

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ООИДОВ В ААЛЕНСКИХ ЖЕЛЕЗНЯКАХ  
ЛАБИНО-МАЛКИНСКОЙ ЗОНЫ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)**

**Калинина Н.А.**

Научный руководитель доцент Рудмин М.А.

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

Ооиды – это минеральные сферические образования размером не более 2 мм в диаметре, обладающие концентрически-зональным строением [10]. Пизоиды – зёрна схожие структурно с ооидами, но отличающиеся размерами выше 2 мм [10]. Ооиды являются характерными аутигенными элементами различных железистых и карбонатных пород. Вопросы их формирования до сих пор остаются спорными. Существует множество моделей, описывающих механизмы формирования ооидов различного состава [2, 3, 5, 6, 8]. Большая часть моделей опирается на абиогенные процессы минералообразования [3, 5, 6, 7], и лишь незначительная часть учитывает возможное участие микробных процессов [8].

Целью данной работы является детальное исследование минералогии и химизма ооидов ааленского разреза Лабино-Малкинской зоны (Кавказ) для реконструкции процессов их образования и эволюции. Изучаемое обнажение расположено на левом берегу р. Хусса-Кардоникская. Разрез сложен осадочными породами раннего аалена, джигитатской свиты. Осадочные породы представлены железняками, известняками, фосфоритами и песчаниками, которые содержат совсем составе разнообразные ооиды. По минеральному составу в породах ааленского разреза выделены три основных типа ооидов: железистые, карбонатные и смешанного состава.

Железистые ооиды представлены гетит-хлоритовыми (тип 1) или хлоритовыми (тип 2) разновидностями. Гетит встречается либо в виде отдельных зёрен в ядре, либо совместно с хлоритом слагает мелкокристаллическую центральную часть ооида. Хлоритовые ооиды являются наиболее распространёнными и представлены смешанослойной фазой глинистых минералов (смектит-хлорит) с преобладанием хлорита.

Концентрические карбонатные ооиды (тип 3) сложены преимущественно кальцитом и встречаются только в известняках. Реже в составе ооидов участвует сидерит или железистый кальцит. Кальцитовые ооиды часто замещаются оксидами марганца (коронадитом и голландитом).

Среди ооидов смешанного состава выделяется несколько групп: глинисто-карбонатные, железисто-фосфатные и железисто-баритовые. Наиболее распространёнными являются глинисто-карбонатные ооиды, сложенные хлоритом и кальцитом. При этом хлорит может выполнять как ядро (тип 4), так и концентры ооидов (тип 5). Реже встречаются ооиды с последовательным чередованием концентров кальцитового и хлоритового состава (тип 6). Среди ооидов глинисто-карбонатного состава встречаются единичные экземпляры с хлорит-смектитовым ядром и радиальным кальцитовым кортексом (тип 7).

Железисто-фосфатные ооиды (тип 8) сложены хлоритами и апатитом. Апатит может встречаться в виде вкраплений зерен или отдельных концентров. Формированию подобных ооидов способствует заполнение апатитом порового пространства хлоритовых ооидов [9]. Наличие порового пространства связано с чешуйчатой структурой кристаллов хлоритов.

Железисто-баритовые ооиды (тип 9) представляют собой ооиды с баритовыми концентриками. Барит не образует концентры, а замещает уже сформированные. Возможно, баритовые концентры образуются аналогично концентрам апатита. Барий-несущие растворы проходят через поровое пространство хлорита, замещая его. На это указывает наличие эллипсоидальных форм барита с реликтами хлорита и гетита.

Предлагается три основных сценария роста ооидов, которые неоднократно сменяли друг друга. Ооиды и пизоиды осаждались на границе вода-осадок и в зависимости от положения хемоклина и поступления вещества формировались различные минералы. Первый сценарий (рис. А) предполагает формирование ооидов выше хемоклина, т.е. в кислородных условиях. Данная обстановка является благоприятной для формирования и осаждения оксидов железа. При погружении на глубину в область восстановительных условий гетитовый ооид/прото-ооид начинает обрастать или замещаться хлоритами. Поступающие металлоносные растворы, проникая в пористое пространство хлоритового кортекса, способствуют отложению барита на границе кислородной и субкислородной сред [4].

Второй сценарий (рис., Б) предполагает господство субкислородной среды в придонном слое. Эта обстановка характеризуется двумя основными стадиями минералообразования. Первая стадия – карбонатообразование за счёт разложения органического вещества. На данной стадии происходит минерализация органического детрита кальцитом и формирование кальцитовых ооидов и пизоидов. При этом формированию концентрического кортекса способствует высокоэнергетические условия прибрежно-морских зон, а радиальных – умеренные или низкоэнергетические зоны с высокой или переменной солёностью [1]. Поступление Mn-содержащих растворов способствует переработке карбонатных ооидов с последующим замещением кальция оксидами марганца. При дефиците CO<sub>2</sub> начинается вторая стадия – новообразование хлоритов [10]. Хлориты образуют ооиды и кортекс вокруг терригенных обломков или кальцитовых прото-ооидов, включая преобразование абсорбированных смектитовых чешуек. На последнее указывает наличие смектита в смешанослойных фазах смектит-хлорит в кортексе ооидов. При поступлении фосфат-ионов начинается фосфатообразование в хлоритовых ооидах, которые способствуют их стабилизации [9]. На поздних этапах диагенеза в условиях субкислородной среды происходит заполнение остаточной пористости хлоритовых ооидов с формированием ооидов бго типа [9].

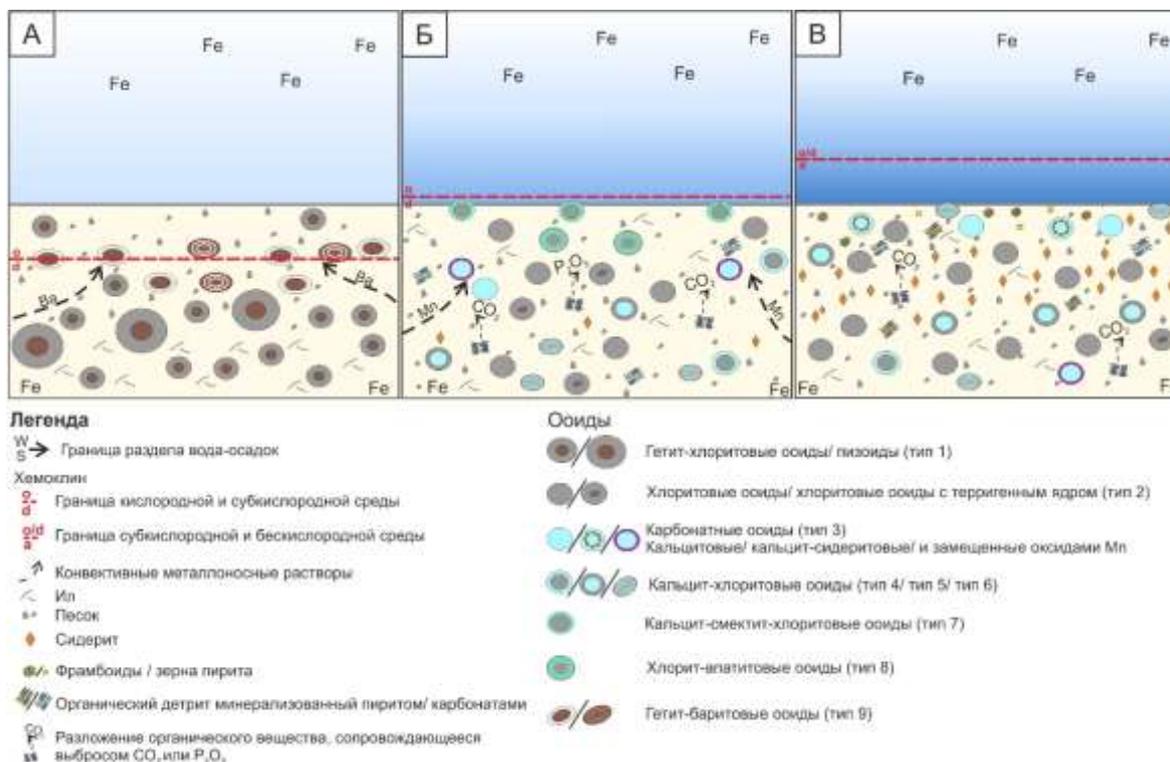
Третий сценарий (рис., В) предполагает окислительную среду за счёт положения хемоклина выше границы вода осадок, что обеспечивало гипоксию придонного слоя. На данном этапе начинается формирование кальцит-сидеритовых ооидов и сидеритового цемента железняков, а также фрамбоидов пирита.

Таким образом формирование ооидов происходило в различных постоянно сменяющихся обстановках. Основными источниками металлов, участвующих в составе ооидов, вероятно служили как коллоиды и растворенные

## СЕКЦИЯ 2. РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ

вещества седиментационного привноса, так и конвертирующие растворы метеорной или глубинной природы. Последнее подтверждается наличием относительно повышенного количества аутигенного барита, в том числе входящего в состав ооидов, а также вторичные изменения карбонатных минералов, сопровождающиеся формированием оксидов марганца. Источниками карбонат- и фосфат-ионов выступал разлагающийся органический материал. А формированию различных разновидностей, хлорит-содержащих ооидов способствовало наличие порового пространства, вероятно включая благоприятную слоистую микросистему глинистых агрегированных частиц [9].

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



**Рис. Модель формирования ооидов**

### Литература

1. Ali F. et al. Ooid fabric in the Jurassic of the Indus Basin, Pakistan: control on the original mineralogy //Current Science. – 2020. – Т. 119. – №. 5. – С. 831.
2. Diaz M. R., Eberli G. P. Decoding the mechanism of formation in marine ooids: A review //Earth-Science Reviews. – 2019. – Т. 190. – С. 536-556.
3. James Jr H. E., Van Houten F. B. Miocene goethitic and chamositic oolites, northeastern Colombia //Sedimentology. – 1979. – Т. 26. – №. 1. – С. 125-133.
4. Jewell P.W. Geochemistry and paleogeographic setting of Central Nevada bedded barites / P.W. Jewell, R.F. Stallard // The Journal of Geology. – 1991. – V. 99. – P. 151-170.
5. Kimberley M.M. Origin of Oolitic Iron Formations / M.M. Kimberley // SEPM Journal of Sedimentary Research. – 1979. – V. 49. – P. 111-131.
6. Knox R. W. O. B. Chamosite oolites from the Winter Gill Ironstone (Jurassic) of Yorkshire, England //Journal of Sedimentary Research. – 1970. – Т. 40. – №. 4. – С. 1216-1225.
7. Rudmin M. et al. Origin of ooids, peloids and micro-oncoids of marine ironstone deposits in Western Siberia (Russia) //Journal of Asian Earth Sciences. – 2022. – Т. 237. – С. 105361.
8. Salama W. Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt / W. Salama, M.M. El Aref, R. Gaupp // Gondwana Research. – 2012. – V. 22. – P. 717-736.
9. Sturesson U. Chemical composition of Lower Ordovician ooids from northern Öland, Sweden, and their sedimentary host matrix/ U. Sturesson // Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar. – 1988. – V. 1(110). – P. 29-38.
10. Young T. P. Phanerozoic ironstones: an introduction and review. Geological Society, London, Special Publications. – 1989. – Т. 46. – № 1. – pp. 9-25.