

**КАРБОНАТНЫЕ И ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МОРСКИХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ КАК СВИДЕТЕЛЬСТВА РУДООБРАЗУЮЩЕГО ПРОЦЕССА**

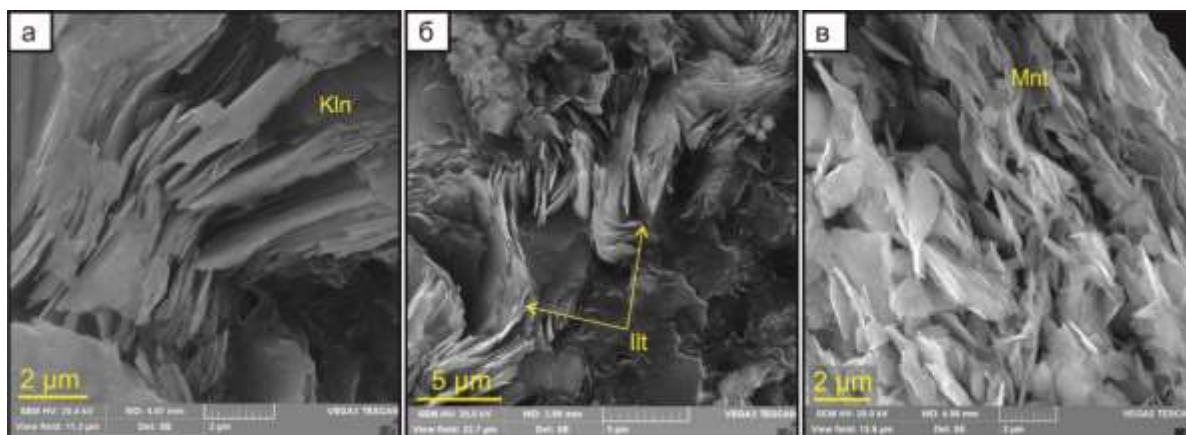
**Рудмин М.А.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ) образуется в породах как докембрийского так и современного возрастов и используется как индикатор осадочных палеобстановок [1, 2]. В свою очередь он выступает один из основных карбонатных минералов фанерозойских ооидовых железняков (ФОЖ [3]) и кайнозойских отложений с фиксируемыми процессами низкотемпературной флюидной мобилизации [4]. Сидерит в большинстве месторождений ФОЖ является цементом рудоносных пород в ассоциации с глинистым матриксом. Глинистые минералы также выступают важными составляющими компонентами подобных руд и могут быть представлены различными минеральными фазами. Наиболее исследованными из филлосиликатов в железняках является глауконит как минерал-индикатор прибрежно-морского диагенеза [5]. Однако условия накопления филлосиликатов группы смектита и иллита среди ФОЖ практически не освещены в научной общественности. При этом проблема генезиса ФОЖ уже более столетия служит предметом для разнотипных теорий между «нептуническими» и «плутоническими» гипотезами. Механизмы концентрирования и трансформации сидерита и глинистых минералов при накоплении месторождений ФОЖ является слабо изученной фундаментальной проблемой. В настоящей работе рассматриваются концептуальные вопросы эволюции карбонатов и филлосиликатов ФОЖ на примере крупнейшего мел-палеогенового Бакчарского месторождения [6–8]. Аналитические работы в рамках преследуемой цели включали следующие методы: классическая оптическая микроскопия, анализ шлифов в проходящем свете (петрографический анализ), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с локальным энергодисперсионным анализом (ЭДС), рентгенодифракционный анализ (РДА), микрокриотермометрический анализ, Рамановская спектроскопия, просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) и изотопная масс-спектрометрия. В результате комплексных и рутинных минералого-геохимических исследований отдельных минеральных фаз были получены следующие основные результаты.

Сидерит в ооидовых железняках месторождения имеет две основные вариации, которые отличаются морфологией, химическим и изотопным составом, флюидными включениями в следствии различных источников углерода и условий концентрирования. Аутигенные минеральные ассоциации цемента ооидовых железняков в маломощном интервале (от 2 до 6 метров) маркируют смену геохимических зон от метановой через сульфидную (сульфат-метановая транзитная зона) до железистой (зона редукции железа). Наличие слоёв с контрастной вертикальной зональностью *in situ* минералов является проксимальной зоной в вертикальном разрезе, которая указывает на периоды интенсивного притока металллодержущих флюидов.

Глинистые минералы матрикса железняков представлены иллитом, иллит-смектитом, смектитами (монтмориллонитом, монтмориллонитом, сапонитом, бейделлитом), хлоритами (шамозит, бертьерин), каолинитом. Максимальные содержания глинистых минералов характерны для перекрывающих рудные тела глинистых пород люлинворской свиты и для алевролитовых пород славгородской и ипатовской свит. В валовом составе пород доля каолинита достигает 14.9 %, смектитов – 12.0 %, хлоритов – 11.0 %, иллита – 8.9 %. Для детального исследования соотношения минералов была проанализировано отдельно глинистая фракция железняков и вмещающих пород. Глинистая фракция в породах железорудной толщи имеет следующие вариации минералов: 19.8...88.2 % каолинит, 0.1...52.4 % иллит-смектит, 7.8...29.8 % иллит, 0.4...5.7 % хлориты, 0.1...14.3 % смектиты. Каолинит образует редкие доменноподобные микроструктуры, с ультра-микро агрегатами длиной до 7...9 мкм (рис. 1а). Иллит и иллит-смектит часто распространены среди матрикса железняков и образуют матричную микроструктуру с субпараллельно ориентированными чешуйчатыми ультрамикрoагрегатами размером от 1.1...2.1 мкм в длину (рис. 1б). Смектиты характеризуются ламинарными микроструктурами матрикса железняков в виде параллельно ориентированных чешуйчатых ультрамикрoагрегатов размером 2.4...3 мкм в длину (рис. 1в).



**Рис. Снимки сканирующей электронной микроскопии каолинита (а), иллит-смектита (б) и смектита (в) в матриксе железняков. Ит – иллит-смектит, Кп – каолинит, Мнт – монтмориллонит (смектиты)**

Распределение филлосиликатов в разрезе рудной толщи имеет неравномерный характер. Однако состав глинистой фракции в различных частях месторождения на одном стратиграфическом уровне имеет закономерный характер относительно областей карбонат-насыщенных железняков. В скважине с восточного участка месторождения в интервале глубин от 239.2 м до 232.3 м содержание минералов в глинистой фракции изменяется следующим образом: каолинит от 50.3 % до 57.5%, иллит от 29.8 % до 23.6 %, иллит-сметита от 10.9 % до 6.9 %, смектиты от 3.6 % до 8.2 %, хлорит от 5.5 % до 3.8 %. А в интервале глубин от 196.2 м до 192.3 м глинистые минералы изменяются в следующей тенденции: каолинит от 80.7 % до 57.1 %, иллит от 18.2 % до 14.0 %, иллит-сметит от 0 % до 22.0 %, смектиты от 0 % до 4.8 %, хлорит от 1.1 % до 2.1 %. В итоге изменение содержания каолинита в глинистой фракции имеет обратную корреляцию с содержанием иллит-сметита и смектита. При увеличении доли каолинита уменьшается доля иллит-сметита и смектитов.

Закономерные изменения минерального и химического состава филлосиликатного матрикса согласуются со сменой пространственных зон относительно притока карбонатного и рудного вещества. Увеличение доли каолинита в валовом составе глинистой фракции и увеличение доли железа в октаэдрических позициях минералов группы смектита являются основными признаками матрикса железняков в проксимальной зоне. Для оперативного определения проксимальной, промежуточной и дистальной зоны относительно рудообразующего процесса предлагается использовать индекс соотношения доли филлосиликатов 1М типа (каолинит) к основным разбухающим филлосиликатам 2М в глинистой фракции (К/М минеральный индекс).

Прибрежно-морская фациальная обстановка способствовала накоплению монтмориллонитового и иллитового матрикса осадка, который трансформировался в нонtronитовый и сапонитовый при активизации sipовых процессов с диффузией флюидный растворов через морские отложения. Проксимальная зона этого рудообразующего процесса характеризуется нонtronит-каолинит-хлоритовой ассоциацией филлосиликатного матрикса с сидеритом первой разновидности, промежуточная зона – монтмориллонит-иллит-сапонит-нонtronитовой с сидеритом второй разновидности, дистальная – иллит-монтмориллонитовой (иллит-сметитовой) с редкими включениями сидерита второй разновидности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 21-17-00019).*

#### Литература

1. Kaufman A.J., Hayes J.M., Klein C. Primary and diagenetic controls of isotopic compositions of iron-formation carbonates // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Pergamon, 1990. – Vol. 54. – № 12. – P. 3461–3473.
2. Köhler I. et al. Biological carbon precursor to diagenetic siderite with spherical structures in iron formations // *Nature Communications*. – 2013. – Vol. 4. – P. 1–7
3. Mücke A. Chamosite, siderite and the environmental conditions of their formation in chamosite-type Phanerozoic ooidal ironstones // *Ore Geology Reviews*. – 2006. – Vol. 28. – № 2. – P. 235–249.
4. Smrzka D. et al. Oil seepage and carbonate formation: A case study from the southern Gulf of Mexico // *Sedimentology* / ed. Tosca N. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 2019. – P. sed.12593.
5. 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. – Vol. 355. – P. 20–30.
6. Белоус Н.Х. et al. Западно-Сибирский железорудный бассейн. Новосибирск: СО РАН СССР. – 1964. – 448 с.
7. 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*. Elsevier, 2019. – Vol. 100. – P. 309–325.
8. Рудмин М.А., Мазуров А.К. Оолитовые руды Бакчарского железорудного узла (Томская область) // *Доклады Академии наук*. 2016. – Vol. 471. – № 5. – С. 575–578.

## ТЕЛЛУР И СЕЛЕН В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ: ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА, ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ И СВЯЗЬ С ОРУДЕНЕНИЕМ

Якич Т.Ю.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

С широким внедрением тонких минералогических и геохимических методов исследования вещества отдельные микроэлементы, в частности теллур и селен и их минеральные фазы, находившиеся долгое время за «бортом» интереса ученых, неожиданно попали в фокус внимания мирового научного сообщества, в частности, ввиду появления новых возможностей изучения этих элементов и их тесной генетической связи с элементами групп благородных металлов, а также рядом их химических свойств, отвечающих за контроль физико-химических условий в процессе рудообразования. Как правило, теллур и селен встречаются в различных минералах-хозяевах в виде микроэлементов. Особый интерес в этом смысле представляют сульфиды, сопровождающие элементы благородных металлов в одноименных месторождениях [13, 17, 19–20, 23, 26, 28]. В отдельных случаях теллур и селен могут объединяться с образованием ряда различных селенидов и теллуридов. При высокой концентрации на всем или в ограниченных частях месторождения теллуриды золота и серебра сами по себе могут составлять значительную долю общих золотоносных рудных минералов [16]. Известно около сотни таких объектов, из наиболее известных и детально описанных месторождений следует упомянуть следующие: Крипл Крик и м. Голден в США [33], Император на Фиджи [29], Дунпин в Китае [15], Акупан и Баджио на Филиппинах [16], Сакаримб в Румынии [14], Ельшица (Среднегорье, Болгария), Прасоловское (Курильские острова), Кочбулак (Узбекистан), Озерновское (Камчатка) [24, 30], Эми (Хабаровский край) [37], Малетойваям (Камчатка) [35]. В частности, в этих богатых рудах теллуриды и самородное золото связаны друг с другом. В то время как минералогия, содержащая следы теллуридов / селенидов, широко распространена во многих типах месторождений, месторождения, в которых Au (Ag)-теллуриды являются частью