

УДК 549.086:549.02:553.08

**МОРФОЛОГИЯ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД
БАКЧАРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)****Рудмин М.А., Мазуров А.К., Рубан А.С.***Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: rudminma@tpu.ru*

В настоящее время в пределах Бакчарского рудопоявления осуществляется геолого-технологическая оценка железных руд. Данная работа посвящена типизации оолитовых руд, изучению их морфологии и вещественного состава. Особое внимание уделено характеру распределения ценных и вредных примесей, определению основных минералов – концентраторов этих элементов. Для реализации поставленных целей были использованы следующие виды аналитических исследований: гранулометрический анализ, оптическая микроскопия, рентгенофлуоресцентная микроскопия, электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия, термический анализ, рентгеноструктурный анализ, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. В результате проведенных исследований выделены три типа руд: сыпучие оолитовые гидрогетитовые руды, сцементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепко сцементированные гидрогетитовые руды. Дана характеристика морфологии и вещественного состава рудных оолитов. Описаны формы нахождения фосфатов, с которыми связана вредная примесь фосфора. По анализу элементного состава проб сыпучих руд доказано, что перспективной для обогащения на западном участке можно считать фракцию (–1...+0,2) мм, на восточном – фракцию (–1...+0,1) мм.

Ключевые слова: Бакчарское рудопоявление, оолитовые руды, вещественный состав, рентгенофлуоресцентная микроскопия, электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, инфракрасная спектроскопия, термический анализ, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой

**MINERAL AND ELEMENTAL COMPOSITION OF IRON ORES
IN BAKCHAR IRON ORE CLUSTER (TOMSK OBLAST)****Rudmin M.A., Mazurov A.K., Ruban A.S.***National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: rudminma@tpu.ru*

Geo-technological investigation considerations of iron ore deposits within the Bakchar ore cluster are being carried out. The mineral and elemental composition of ores have been studied, embracing such important aspects as the distribution pattern of valuable and harmful impurities, the determination of element concentrators in basic minerals and the analysis of ore composition variation in volume ore cluster. Based on the results of optical observations, X-ray fluorescence and electron microscopy, infrared spectroscopy (IR – spectroscopy) and mass-spectroscopy with inductive-coupled plasma (ICP-MS) the mineral and elemental composition characteristic features of oolitic ores have been considered. As a result of the detailed investigation of material composition and ore texture-structure specifications three natural ore types were identified: «loose», medium and poorly cemented (or continuous) and closely cemented (sideritic). Based on investigation results the mineral and elemental composition characteristic features of ores were defined. The deportment of phosphates, which are associated with the harmful impurity- phosphorous, are described. Based on the sample element composition analysis the most perspective areas for further mineral processing could be: western with the fraction of 1...0.2mm. and eastern- fraction of 1...0.1 mm.

Keywords: Bakchar ore cluster, oolitic ores, elemental composition, X-ray fluorescence microscopy, electron microscopy, X-ray diffraction analysis, infrared spectroscopy, thermal analysis, mass-spectroscopy with inductive-coupled plasma

Бакчарский рудный узел расположен в юго-восточной части Западно-Сибирского железорудного бассейна (рис. 1), в административном отношении в 200 км от г. Томска на северо-запад. Проявления железа в Западно-Сибирском железорудном бассейне прослежены в полосе шириной 150 км и протяженностью около 2000 км (от бассейнов рек Турухан, Большая Хета на северо-востоке до верхнего течения р. Тобол на юго-западе). Общие прогнозные запасы железных руд бассейна с содержанием железа более 30% оцениваются в 400 млрд т, что позволяет считать его крупнейшей железорудной провинцией мира [2–4]. Железные отложения Бакчарского рудного узла

представлены типичными осадками прибрежно-морских фаций – гравелитами, оолитовыми рудами, песчаниками, алевролитами и глинами. Оолитовые железные руды характеризуются в основном оолитами гетит-гидрогетитового, хлорит-гидрогетитового состава и относятся к трем горизонтам (снизу вверх): нарымскому, колпашевскому и бакчарскому [2, 3].

Многие исследователи предлагали различные варианты типизации бакчарских руд. Каждая из классификаций несёт в себе определенную информацию, либо генетическую, либо технологическую [2, 3, 5]. Идентификация этих руд представляется возможной лишь в лабораторных условиях,

с использованием детальных методов оптической микроскопии. Этот факт делает невозможным геометризацию руд в разрезе скважин по типам в полевых условиях, а требует проведения дорогостоящих аналитических исследований. Таким образом, выделение 5–7 типов руд является, по нашему мнению, нецелесообразным и теряет практическую значимость. Необходимо подчеркнуть, что основным недостатком ранее выделенных типов руд [2, 3, 5] является их сложная идентификация и принципиально единственный фактор типизации.



Рис. 1. Схема Западно-Сибирского железорудного бассейна [3, 4]: 1 – площадь распространения мел-палеогенового моря; 2 – полоса распространения прибрежно-морских железорудных отложений; 3 – площади наиболее крупных железорудных узлов (месторождений)

В последней работе Е.М. Асочаковой [1] «по окраске, структурно-текстурным особенностям, минеральному составу цементирующей массы и специфике положения в разрезе» выделяются три типа руд: бурые цементированные гетит-гидрогетитовые руды, переходный тип руд, зеленовато-серые глауконит-хлоритовые руды. На первый взгляд, данная классификация сведена к более простой форме, но в ней также имеются недостатки. Основной недостаток заключается в том, что «рыхлые» гидрогетитовые руды, которые

относительно локально распространены на рудном поле, объединяются в один тип вместе со цементированными гидрогетитовыми рудами. Этот факт противоречит селективной переработке цементированных и рыхлых руд, что неоднократно освещалось в работах предшественников [3, 4]. К тому же выделение в отдельный тип глауконит-хлоритовых руд также является сомнительным моментом, так как согласно общепринятым стандартам глауконит не является промышленно ценным минералом железа.

В связи со сложившейся ситуацией требуется вновь поднять вопрос типизации бакчарских руд. Для упрощения поисковых работ на других перспективных площадях Западно-Сибирского бассейна необходимо использовать классификацию руд, в которой будет заключена комплексная информация. В ходе геологоразведочных работ геологи должны применять конкретные характеристики для экспрессного распознавания руд и иметь представление об условиях их формирования, примерных прогнозных ресурсах, распространенности рудных тел, вероятной технологии обогащения и перечне ожидаемых трудностей при её применении. Для того чтобы выделенные природные типы отвечали таким требованиям, необходимо дифференцировать их по комплексу факторов, которые влияют на переработку руд.

На основе геологической характеристики, физико-механических свойств, структурно-текстурных особенностей, минерального и химического состава на Бакчарском рудопоявлении выделяется три природных типа руд: первый тип – сыпучие оолитовые гидрогетитовые руды; второй тип – слабо и средне цементированные гидрогетит-хлоритовые руды; третий тип – крепко цементированные гидрогетитовые руды. Выделенные природные типы без труда могут идентифицироваться в ходе полевых работ.

Материалы и методы исследования

Материалом для аналитических исследований являлся керн колонковых скважин, пробуренных в 2012–2013 гг. Гранулометрический анализ всех проб осуществлялся методом «мокрого» ситования при помощи стандартного набора сит. Всего было обработано данным методом 23 пробы из 14 скважин, из которых 9 проб были отобраны из залежей «рыхлого» типа руд. Вещественный состав, особенности распределения элементов в структуре рудных зёрен и формы их нахождения изучались с применением следующих методов: оптической микроскопии, рентгенофлуоресцентной микроскопии, электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии, термического анализа, рентгеноструктурного анализа, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе изучения kernового материала по текстурно-структурным особенностям и вещественному составу нами были выделены следующие типы руд: сыпучие оолитовые гидрогетитовые руды («рыхлые»), слабо и средне цементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепко цементированные гидрогетитовые руды.

«Рыхлые» руды локализуются в подошве бакчарского горизонта и залегают на глубине 160–180 метров на западном участке и на глубине 200–225 метров на восточном. Данные руды не цементированы и имеют однородную текстуру. Средний выход фракции более 1 мм составляет 6,3%, (–1...+0,5) мм – 13,6%, (–0,5...+0,2) мм – 60,7%, (–0,2...+0,1) мм – 12%, менее 0,1 мм – 7,3%. По абсолютному размеру составных частей будет корректно считать структуру данных руд среднезернистой. Окраска руд преимущественно черная, иногда буровато-черная. При визуальном описании хорошо наблюдается своеобразный блеск за счёт высокого содержания оолитов (70–80%).

Цементированные руды с глауконит-хлорит-глинистым цементом локализуются в колпашевском горизонте и залегают на глубине от 180 до 225 метров, в кровле в частых случаях переходят в «рыхлые» руды. Основное отличие от остальных руд заключается в слабом (иногда среднем) характере цементации и зеленоватом (табачном) оттенке. Цемент имеет гидрогетит-глинистый, хлорит-глинистый, глауконит-глинистый, гидрослюдистый состав. Средний выход фракции более 1 мм составляет 0,3%, (–1...+0,5) мм – 3,8%, (–0,5...+0,2) мм – 52,3%, (–0,2...+0,1) мм – 30,7%, менее 0,1 мм – 12,8%. По абсолютному размеру составных частей структура данных руд мелкозернистая. Повышенное содержание глауконита и лептохлорита относительно остальных типов руд обеспечивает характерный зеленоватый оттенок цементированных руд. Содержание оолитов не превышает 50%.

Крепко цементированные руды залегают на глубинах 165–170, 210–235 метров и локализуются в кровле бакчарского и нарымского горизонтов соответственно. Руды крепко цементированные, с однородной структурой. Абсолютно точно определить гранулометрический состав данных руд не представляется возможным, так как они не дезинтегрируются методом «мокрого» ситования в отличие от вышеперечисленных типов. Структура крепко цементированных руд разномасштабная. Цемент преимущественно сидеритовый, иногда хлорит-сидеритовый (кровля нарымского горизонта).

Все перечисленные руды состоят из аутигенных рудных бобовин, оолитов и терригенных обломков кварца, халцедона, ранее образованных оолитов. Основное отличие заключается в структурных особенностях. Бобовины в частых случаях имеют коричневатый-черный, коричневатый-бурый цвет и сферические, неправильные формы с однородной, концентрически-зональной и сложной внутренней структурой. «Затравками» в концентрически-зональных зёрнах, которые слагают ядро оолита, служат кварц, сгустки глинистых минералов, глауконит, гетит, гидрогетит, лептохлорит, редко магнетит. В теории оолитообразования эти «затравки» являются центрами коагуляции, вокруг которых происходит распад коллоидных растворов и формирование гидроокислов железа. По морфологии и окраске рудные компоненты можно разделить на коричневатый-черные оолиты с более правильными очертаниями, коричневатый-бурый оолиты со сферическими неправильными очертаниями и сложные оолиты (цементация гидрогетитом нескольких ранее образованных оолитов). Первые имеют преимущественно гидрогетитовый состав с малой долей хлорита, а вторые – хлорит-гидрогетитовый состав со значительными включениями обломочных минералов.

В структуре *хлорит-гидрогетитовых* оолитов присутствуют включения размером от долей до 80–120 мкм. Среди этих включений с применением рентгенофлуоресцентной и электронной микроскопии фиксируются следующие минералы: кварц, полевой шпат, сфалерит, рутил, ильменит, циркон, магнетит, кальциевые фосфаты (анапаит), фосфаты редкоземельных элементов (куларит (рис. 2, 3)). Обломки кварца и полевых шпатов преобладают над остальными и легко диагностируются по оптическим свойствам. В структуре *гидрогетитовых оолитов* отмечаются микровключения редкоземельных фосфатов (куларит), рутила, галенита, обломки кварца, полевых шпатов. Размер микровключений не превышает 10 мкм. Рутил фиксируется в единичных случаях в виде вкраплений до 5 мкм. Галенит присутствует в виде вкраплений и сплошных агрегатов, которые выполняют микротрещинки совместно с куларитом. Самым распространенным фосфатным минералом является куларит, который встречается во всех типах руд. По результатам электронной микроскопии в бакчарских рудах выделяется две разновидности куларита: с повышенным содержанием кальция и с повышенным содержанием тория. Первая разновидность (рис. 2) является самой распространенной и имеет следующую формулу:

$(Ca_{0,22}Fe_{0,05})_{0,27}(Ce_{0,37}Nd_{0,15}La_{0,14}Pr_{0,03})_{0,69}[P_{1,06}O_4]$ ($Ce > Nd \geq La$). Условно её можно назвать «кальцийсодержащей». Форма агрегатов данного куларита разнообразная: скоплениями микросферолитов, концентрические незамкнутые кольца, агрегаты неправильной формы (размером до 10 мкм), червеобразные агрегаты. При исследовании множества образцов на электронном микроскопе можно сказать, что морфология зёрен куларита разнообразная и главным образом определяется пустотным пространством, где они образуются. Вторая разновидность (рис. 3) встречается исклю-

чительно в единичных случаях. Формула этой разновидности имеет следующий вид $(Ca_{0,03}Fe_{0,06})_{0,09}(Ce_{0,42}La_{0,2}Nd_{0,16}Pr_{0,04})_{0,88}Th_{0,05}[P_{1,01}O_4]$ ($Ce > La \geq Nd$). Условно подобный куларит можно назвать «торийсодержащим». Отличительной особенностью этой разновидности является низкое содержание кальция, высокое содержание тория (до 8%), относительно крупные размеры зёрен. Данный куларит имеет овально-округлую, вытянутую форму зёрен, размером от 10 до 30–40 мкм. Встречается в качестве вкрапленных в хлорит-гидрогетитовых бобовинах в рудах первого и третьего типа.

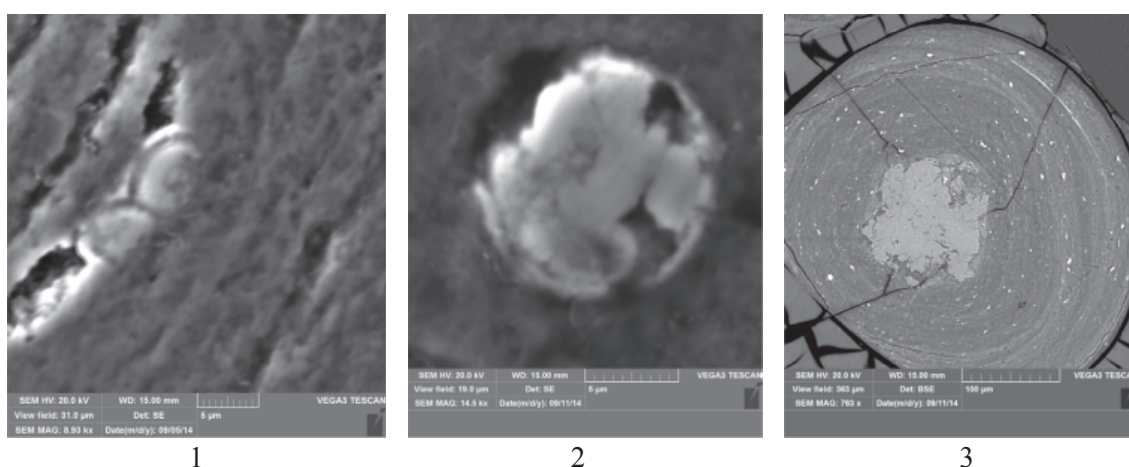


Рис. 2. Микросферолиты «кальцийсодержащего» куларита в гидрогетитовых оолитах. Снимки сканирующего электронного микроскопа (SEM): 1, 2 – изображение в отраженных электронах (SE); 3 – во вторичных электронах (BSE)

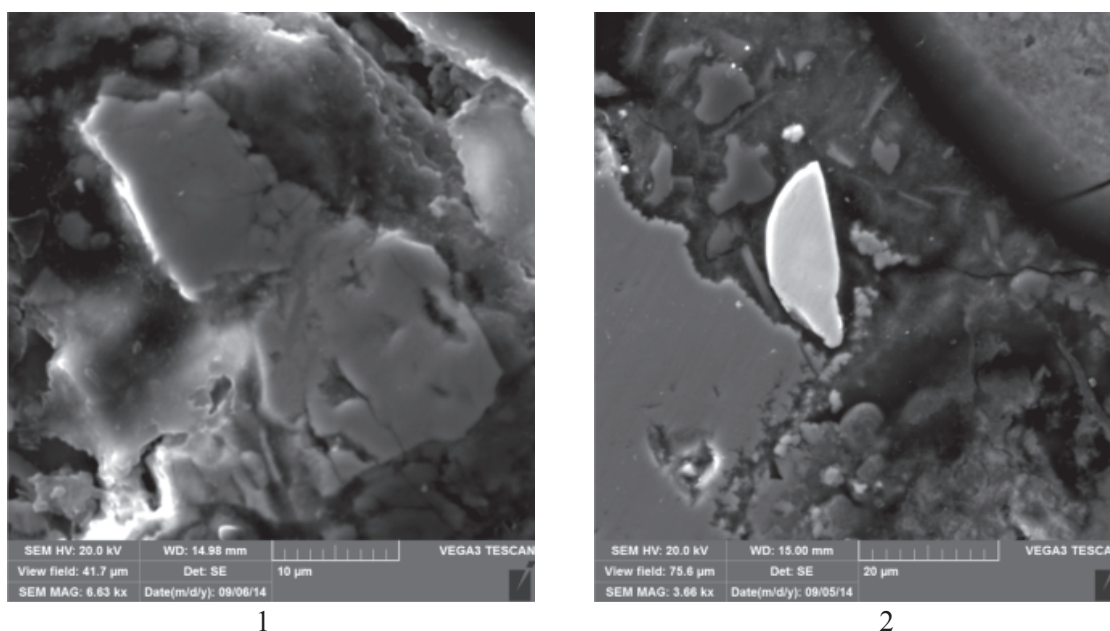


Рис. 3. Агрегаты «торийсодержащего» куларита. Снимки сканирующего электронного микроскопа (SEM), изображения SE

«Рыхлые» руды характеризуются средними содержаниями железа 35 и 38%, фосфора 0,41 и 0,32%, ванадия 0,16 и 0,18% для западного и восточного участков соответственно. При этом содержание железа увеличивается на 5–8% для фракции, имеющей максимальный процентный выход (фракция $(-0,5...+0,2)$ мм). Гранулометрический класс $(-1...+0,2)$ мм на западном участке имеет общий выход около 80%, при этом среднее содержание железа, фосфора и ванадия в нём будет 37,5; 0,49 и 0,17% соответственно, что существенно упрощает дальнейшую схему обогащения этих руд. Гранулометрический класс $(-1...+0,1)$ мм на восточном участке имеет общий выход около 86,2%, при этом среднее содержание железа, фосфора и ванадия в нём будет 39,4; 0,35 и 0,19% соответственно, что позволяет считать эти руды наиболее богатыми.

Микроскопические выделения фосфатов в продуктивной фракции существенно ухудшают технологические показатели руды за счет того, что их удаление не возможно механическим способом. Однако в случае получения в процессе обогащения фосфористого шлама целесообразно его использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений. Остальные вредные примеси мышьяка, меди, цинка, свинца и олова не превышают допустимые значения для оолитовых руд.

Помимо вредной примеси в структуре гидрогетитовых оолитов постоянно присутствуют примеси ванадия и марганца, содержание которых достигает 0,35 и 0,3% соответственно. Эти примеси считаются легирующими, то есть улучшающими качество стали и чугуна. Содержание титана в рудах достигает 0,8% и связано с минеральными включениями ильменита, рутила и их обломков.

Выводы

В результате проделанной работы нами были получены следующие выводы. В пределах бакчарской рудной толщи на основе комплекса факторов выделены типы руд: первый тип – сыпучие оолитовые гидрогетитовые руды; второй тип – слабо и средне сцементированные гидрогетит-хлоритовые руды; третий тип – крепко сцементированные гидрогетитовые руды. Описана их ве-

щественная характеристика. Установлены и охарактеризованы минеральные формы, с которыми связана примесь фосфора (куларит). Доказано, что перспективной для обогащения на западном участке можно считать фракцию $(-1...+0,2)$ мм, на восточном – фракцию $(-1...+0,1)$ мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Томского политехнического университета. Проект: ВИУ_ИПР_114_2014.

Список литературы

1. Асочакова Е.М., Коноваленко С.А. Геохимические особенности железных руд Бакчарского месторождения (Западная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. Науки о Земле. – 2010. – № 305. – С. 219–222.
2. Бабин А.А. Бакчарское железорудное месторождение (геология, закономерности размещения и генезис железных руд): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск: ТПИ, 1969.
3. Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. Ф.Н. Шахова. – Новосибирск: СО РАН СССР, 1964.
4. Мазуров А.К., Боярко Г.Ю., Емешев В.Г., Комаров А.В. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, Томская область // Руды и металлы. – М., 2006 – № 2 – С. 64–70.
5. Николаева И.В. Бакчарское месторождение оолитовых железных руд. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1967. – 129 с.

References

1. Asochakova E.M., Konovalenko S.I. Geohimicheskie osobennosti zheleznyh rud Bakcharskogo mestorozhdenija (Zapadnaja Sibir). Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle, 2010, no. 305, pp. 219–222
2. Babin A.A. Bakcharskoe zhelezorudnoe mestorozhdenie (geologija, zakonornosti razmeshhenija i genezis zheleznyh rud). Ph.D., Dis. Tomsk, 1969.
3. Zapadno-Sibirskij zhelezorudnyj bassejn. Novosibirsk, SO RAN SSSR, 1964.
4. Mazurov A.K., Bojarko G.Ju., Emeshev V.G., Komarov A.V. Perspektivy osvoenija Bakcharskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija, Tomskaja oblast. Rudy i metally, 2006, no. 2, pp. 64–70.
5. Nikolaeva I.V. Bakcharskoe mestorozhdenie oolitovyh zheleznyh rud. Novosibirsk, SO AN SSSR, 1967. 129 p.

Рецензенты:

Попелуев А.А., д.г.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

Ворошилов В.Г., д.г.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 27.10.2014.