую группу Центральных и Южных Аппалачей (США), ранне-юрские «минеттовые» руды Лотарингского бассейна в северо-восточной Франции и юго-западном Люксембурге, мел-палеогеновый Западно-Сибирский и кайнозойский Керченский железорудные бассейны (Россия). На фоне относительно снижающегося (или застойного) научного интереса к оолитовым железнякам как промышленным ценным рудам нельзя игнорировать значимость этих уникальных осадочных образований как ключевых объектов для понимания биогеохимического цикла железа в прошлом, настоящем и будущем.

Западно-Сибирский железорудный бассейн это широкая полоса (шириной около 150 км) осадочных образований верхнемелового и палеогенового возраста протягивающаяся почти на 2000 км вдоль восточного и юго-восточного обрамления Западно-Сибирской плиты. В пределах этого бассей-

на открыто множество крупнейших скоплений оолитовых железных руд [6]: Бакчарское, Колпашевское, Парбигское, Парабельское, Ласкинское, Елогуйское, Нижне-Байховское, Туруханское. Общие ресурсы железорудного бассейна с содержанием железа выше 30% оцениваются в 400 млрдт. [6, 7], что позволяет считать его крупнейшей железорудной провинцией в мире. Ресурсы только Бакчарского месторождения, наиболее разведанного среди других объектов бассейна, составляют порядка 28 млрдт [6, 7]. Однако уникальность месторождения отражается не только в колоссальных запасах, но и в условиях залегания, разнообразной минералогии и загадочной геохимии оолитовых железняков [8, 9]. В данной работе раскрывается вопрос о парадоксальных аутигенных минеральных ассоциациях как следствие протекания специфических диагенетических процессов приводящих к образованию рудного месторождения.

Материалом для проведения исследований послужило более 270 образцов, отобранных из различных участков Бакчарского месторождения, из которых изготавливались препараты для дальнейших лабораторных исследований (шлифы, аншлифы). Территориально месторождение находится в Томской области в 200 км на северо-запад от г. Томск. Локализовано в трансгрессивной последовательности верхнемелового-палеогенового возраста среди типичных пород прибрежно-морских фаций: алевролитов и песчаников с горизонтами оолитовых железных руд и глауконитовых пород. В качестве основного инструмента использовалась сканирующая электронная микроскопия (83 изученных образца, TESCAN VEGA3 SBU с ЭДС детектором Oxford X50) в комплексе с классическим петрографическим анализом.

Диагенез Бакчарского месторождения отражается в различных минеральных новообразованиях при полном разнообразии аутигенных железистых минералов, формирующихся в отличительных геохимических условиях. (i) Основная аутигенная рудно-минеральная форма представлена железистыми оолитами, ооидами и онкоидами. Эти хемогенных формы состоят из ассоциации железистых фаз гидроксида (гидрогетит) и алюмосиликата (шамозит) с недавно выявленными [10] микрофосфатами редкоземельных элементов цериевой группы (куларит). Помимо новообразованных минералов железистые сферолиты включают в себя различные терригенные минералы: магнетит, циркон, ильменит, кварц, полевые шпаты и т.д. (ii) Второстепенная аутигенная форма представлена цементом (или матриксом) осадочной породы. Цемент может быть как моно-, так и полиминеральным, по структуре от базального до порового. Среди наиболее распространенных минеральных фаз матрикса отмечаются лепидокрокит (псевдоаморфный гидроксид железа), иллит (или иллито-сметтит), шамозит, сидерит. В рудах с наивысшей долей  $Fe_2O_3$ total цемент состоит из шамозит-сидерита, сидерита или вовсе отсутствует (для так называемого сыпучего типа руд [10]). (iii) Редкие минеральные фазы фосфатов, сульфидов и сульфатов, наблюдаемые как в матриксе пород, так и реже в хемогенных сферолитах. Несмотря на невысокую долю в валовом минеральном составе пород эти минералы несут в себе важную генетическую информацию, при осмыслении которой ставится под сомнение классическая теория речного стока этих рудных объектов. Среди аутигенных серосодержащих минералов встречаются следующие: пирит (рис. 1 а), грейгит, пирротин, галенит, сфалерит (рис. 1 б), акантит, халькопирит, герсдорфит, золото, барит, баритоцелестин и целестин. Из фосфатов отмечаются куларит (рис. 1 с), ксенотим, церит, апатит, вивианит.



**Рис. 1.** СЭМ-изображения фрамбOIDов пирит (а), сфалерита (б) и фосфата редкоземельных элементов (с) в оолитовых железняках Бакчарского месторождения

Повсеместно встречаемые в разрезе месторождения ассоциации аутигенных минералов отражают флуктуацию геохимических условий диагенеза. Судя по широкому распространению железистых сферолитов на различных стратиграфических уровнях среди сидеритового, сидерит-иллитового и сидерит-шамозитового цемента с сульфидными нодулями и фрамбоидами их можно считать достаточно устойчивой минеральной фазой.

По всей видимости, диагенетический режим контролировался несколькими основными факторами: (а) разложением органического вещества, (б) подтоком железа в коллоидной или ионной форме, (в) поступлением терригенного материала как условие создания проницаемого осадка. Наличие специфических для отложений морских железняков минеральных форм, таких как галенит, сфалерит, барит, барито-целестин, ксенотим, пирротин [8] и т.п., свидетельствует о поступлении металлов, как правило, гидротермальной (эндогенной) природы в древний осадок.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-35-00022).*

#### *Литература*

1. 9.18 — Iron Formations: Their Origins and Implications for Ancient Seawater Chemistry / A. Bekker [et al.] // *Treatise on Geochemistry*. 2014. P. 561–628.
2. Ramanaidou E. R., Wells M. A. 13.13 — Sedimentary Hosted Iron Ores // *Treatise on Geochemistry*. 2014. P. 313–355.
3. Kholodov V. N., Nedumov R. I., Golubovskaya E. V. Facies types of sedimentary iron ore deposits and their geochemical features: Communication 1. Facies groups of sedimentary ores, their lithology, and genesis // *Lithology and Mineral Resources*. 2012. V. 47. № 6. P. 447–472.
4. Petranek J., Van Houten F.B. Phanerozoic ooidal ironstones // *Czech Geological Survey Special Papers*. 1997. V. 7. P. 70.
5. Sturesson U., Heikoop J. M., Risk M. J. Modern and Palaeozoic iron ooids—a similar volcanic origin // *Sedimentary Geology*. 2000. V. 136. № 1. P. 137–146.
6. Западно-Сибирский железорудный бассейн. Новосибирск: СО РАН СССР, 1964. 448 с.
7. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, Томская область / А. К. Мазуров [и др.] // *Руды и металлы*. 2006. V. 2. P. 64–70.
8. Ferrimagnetic Iron Sulfide Formation and Methane Venting Across the Paleocene-Eocene Thermal Maximum in Shallow Marine Sediments, Ancient West Siberian Sea / M. Rudmin [et al.] // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2018. V. 19. P. 1–22.
9. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia // *Sedimentary Geology*. 2017. V. 355. P. 20–30.
10. Рудмин М. А., Мазуров А. К. Оолитовые руды Бакчарского железорудного узла (Томская область) // *ДАН*. 2016. V. 471. № 2. P. 1238–1241.

**Рудмин Максим Андреевич**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск.