

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 553.31 (571.16)

*Е.М. Асочакова, С.И. Коноваленко*

## К ГЕОХИМИИ ООЛИТОВЫХ И БОЛОТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

*Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

Проанализировано распределение элементов-примесей в осадочных железных рудах Томской области. Установлено, что геохимической спецификой железных руд является обогащенность Zn, Sr, La, а также элементами группы железа Cr, Ti, Ni, Mn и V. Различия и вариации содержаний микроэлементов в рудах связаны с особенностями их минерального состава.

**Ключевые слова:** осадочные железные руды; элементы-примеси; Томская область.

Осадочные железные руды известны во многих странах мира, где они связаны с породами фанерозойского и кайнозойского возраста [1–4]. Наиболее известными осадочными месторождениями железных руд на территории бывшего СССР являются месторождения Керченского бассейна и ряд месторождений Центральной России. Наряду с ними крупные скопления осадочных железных руд были обнаружены на Урале в Северном Приаралье, Тургайском районе, а в 50-е гг. XX в. – в Западной Сибири [5]. Западно-Сибирский железорудный бассейн имеет северо-восточное простирание, что согласуется с основными чертами строения доюрского фундамента Западно-Сибирской плиты. Юго-восточная её часть сложена байкальско-каледонскими складчато-глыбовыми сооружениями, которые с запада окаймляются герцинскими образованиями Колывань-Томской складчатой области [6].

Объектами исследования являлись мезо-кайнозойские железные руды Бакчарского месторождения и рудопроявлений Томского Приобья.

Самые крупные запасы железных руд Томской области связаны с Западно-Сибирским железорудным бассейном, простирающимся с севера на юг более чем на 1,5 тыс. км. В пределах томской части бассейна выделяются пять рудных узлов – Бакчарский, Колпашевский, Парабельский, Чузикский и Парбигский. Бакчарский узел с одноименным месторождением приурочен к верхнемеловым и палеогеновым отложениям, перекрытым довольно мощной толщей (160–200 м) неоген-четвертичного возраста. Железные руды данного объекта связаны с несколькими горизонтами: нарымским, колпашевским, тымским и бакчарским. Мощность продуктивных пластов колеблется от 2 до 40 м. Железорудные горизонты прослеживаются на всей площади месторождения, а также за ее пределами, разделяясь безжелезистыми или слабожелезистыми породами и нередко с размывом перекрывая друг друга. По своим структурным особенностям, химическому и минералогическому составу руды месторождения подразделяются на шесть типов: 1) плотные гётито-гидрогётитовые руды с сидеритовым цементом; 2) рыхлые гётито-гидрогётитовые руды; 3) лептохлоритовые руды с хлорито-сидеритовым цементом; 4) конгломератовидные лептохлоритовые руды с крупными оолитами; 5) сидеритовые руды; 6) глауконитовые руды с сидеритовым

цементом. Среднее содержание железа в указанных типах руд меняется от 30 до 46% [7, 8].

Руды, отобранные из скважины Полынянского участка Бакчарского месторождения, представлены бурыми сцементированными оолитовыми гётит-гидрогётитовыми железняками, зеленовато-серыми глинисто-хлоритовыми микролитовыми и темно-бурыми, переходными между оолитовыми гётит-гидрогётитовыми и глинисто-хлоритовыми типами. По последним данным, установленные два типа руд (зеленовато-серые глинисто-микрооолитовые и темно-бурые, бурые сцементированные оолитовые гётит-гидрогётитовые железняки) являются исходными генетическими типами железных руд месторождения, а между ними располагаются промежуточные (переходные) разновидности или подтипы в разной степени (от интенсивной до частичной), затронутые наложенными преобразованиями (выветриванием, окислением, разрушением волновой эрозией и др.), которые послужили источниками оолитового материала для формирования сыпучих (перемытых) железных руд месторождения [9].

Бурые сцементированные гётито-гидрогётитовые руды с разным соотношением оолитов и цемента слагаются оолитами и бобовинами гидрогётита, обломочным материалом и цементом. Это плохо отсортированный концентрат, сформированный как бы отполированными оолитами и бобовинами гётита и гидрогётита. Сами оолиты очень разнообразны по форме и цвету. По форме отмечаются в основном округлые, сплюснутые и угловатые; по цвету – черные блестящие, коричневые (бурые) блестящие и матовые. Руды довольно мягкие и легко растираются руками. Текстура руд массивная, вкрапленная. Явной слоистости не наблюдается. Есть участки с наибольшим количеством оолитов, что выражается в неравномерной окраске наподобие слоистости. Оолиты и рудные бобовины составляют 60–70%, терригенный материал – 15–25% от всей рудной массы, остальное цемент.

Глинисто-микрооолитовые руды отличаются зеленовато-серым цветом и нередко хорошо выраженной слоистостью. Руда состоит из черных и темно-коричневых гётитовых и гидрогётитовых оолитов, легко рассыпается. Зеленовато-серый хлорито-глинистый цемент покрывает оолиты и ооиды корками.

Переходные (промежуточные) разновидности руд между оолитовыми гётит-гидрогётитовыми и глини-

стыми глауконит-хлоритовыми типами отличаются буроватым цветом, различными соотношениями оолитов, гётит-гидрогётитовой и глинисто-хлоритовой составляющих.

По гранулометрическому составу в рудах Бакчарского месторождения преобладает фракция 0,5–0,25 мм, представленная рудными оолитами, сгустками оолитов с цементом и незначительной примесью зерен кварца (около 10%). По данным рентгенофлуоресцентного анализа оолитовых железных руд, среднее содержание  $Fe_2O_3$ общ 42,52%. Наиболее высокие концентрации характерны для фракции 0,5–0,25 мм и достигают 56%.

Вторым источником железных руд в Томской области являются континентальные проявления болотных руд на правом берегу р. Оби. Наиболее известные проявления среди них – Поздняковское, Казанское, Киреевское и др. Эти объекты Томского Приобья слабо изучены, поскольку не имеют сегодня промышленного значения, но еще в XVII в. делалась попытка освоения именно пойменно-болотных железных руд. Они приурочены к палеоген-неогеновым толщам, перекрытым четвертичными отложениями. Руды залегают в отложениях надпойменной террасы в виде линз и жил двух минеральных разновидностей – лимонитовой и сидеритовой [10].

На Поздняковском месторождении выявлено 12 рудных жил небольших размеров, в среднем  $13 \times 100$  м при мощности от 0,2 до 0,6 м. Выделено три основные разновидности: плитчатые, бобовые и землистые лимонитовые руды, для которых подсчитанные запасы составляют около 10 тыс. т, при содержании  $Fe_2O_3$  – 51,3%, потери при прокаливании – 30,1%,  $SiO_2$  – до 23%, Mn – до 10% [11].

Сидеритовые руды Казанского проявления залегают в палеогеновых отложениях в виде пластовых тел мощностью до 4,2 м. Среднее содержание FeO 35% и  $Fe_2O_3$  5,5%, потери при прокаливании 23,5%,  $SiO_2$  – до 30% и  $TiO_2$  – 0,62% [12].

На Киреевском проявлении в песках, залегающих среди коричневых глин, прослеживается пласт «разборной» сидеритовой руды мощностью от 0,2 до 0,5 м, содержание  $Fe_2O_3$  достигает 58,6%. Первое упоминание о Киреевском проявлении в специальной литературе принадлежит В.А. Хахлову, который отметил «горизонты сидеритов в палеогеновых отложениях у с. Киреевского» [13]. Более поздними работами был установлен четвертичный возраст этих отложений, а сами они отнесены к кочковской свите [14]. В районе проявления эти отложения соответствуют верхнекочковской подсвите и выходят на поверхность в обрывах р. Оби в докольной части первой надпойменной террасы и представлены глинами синевато-серого и серого цвета. Глины песчаные, иногда слюдистые с желваками глинистого сидерита, линзами коричневатой глины, обломками лигнитизированной древесины и многочисленными отпечатками листьев. Видимая мощность их составляет 3,5 м, а по данным бурения достигает 20 м [10].

Обломки железных руд, взятые как с коренных выходов, так и в аллювии на правом берегу р. Оби, представляют собой мелкие конкреции сидерита и их фрагменты. Конкреции имеют уплощенную эллипсоидную

форму. Размер их достигает нескольких сантиметров по длинной оси. С поверхности они, как правило, покрыты желто-коричневой коркой оксидов и гидроксидов железа переменной мощности, являющейся продуктом окисления сидерита. Неизменный сидерит внутренних участков конкреций представлен скрытокристаллическим агрегатом светло-серого, зеленовато-серого и буровато-серого цвета с редкими включениями относительно крупных (до 1 мм) угловатых зерен аллотигенного кварца. В самостоятельных обломках, кроме конкреций сидерита, среди собранных образцов встречаются только различные по форме и размерам куски бурого железняка – лимонита. Их слагает преимущественно гидрогётит, довольно переменного состава (из-за разной степени гидратации) с незначительной примесью собственно гетита, а также кварца и глинистых минералов. Окрашены бурые железняки в желтые, желто-коричневые, бурые и темно-бурые цвета. Агрегаты их плотные скрытокристаллические, а во внутренних частях под наружной коркой часто порошковатые, землистые.

Содержание главного компонента в железных рудах Томского Приобья ( $Fe_2O_3$ общ) по данным рентгенофлуоресцентного анализа варьирует от 43,62 до 50,85%. Максимальные количества железа характерны главным образом для лимонитовых (гётит-гидрогётитовых) руд или сильноокисленных сидеритовых руд.

Исследование вещественного состава оолитовых железных руд с помощью рентгенофазового и термического анализов показало, что главными минералами всех руд являются гётит, гидрогётит, причем в рудах Томского Приобья обычно присутствует сидерит, а в оолитовых рудах – лептохлориты (таблица).

По данным количественного спектрального анализа руд Бакчарского месторождения и проявлений Томского Приобья элементный состав примесей весьма разнообразен. Установлено, что геохимической спецификой железных руд является обогащенность Zn, Sr, La, а также элементами группы железа Cr, Ti, Ni, Mn и V. Указанные элементы по имеющимся сегодня данным не образуют собственных минеральных фаз и присутствуют, скорее всего, в адсорбированном состоянии и частично в виде изоморфной примеси (Sr, La) в фосфатах, карбонатах и других экзогенных минералах.

Для континентальных сидеритовых и лимонитовых руд Томского Приобья характерны повышенные концентрации Mn, Cu, Co, Zr, La по сравнению с рудами Бакчарского месторождения (рис. 1).

Выделим основные элементы, содержание которых в обоих типах руд имеет отличительные особенности.

Марганец в осадочных рудах обычно связывают с железом. Считается, что основная часть его осаждается вместе с ним, но характер распределения Mn по фракциям говорит о том, что кроме изоморфной примеси марганца в железосодержащих минералах, он может присутствовать в рудах и в собственной минеральной форме, и данные рентгенофазового анализа выявили характерные рефлексы псиломелана и вернадита. Среднее содержание Mn в Бакчарских рудах составляет 419 г/т, в болотных рудах – 11051 г/т.

Содержание ванадия в оолитовых рудах достигает 120 г/т, что значительно превышает содержание его в

болотных рудах до 60 г/т. Этот элемент присутствует в рудах в основном в виде изоморфной примеси, но не отрицается наличие собственных минеральных форм.

Ванадий легко переносится в растворах и адсорбируется гидроксидами железа, алюминия и органическим веществом.

Среднее содержание минералов в железных рудах Томской области по данным синхронного термического анализа

Месторождение	Тип руд	Температурный интервал	
		30–360°C	320–500°C
		Гётит, гидрогётит, %	Сидерит
Бакcharское	Гётит-гидрогётитовые	48,90	–
	Глинисто-хлоритовые	35,63	–
	Переходные	39,23	–
Томского Приобья	Сидеритовые	27,41	70,71%
	Окисленные сидеритовые	75,41	24,50%

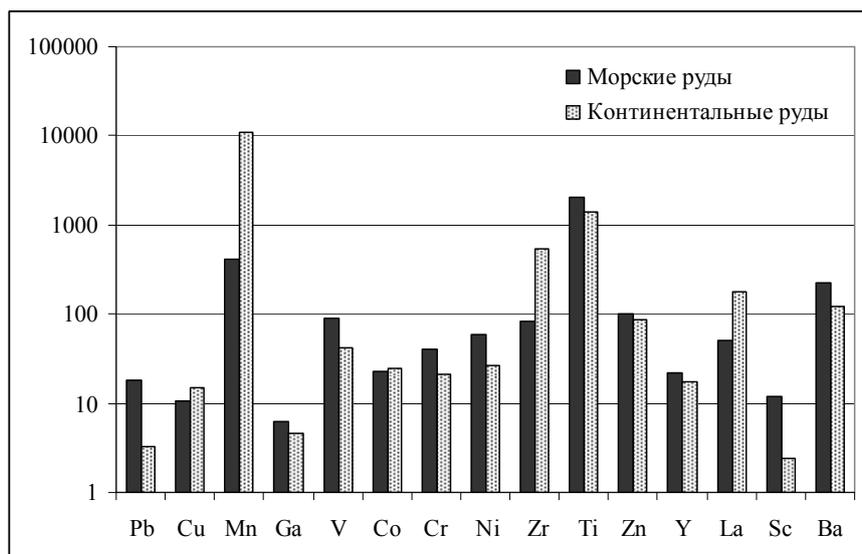


Рис. 1. Диаграмма средних содержаний микроэлементов в железных рудах, г/т

Титан относится к «семейству железа» и в то же время характеризуется отчетливыми литофильными свойствами, а в условиях выветривания и осаждения обнаруживает геохимическое сродство с Al и концентрируется в бокситах кор выветривания, а также в морских глинистых осадках, что вполне согласуется с повышенными концентрациями Ti в рудах Бакcharского месторождения (2500 г/т).

Распределение Ni в оолитовых рудах весьма однородно и в среднем составляет 59,4 г/т. В болотных же рудах распределение этого элемента весьма неравномерно. Отмечаются резко повышенные содержания (до 290 г/т), а в целом они колеблется от 10 до 30 г/т. Аналогичным является и распределение содержаний Co. Максимальное количество его в болотных рудах достигает до 163 г/т, а в среднем около 20 г/т, что характерно для обоих типов руд. Подобная ситуация неувидительна, т.к. эти два элемента геохимически родственны, но Co по сравнению с Ni геохимически ближе к Fe. В осадочных породах концентрация Co низкая и только в глинистых отложениях приближается к кларку (30 г/т), а вот в осадках, содержащих гидроксиды железа и марганца, в ряде случаев она достигает 0,1–2,0%, что и наблюдается в болотных рудах, где концентрация Mn заметно больше, чем в оолитовых рудах.

Ст вместе с Fe, Ti, Ni, Co, V и Mn составляют одно геохимическое семейство, поэтому его содержание в рудах двух типов закономерно повторяет картину распределения этих элементов.

Основным источником Ba для морских железных руд служит выветривание пород континентов, но не исключается и роль подводного вулканизма. Тот Ba, который поступал в морскую воду, геологически быстро извлекался из нее в результате адсорбции глинистыми илами. Важнейшим геохимическими барьерами для Ba выступает биогеохимический (поглощение живым веществом) и адсорбционный, локальное значение приобретает сульфатный барьер (в морях, подземных водах) [15]. В рудах Бакcharского месторождения количество Ba превышает 220 г/т, а в континентальных рудах оно лишь чуть более 100 г/т.

Fe и Mn, а также V, Ti, Ga, Y, Yb поступали с континента за счет разрушения коренных пород суши [16], а также размыва кор выветривания. Элементы группы титана (Ti, Zr), алюминия (Al, Ga), Yb, Y, Sc, Nb, Sn и другие ионы с высокой валентностью почти полностью отсутствуют в природных водах и мигрируют в форме взвеси. Эти элементы переходят в осадок почти в тех же концентрациях, в которых они были в выветриваемых исходных породах, в то же время Ni и V достаточно подвижны [17].

Рассматривая происхождение оолитовых железных руд, подавляющее большинство исследователей считали, что они возникли в обстановке чрезвычайно мелководных и прибрежных частей моря, в области заливов, бухт, лиманов, куда поступало значительное количество обломочного материала и где огромную роль играла гидродинамика водоёма (волнения, течения, размыв и переотложение), причем все ее участки были теснейшим образом связаны с близлежащей сушей. В качестве главного фактора оолитообразования предполагали смешение пресных речных вод с солеными водами морей, окисление двухвалентного железа и его выпадение в осадок в обстановке интенсивного перемешивания вод [7, 8, 16].

По данным Н.М. Страхова [16], В.И. Холодова, Г.Ю. Бутузова [18], континентальные сидеритовые и лимонитовые руды образовывались в пределах болотных систем. Кислые болотные воды, сформированные в нижней части торфяников, выносили с почвенным стоком в ручьях и небольших протоках огромное количество двухвалентного железа в ионной форме и в виде

железоорганических соединений, что в настоящее время наблюдается в террасах не только Оби, но и других сибирских рек – Томи, Яи, Чулыма. Вместе с железом мигрировали глинозем, кремнезем и фосфор. Источником железа в болотных водах, с одной стороны, являются подстилающие породы, а с другой – тот терригенный материал, который поступает в область заболачивания со стороны в виде взвеси.

В пределах болотных систем прослеживается минерало-геохимическая зональность. Внутри торфяных болот образуются линзовидные залежи сидеритов, анкеритов, вивианитов и разнообразных гидроксидов железа, реже – марганца. По их периферии (на континенте) накапливаются гидроксидные железорудные проявления – охристые и конкреционные руды, сложенные гётитом, гидрогётитом и рентгеноаморфными гидроксидами железа, содержащие примесь  $P_2O_5$ . Наконец, на далеких флангах заболоченных областей, там где реализуются обстановки речных долин и морского мелководья, концентрируются морские оолитовые гидроксидно-хлорит-сидеритовые руды [18].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Стахович В.А.* Рифтогенез и юрские оолитовые железные руды Европы // Советская геология. 1986. № 9. С. 41–52.
2. *Sturesson U., Heikoop J.M., Riskc M.J.* Modern and Palaeozoic iron ooids – a similar volcanic origin // Sedimentary Geology. 2000. № 136. P. 137–146.
3. *Mücke A., Farshad F.* Whole-rock and mineralogical composition of Phanerozoic ooidal ironstones: Comparison and differentiation of types and subtypes // Ore Geology Reviews. 2005. № 26. P. 227–262.
4. *Рейхард Л.Е.* Влияние гидродинамического фактора на процессы образования оолитовых железных руд // Литодинамика донной контактной зоны океана. М.: ГЕОС, 2009. Режим доступа: [http://coruna.coastdyn.ru/longinov/pub/033\\_036.pdf](http://coruna.coastdyn.ru/longinov/pub/033_036.pdf)
5. *Князев Г.Б.* Формация осадочных железных руд и место в ее составе железных руд Западно-Сибирского бассейна // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: Материалы межрегион. науч.-практ. конф. и «круглых столов». Томск: ЦНТИ, 2009. С. 180–187.
6. *Гринев О.М.* Геологическая изученность и проблемы освоения железных руд Бакчарского месторождения // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: Материалы межрегион. науч.-практ. конф. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. С. 72–81.
7. *Николаева И.В.* Бакчарское месторождение оолитовых железных руд АН СССР. Новосибирск, 1967. 129 с.
8. *Западно-Сибирский железорудный бассейн.* Новосибирск: РИО СО РАН СССР, 1964. 447 с.
9. *Гринёв О.М., Григорьева Е.А., Булаева Е.А., Тюменцева Е.П.* Геолого-геохимические особенности основных типов руд Бакчарского железорудного месторождения // Нефть. Газ. Геология. Экология: современное состояние, проблемы, новейшие разработки, перспективные исследования: Материалы круглых столов. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. С. 129–149.
10. *Иванов К.В., Чернышев Г.А., Смоленцев Ю.К.* Геологическое строение и полезные ископаемые листа 0-45-XXXI (Окончательный отчет Киреевской геолого-съёмочной партии за 1958–1959 гг.). Томск: Томская комплексная экспедиция, 1959 (фондовая).
11. *Сидоров А.Ф.* Поздняковское месторождение болотных железных руд (отчет о работах Поздняковской геолого-разведочной партии за 1942 г.). Томск, 1943 (фондовая).
12. *Артемова Е.Л.* Отчет о поисках месторождений железных болотных руд в Шегарском, Кожевниковском и Томском районах Томской области. Томск, 1962 (Томская комплексная экспедиция) (фондовая).
13. *Хахлов В.А., Рагозин Л.Л.* Объяснительная записка к Государственной геологической карте листа О-45 масштаба 1:1000 000. М.; Л.: Госгеолтехиздат, 1949 (фондовая).
14. *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. 2-е изд. Серия Кузбасская. Лист О-45-XXXI (Томск).* Объяснительная записка (Г.М. Татьяна, А.Д. Котельников, С.В. Максиков, Ю.Н. Никонов). СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 141 с.
15. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 228 с.
16. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. М.: АН СССР, 1960. Т. 1; 1962. Т. 2, 3.
17. *Голубовская Е.В.* Фациальные и геохимические особенности железорудного комплекса Керченских месторождений // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 3. С. 259–273.
18. *Холодов В.И., Бутузова Г.Ю.* Проблемы сидеритообразования и железорудные эпохи. Сообщение 2: Общие вопросы фанерозойского и докембрийского железорудного процесса // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 6. С. 563–583.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 23 июля 2010 г.