

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

**ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СУЛЬФИДЫ КАК ИНДИКАТОРЫ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ДИАГЕНЕЗА
МОРСКИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

М.А. Рудмин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Грейгит Fe_3S_4 и моноклинный пирротин Fe_7S_8 – это магнитные сульфиды железа, которые могут образовываться *in situ* в морской среде. Их наличие в осадочных отложениях служит информацией об определенных диагенетических условиях [2, 9]. Их образование интерпретируется (а) интенсивной мобилизацией метана через морские отложения [4, 7] или (б) катастрофическими палеоокеаническими событиями (тайфунами), в результате чего возможен быстрый перенос сульфидов из континентов в морской бассейн [3]. Поскольку массовые выбросы метана и углекислого газа сегодня рассматриваются как основные механизмы глобальных климатических перестроек [6], особенно важно выявить следы их деятельности в древних осадках. В данной работе изучается формирование ферромагнитных сульфидов в разрезе Бакчарского месторождения ооидовых железняков [10]. Как рассматривается как наиболее известное и экстремальное климатическое событие за последние 56 млн лет особое внимание отводится интервалу разреза, соответствующему палеоцен-эоценовому термическому максимуму (ПЭТМ) [5, 12].

Объектом для исследований послужило Бакчарское месторождение железа ($52^{\circ}01'45''N$; $82^{\circ}07'20''E$) в юго-восточной части Западной Сибири. Разрез месторождения изменяется от 50 до 90 м на глубинах 150...250 м и представляет собой осадочную последовательность прибрежно-морских фаций мел-палеогенового возраста (от турона до эоцена), которая характеризуется повышенным содержанием Fe_2O_3 (общ) от 15 до 65 % [1, 11]. Железо на месторождении сконцентрировано в виде (гидро-)оксидов (гетит, лепидокрокит, ферригидрит, магнетит), филлосиликатов (шамозит, бертьерин, глауконит, иллит), карбонатов (сидерит), реже сульфидов (пирит, пирротин, грейгит) и в единичных случаях фосфатов (вивианит). Минеральные скопления в форме ооидов и пелоидов в отдельных частях разреза образуют мощные рудные тела, называемые железорудными горизонтами (бакчарский, колпашевский, нарымский). Исходя из широкого спектра железистой минерализации, разрез Бакчарского месторождения является уникальным объектом для изучения процессов железистого минералообразования в морской низкотемпературной среде. В работе отражаются результаты минералогических (сканирующая электронная микроскопия, рентгенодифракционный анализ), терморбарогеохимических (микротермометрия, Раман-спектрометрия), геофизических (каппаметрия), геохимических (рентгенофлуоресцентный анализ, ИСП-МС, масс-спектрометрия, Rock-eval пиролиз) исследований пород (образцы из керна скважин), содержащих пирротин и грейгит.

Палеоценовые отложения Бакчарского месторождения начинаются с желтовато-серых песчаников, которые вверх по разрезу сменяются оолитовыми железняками. Мощность палеоценовых оолитовых железняков изменяется от 2.5 до 22 м. Толща палеоценовых оолитовых железняков обычно имеет двухчленное строение. Залегающие внизу сыпучие железняки (мощность 0.2...11.4 м) постепенно переходят в крепкие железняки с сидеритовым цементом (мощность 0.2...7.7 м). Далее вверх по разрезу оолитовые железняки через линзы железистых гравелитов (мощностью от 0.1 до 1.1 м) сменяются параллельно слоистыми эоценовыми гидрослюдистыми глинами средней мощностью 12.5 м [10].

Ферромагнитные сульфиды в изучаемых палеоцен-эоценовых отложениях находятся в ассоциации с сидеритом и пиритом в осадочном цементе. Данные рентгенодифракционного анализа (РДА) показывают переменные количества моноклинного пирротина как правило менее 2 %. Моноклинный пирротит выделяется по 5 основными отражениями. В частности, двойной пик при угле 2θ около 44° является диагностическим отражением для моноклинного пирротина.

Грейгит и пирротин в разрезе месторождения образуются в следующих толщах: палеоценовые ооидовые железняки и гравелиты с сидеритовым цементом жулиновской свиты (бакчарский горизонт), сантон-кампанские алевролиты ганькинской свиты и коньякские железняки ипатовской свиты (нарымский горизонт). Грейгит имеет неправильные и субизометричные агрегаты (рис. б), в некоторых случаях в ассоциации с пиритом [10]. Пирротин формируется как правило в виде железосульфидных «нодулей» (рис. а). Нодули (примерно до 1 мм) имеют различную форму, остроконечную внешнюю поверхность и состоят из хаотично ориентированных вытянутых, пластинчатых кристаллов. Пирротин иногда прорастает в обломочных минералах и сидеритовых конкрециях. С ферромагнитными сульфидными железом всегда находится в ассоциации сидерит. Сидерит в палеоцен-эоценовых отложениях является основным минералом цемента, в сантон-кампанских и коньякских отложениях он образуется в ассоциации с иллитом и шамозитом, соответственно, в виде микрокристаллов цемента [10]. На границе сантона и кампана пирротин образуется в ассоциации с такими аутигенными минералами как сидерит, пирит и галенит (рис. в), а в коньякских железняках к этой ассоциации добавляется и арсенопирит в виде единичных кристаллов. Описанные минеральные ассоциации можно интерпретировать как результат активных микробиологических процессов в

условиях поступления металлов (Pb, As). Подобная геологическая обстановка наблюдается в районах действующих метановых сипов или низкотемпературных гидротермальных эксгаляций 8].

Даже невысокие концентрации пирротина и грейгита в общем составе пород (менее 2 %) обеспечивают высокую намагниченность (магнитная восприимчивость – МВ) отложений. МВ на границе палеоцена и эоцена изменяется от 84.6 до 658.4 10^{-5} ед. СИ при среднем 365.7 10^{-5} ед. СИ. Аномальный магнитный сигнал пород, можно использовать для поиска следов процессов, приводящих к накоплению ферромагнитных сульфидов, на других осадочных разрезах. ПЭТМ в изучаемой толще представляет собой осадочную последовательность мощностью до 4.5 м в интервале глубин от 162.5 до 168.0 м и определяется по отрицательному отклонению δC^{13}_{org} (изотопный состав органического углерода). Значения δC^{13}_{org} изменяется от -27.6 до -26.6 ‰ в интервале ПЭТМ, при значении ТОС (содержание общего органического углерода) до 0.83 %. Отклонение δC^{13}_{org} в изучаемом разрезе сопоставимо с зафиксированными отклонениями δC^{13}_{org} в других морских разрезах ПЭТМ.

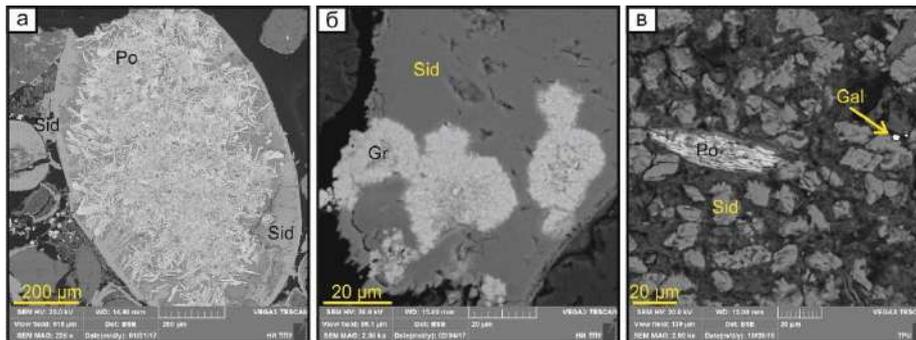


Рис. СЭМ-снимки пирротина (а, в) и грейгита (б) в породах Бакчарского месторождения

Цемент, среди которого образуются ферромагнитные сульфиды, представляет важную генетическую информацию. В сидеритовом цементе интервала ПЭТМ были найдены и изучены газожидкие флюидные включения. Температура гомогенизации флюидных включений находится в диапазоне 165...290 °С и характеризуется бимодальным распределением с пиками в интервале 165...171 °С и 190...290 °С. По данным Раман-спектроскопии эти включения состоят из воды и метана с подчиненным количеством этана. Характерные пики жидкой фазы расположены в диапазоне 2800...2950 cm^{-1} . Острый пик при 2912 cm^{-1} отвечает молекулам метана.

На основе литологического, минералогического, геохимического анализа и данных магнитной восприимчивости палеоцен-эоценового разреза Бакчарского месторождения было установлено, что ферромагнитные сульфиды железа в ассоциации с сидеритовым цементом связано с сопряженными процессами анаэробного окисления метана и сульфат-редукции в донных осадках Бакчарского месторождения (Западная Сибирь). Этот вывод подтверждается наличием метановых флюидных включений в сидеритовом цементе и геохимической характеристикой осадочной последовательности. Миграция метана, может быть связана с диссоциацией древних гидратов, как это наблюдается в современных обстановках [7]. Этот геологический процесс мог быть одним из механизмов массовых выбросов углерода в атмосферу и, как следствие, причиной глобального потепления на рубеже палеоцена и эоцена. Наличие ассоциации пирротина, грейгита и сидерита как результат специфического диагенеза в условиях миграции флюидов, может служить важным минералого-геохимическим индикатором для поиска подобных процессов и обстановок в древних осадочных последовательностях. Редкая минеральная ассоциация (ферромагнитные сульфиды и сидерит) на фоне биогеохимической специфики восстановительных условий и связанная с ними аномалия магнитной восприимчивости пород могут использоваться как инструменты для обнаружения обстановок разгрузки древних метановых гидратов в осадочных породах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-35-00302.

Литература

1. Белоус Н.Х. и др. Западно-Сибирский железорудный бассейн. Новосибирск: СО РАН СССР, 1964. – 448 с.
2. Berner R.A. Sedimentary pyrite formation: An update // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. – Т. 48. – № 4. – С. 605-615.
3. Horg C.-S., Roberts A.P. Authigenic or detrital origin of pyrrhotite in sediments?: Resolving a paleomagnetic conundrum // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. – Т. 241. – № 3. С. 750-762.
4. Jørgensen B.B. и др. Anaerobic methane oxidation and a deep H₂S sink generate isotopically heavy sulfides in Black Sea sediments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2004. – Т. 68. – № 9. – С. 2095-2118.
5. Kennett J.P., Stott L.D. Abrupt deep-sea warming, paleoceanographic changes and benthic extinctions at the end of the Paleocene // *Nature*. – 1991. – Т. 353. – С. 225-229.
6. Kvenvolden K.A. Gas hydrates - geological perspective and global change // *Reviews of Geophysics*. – 1993. – Т. 31. – С. 173-187.
7. Larrasoaña J.C. и др. Diagenetic formation of greigite and pyrrhotite in gas hydrate marine sedimentary systems // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2007. – Т. 261. – № 3. – С. 350-366.
8. Lemaître N. и др. Trace element behaviour at cold seeps and the potential export of dissolved iron to the ocean // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2014. – Т. 404. – С. 376-388.
9. Roberts A.P. Magnetic mineral diagenesis // *Earth-Science Reviews*. – 2015. – Т. 151. – С. 1-47.

**СЕКЦИЯ 3. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ.
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИИ.**

10. Rudmin M. и др. Ferrimagnetic Iron Sulfide Formation and Methane Venting Across the Paleocene-Eocene Thermal Maximum in Shallow Marine Sediments, Ancient West Siberian Sea // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. – 2018. – Т. 19. – С. 1-22.
11. 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*. – 2019. – Т. 100. – С. 309-325.
12. Zachos J.C., Dickens G.R., Zeebe R.E. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics // *Nature*. – 2008. – Т. 451. – № 7176. – С. 279-283.

**ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ
СЫРДАРЬИНСКОЙ ПРОВИНЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЕ ЗАРЕЧНОЕ, ЗАРЕЧНОЕ И ХОРАСАН)**

Ж.Р. Абдулаева

Научный руководитель Я.К. Аршамов

**Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан**

Сырдарьинская провинция занимает ведущее место в Казахстане по добыче урана и является основным ее крупнейшим регионом. В докладе описываются месторождения Хорасан, Заречное и Южное Заречное.

Товарищество с ограниченной ответственностью «СП «Хорасан-У» создано 05 августа 2014 г. Основными видами деятельности Товарищества являются добыча урана методом ПСВ подземного скважинного выщелачивания с получением конечного продукта с дальнейшей переработкой и его реализация. Добыча ураносодержащих руд ведется на участке «Хорасан-1» месторождения «Северный Хорасан» в Жанакорганском районе Кызылординской области, переработка – на производственных объектах рудника, расположенного вблизи участка [3].

Месторождения Заречное и Южное Заречное, как и все ураново-рудные объекты Сырдарьинской провинции, относятся к пластово-инфильтрационному промышленному генетическому типу, технология отработки которых способом подземного скважинного выщелачивания в настоящее время освоена и широко применяется промышленностью [2].

Урановое оруденение на месторождении генетически связано и пространственно контролируется границей выклинивания региональной зоны пластового окисления в проницаемых песчаных отложениях верхнего уровня (три подуровня) сантона и нижнего уровня кампана. В стратиграфическом отношении в купольной части Карактауского поднятия на месторождении Южное Заречное в интервале от 1100 м до 1162 м структурной скважиной вскрыты озерные, существенно глинистые отложения триас-юрского возраста [2].

Мел-палеогеновый платформенный комплекс начинается с отложений нижнего мела (K_1nc-al), сложенного пестроцветными алевролитами с прослоями песчанистых глин, мергелей и известняков мощностью около 560 м. Рудовмещающими на месторождении являются лишь отложения верхнего мела – сантонского и кампанского ярусов.

Породы кровли нижнего сантона представлены песчаными и алевроитовыми аллювиальными осадками розовой, малиновой, кирпично-красной окраски. Отложения верхнего сантона характеризуются резкой фациальной изменчивостью. Здесь отмечаются красноцветные, пестроцветные и первично-сероцветные осадки зон междуровневых водоразделов, пойменных и русловых фаций [2].

Осадки кампана представлены надводно- и подводно-дельтовыми фациями. В разрезе пород кампана, средней мощностью 60 м, выделяются два ритма, достаточно уверенно коррелирующиеся по площади. Мощность каждого ритма варьирует от 26 м до 32 м. Палеогеновые отложения повсеместно развиты на площади рудного района и эродированы в сводовой части поднятия Карактау.

В тектоническом отношении Карактаусский ураново-рудный район расположен в юго-восточной части Прикарактаусского артезианского бассейна в южной части Сырдарьинской депрессии. Восточный борт депрессии осложнен Байркумским прогибом и горст-антиклиналью Карактау [2].

Месторождение Южное Заречное локализовано в отложениях верхнего мела, выходящих на дневную поверхность в сводовой части и в обрамлении поднятия Карактау и в структурном плане представляющих собой пологую моноклираль, погружающуюся в северо-западном направлении с углами падения 2...5 градусов. В этом же направлении возрастает и глубина вскрытия рудовмещающих отложений с 250 метров на восточном фланге до 600 и более метров – на западном. Характер нарушений сбросовый, амплитуды вертикальных перемещений – десятки метров. Наиболее отчетливо нарушения проявлены в пределах поднятия Карактау и его ближайшего обрамления [2].

Оценка прогнозных ресурсов урана категории P1 на месторождении Южное Заречное по 4 уровням произведена методом линейной продуктивности, с применением понижающего коэффициента.

Общая протяженность границы выклинивания зоны пластового окисления (ЗПО) нижнего подуровня верхнего сантона – 38,3 км, выявлено 6 рудных тел протяженностью от 150 м до 3 км, шириной от 15 м до 300 м. В пределах центральной части протяженность ЗПО – 21,3 км, установлена разведочными скважинами по сети 200...400×50...100.

Общая протяженность границы выклинивания ЗПО среднего подуровня верхнего сантона – 47,6 км, выявлено 10 рудных тел протяженностью от 150 м до 1,7 км, шириной от 15 м до 180 м. В пределах центральной части – 26,7 км, установлена разведочными скважинами по сети 200...400×50...100.

Общая протяженность границы выклинивания ЗПО верхнего подуровня верхнего сантона – 45,6 км, выявлено 12 рудных тел протяженностью от 50 м до 1,8 км, шириной от 15 м до 50 м. В пределах центральной части – 26,2 км, установлена разведочными скважинами по сети 200...400×50...100 м. Верхний подуровень