

ЧАСТЬ 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ ПАЛЕООКЕАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В.В. Масленников

*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и
геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс
maslennikov@mineralogy.ru*

О возможной роли сипового биогальмиролиза в формировании субмаринных месторождений

Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых (МПИ) образует вполне логично построенный эндогенно-экзогенный ряд [Смирнов, 1976]. Однако, казалось бы, устоявшаяся классификация МПИ осложняется дискуссионными и даже взаимоисключающими гипотезами. Многие гипотезы кардинальным образом меняют генетическую классификацию, разрушая ее основы. Вместе с тем, именно генетические классификации и сопутствующие им новые гипотезы, которые, на первый взгляд, выглядят несуразными, определяют развитие науки. Гипотеза – это научное предположение или допущение, истинное значение которого еще требует доказательств. Выдвижением и обоснованием гипотез выстраивается система, позволяющая авторам хотя бы попытаться решить поставленные генетические проблемы. В данной работе мы попытались взглянуть на существующую генетическую классификацию МПИ с позиции глобального процесса взаимодействия гидросферы и литосферы. Одним из вариантов такого взаимодействия является гальмиролиз.

Гальмиролиз, или «подводное выветривание» – это совокупность процессов механического, химического и биохимического преобразования осадков на поверхности дна при взаимодействии их с морской водой («гали» – море, «мирос» – мазь, «лизис» – распад) [Hümmel, 1922]. Обычно считается, что гальмиролиз протекает во взвеси и на поверхности осадка. Однако многие исследователи вполне правомерно полагают, что гальмиролиз протекает и ниже поверхности осадка в зоне влияния морских вод [Fairbride, 1983]. Следует заметить, что гальмиролиз – это процесс самого раннего диагенеза осадков, которые могут быть переотложены после его проявления, поэтому некоторые исследователи исключают гальмиролиз из процессов диагенеза.

Исходно считалось, что гальмиролиз находит свое отражение при очень низких скоростях осадконакопления, поскольку сами химические реакции имеют низкую скорость протекания. Впоследствии стало ясно, что процессы гальмиролиза значительно ускоряются, например, на гидротермальных полях, осадки которых содержат не только карбонаты и гиалокласты, но и органическое вещество и сульфиды, обладающие высокой реактивностью, особенно в осадочных смесях химически различных компонентов [Масленников, 1999]. Нам представляется, что интенсивность гальмиролиза должна возрастать и в зонах газовых просачиваний (зонах сипинга, или сипах) за счет взаимодействия газов с осадками, с одной стороны, и за счет участия более обильных, чем обычно, микроорганизмов.

Сиповый биогальмиролиз – новый термин, который предполагает участие в процессах гальмиролиза осадков микроорганизмов, процветающих в зонах газового просачивания (сипах). Важным фактором появления этого процесса является состав восстановленных газов (H_2 , CH_4 , H_2S), которые локализуются, в основном, в вулканогенных и рифтогенных структурах морей и океанов. Сипы обеспечивают жизнедеятельность бактерий, основанную на

хемосинтезе органических соединений, за счет поступления энергии при окислении газов [Москалев, 2002]. При исчезновении газовых струй или при их колебаниях лиохемотробы переключаются на потребление энергии окисления FeII силикатов, карбонатов и сульфидов, возникших на начальной стадии сипинга.

Признаки гальмиролиза угадываются при изучении металлоносных отложений, образующих ареалы вокруг сульфидных залежей колчеданных месторождений в условиях известного пригидротермального диффузного просачивания газов (H_2S , CH_4 , H_2). Среди гематитсодержащих гальмиролититов выделены госсаниты, джаспериты, умбриты и яшмы, содержащие многочисленные реликты и продукты преобразования гиалокластов нитчатými бактериями [Масленников, 1991, 1999; Maslennikov et al., 2012]. Нередко карбонаты, присутствующие в этих породах, показывают обогащение легким изотопом углерода по сравнению с углеродом известняков [Масленников, 1999]. Модели гальмиролиза гиалокластитов и формирования гематит-кварцевых джасперитов включают смектитизацию вулканического стекла, появление FeII смектитов на первоначальной стадии, последующее окисление FeII до FeIII, вынос AlIII и других элементов-гидролизатов (Ti, Sc, U, P, PЗЭ) при последовательном формировании ферринотронитов, гизингеритов, и, наконец, ферригидритов с опалом или гематита с кварцем [Maslennikov et al., 2012]. Все это невозможно без участия не только морской воды, но и исходных восстановленных газов и/или органических веществ и, наконец, бактерий, активизирующих гальмиролиз. Предполагается, что гальмиролиз на конечной стадии проходит в окислительных и щелочных условиях, что обеспечивает железнакопление, нередко сопряженное с накоплением Mn (умбриты). При формировании хлорит-гематитовых госсанитов окисление пирита, напротив, обеспечивает кислые восстановительные условия гальмиролиза, препятствующие выносу элементов-гидролизатов.

Яшмы также несут признаки гальмиролиза тонкого гиалокластического материала. Гальмиролитическая модель их формирования согласуется с прежней гипотезой Л.С. Либровича [1936], который, в отличие от многочисленных сторонников гидротермально-осадочной модели, считал яшмы продуктами подводного преобразования пирокластических пеплов. Для южноуральских яшм Л.С. Либрович [1936] принимал гипотезу гальмиролиза. Он считал, что в основной своей массе яшмы возникли, по-видимому, в результате воздействия морской воды на подводные выбросы пепла и остывающие лавовые потоки. Следует заметить, что, также как и при формировании джасперитов, госсанитов и умбритов, яшмы испытали две стадии гальмиролиза – восстановительную и окислительную. Признаки двустадийного гальмиролиза особенно хорошо сохраняются в региональных яшмах, содержащих реликтовые пятна фтанитов. Еще одним признаком бактериальной деятельности могли бы считаться колломорфные и оолитовые структуры яшм, напоминающие бактериальные обрастания (Давлетовское и Курминское месторождения). Следует заметить, что при метаморфизме красные гематитсодержащие гальмиролититы превращаются в черные спекулярит- и магнетитсодержащие породы.

Джасперит-марганцевые и марганец-яшмовые месторождения вулканогенной ассоциации, так же как и околорудные джаспериты и умбриты колчеданных месторождений, могут быть продуктами сипового биогальмиролиза гиалокластитов. На это указывают многочисленные реликты гиалокластов, биоморфные и бактериоморфные структуры в джасперитах и такие косвенные признаки, как изотопный состав углерода. Карбонаты джасперитов марганцевых месторождений характеризуются еще более легким изотопным составом углерода, чем их аналоги в колчеданосных горизонтах [Кулешов, Брусницын, 2005]. К сожалению, в джасперитах марганцевых месторождений Урала и других аналогичных регионов гидротермальные трубы курильщиков пока не обнаружены. Скорее всего, биогальмиролиз был вызван диффузными просачиваниями восстановленных газов, таких как CH_4 и H_2 , в поствулканический период (бугулугырский горизонт на Южном Урале). Современные

железомарганцевые конкреции – другой продукт биогальмиролиза. Однако о сипах на участках их развития ничего не известно.

Многочисленные варианты моделей формирования целой группы слоистых железорудных месторождений без учета гальмиролиза выглядят проблематичными. Железорудные месторождения несут черты как гидротермально-метасоматического, так и осадочного происхождения. Большинство этих месторождений ассоциирует с субмаринными карбонатно-вулканогенными комплексами и поэтому, особенно в последнее время, считаются гидротермально-осадочными. К этим месторождениям, прежде всего, относятся месторождения-гиганты железистых кварцитов, формировавшиеся в докембрийских внутриконтинентальных рифтах синхронно с базальтовым вулканизмом и накоплением гиалокластитовых тефротурбидитов. В мире распространены как их метаморфизованные кварц-магнетитовые (КМА, Кривой рог), так и неметаморфизованные кварц-гематитовые аналоги (КМА в РФ, Винсдор в Австралии). Железорудные слои чаще всего чередуются с яшмами и преобразованными гиалокластитами. Несмотря на метаморфизм, в рудах угадываются реликты бактерий [Koehler et al., 2010]. В неметаморфизованных кварц-гематитовых рудах провинции Винсдор распространены многочисленные оолиты, напоминающие бактериальные обрастания обломков пород.

Не менее привлекательной выглядит адаптация модели сипового биогальмиролиза применительно к стратиформным железорудным месторождениям, локализующимся в карбонатно-андезитобазальтовых комплексах коллизионных рифтов. Такие магнетитовые месторождения, относимые к скарновым, нередко не содержат скарнов. Находки реликтов гиалокластов и тонкодисперсного гематита в магнетитовых слоях таких руд могут быть признаком гальмиролиза гиалокластитов и железнакопления [Aurova et al., 2020]. Оруденелые бактерии в таких рудах пока не обнаружены. Однако само по себе соседство с микритовыми известняками, которые, судя по карбонатным литофациям, являлись глубоководными бактериальными банками и/или продуктами их переотложения турбидными потоками, наводит на мысль о формировании их на участках сипинга газов (H_2), как это наблюдается, например, в долине рифта Рейкьянес (Срединно-Атлантический хребет).

Особенно интересно «примерить» модель сипового биогальмиролиза к «осадочным» месторождениям, сложенным неметаморфизованными оолитовыми железными рудами. Это месторождения восточной окраины Западно-Сибирского моря (Бакчарская группа), Керченского полуострова, Лотарингии и др. В ядрах некоторых оолитов угадываются глауконит, хлорит, реликты обломков пород, полевого шпата и кварца. Глауконит – индикатор гальмиролиза вулканокластического материала [Hümmel, 1922]. Хлорит также может быть продуктом гальмиролиза гиалокластического материала [Масленников, 1999]. Однако о вулканической деятельности в этот период (верхний мел–палеоген) в публикациях не упоминается. Не исключено, что гальмиролиз воздействовал на железосодержащие терригенные отложения, часть из которых могла быть продуктом размыва вулканических областей (например, трапповых). Оболочка оолитов вполне может соответствовать бактериальным обрастаниям, поскольку в рудах присутствует органическое вещество, и руды обогащены такими органофильными элементами, как Р (до 6.71 %) и V (до 0.56 %). Интересно, что формирование таких железных руд, например, Западно-Сибирского бассейна, связывают с гидротермальной деятельностью [Асочакова, Бухарова, 2013]. Хотя признаки гидротермальных построек не обнаружены, их место могли занимать газовые сипы. В руде среди железистого карбоната (сидерита) обнаружены включения пузырьков метана. Подобное «заточение» пузырьков возможно, если через осадок проходили вверх диффундирующие потоки метана, вырывающиеся из недр. С этими же просачиваниями связывают появление грейгита и пирротина [Рудмин и др., 2017]. Все эти признаки не противоречат возможной роли сипового биогальмиролиза обломочных отложений в железнакоплении.

Еще более смелой могла бы быть гальмиролитическая модель формирования бокситов, сопряженных с субмаринными карбонатными и андезибазальтовыми отложениями. Бокситы могут быть следствием гальмиролиза гиалокластитов и соответствующего железнакопления. Процесс формирования гальмиролитических железных руд сопровождается выносом элементов гидролизатов (Al, Ti, PЗЭ), которые характерны для бокситов. Именно этим процессом может быть объяснена нередкая ассоциация железорудных и бокситовых месторождений. В оолитах бокситового состава присутствуют гиалокласты. Тонкослоистое строение оболочки оолитов напоминает бактериальные обрастания. В бокситах обнаружены многочисленные микроорганизмы (фрагменты нитчатых и коккоидных бактерий, трихомов цианобактерий, гифов микрогрибов) и продукты их жизнедеятельности (гликокаликс и биопленки). Микроорганизмы выполняли деструктивную функцию, выраженную в разрушении минералов материнских пород, а также выступали в роли накопителя бокситового вещества (например, [Овчинникова, 2019]).

Существующие в настоящее время модели формирования фосфоритов противоречивы, и поэтому вызывают одновременное противостояние нескольких гипотез. Нами при изучении минералогии и геохимии рудоконтролирующих вулканогенно-осадочных горизонтов Ново-Сибайского месторождения в кровле слоя гиалокластитовых тефродурбидитов обнаружены алевропелиты, обогащенные фторапатитом (P_2O_5 до 10 %) и PЗЭ [Масленников, 1991]. Частично растворенные гиалокласты в тефротурбидитах содержали хлоритовые колломорфные бактериальные обрастания. В рудной залежи нами обнаружены пиритовые биогермы, содержащие кроме двусторчатых моллюсков аналоги вестиментифер и альвиннелид – современных организмов, жизнедеятельность которых обеспечивается бактериальным хемосинтезом. Мы предполагаем, что пригидротермальный биогаальмиролиз гиалокластитов сопровождался накоплением фосфора и PЗЭ в условиях высокой активности бактерий, потребляющих не только H_2S , но и FeII для получения энергии хемосинтеза. Эта же гипотеза могла быть интегрирована в учение о полезных ископаемых применительно к фосфоритам вместо противоречивых моделей апвеллинга и модели «планктонного дождя». Подвергнутые гальмиролизу обломки пород, содержащие магматический апатит, могли бы служить источником фосфора, необходимого для бактериальных матов, формирующихся на сипах. Бактерии, потребляющие фосфор, делали бы гальмиролиз более эффективным. Бактериальные маты могли бы быть источником фосфоритов. Таким образом, сиповый биогаальмиролиз принципиально мог бы быть процессом формирования месторождений фосфоритов.

Казалось бы, аномальной выглядит минералого-геохимическая модель сипового гальмиролиза и формирования пиритоносных нефтяных сланцев – источников нефти [Ivanov et al., 2020]. Однако и эта модель содержит аргументы в свою пользу. Модель предложена для верхнеюрской баженовской свиты, сформировавшейся в субокислительных условиях Западно-Сибирского моря. С ней также связаны главные перспективы сланцевой нефти в нашей стране. По высоким содержаниям металлов пирит является индикатором высокометаллоносных битуминозных отложений, которые в других регионах обычно ассоциируют с газовыми и нефтяными месторождениями. Предполагается, что формирование баженовской свиты происходило при участии сипов и бактериального хемосинтеза в зонах сероводородно-метанового просачивания. Смешение бактериальных и терригенных отложений обеспечивало появление сипового биогаальмиролиза, который приводил к выносу Fe и Ba из терригенных осадков на начальной стадии и отложению барита и пирита. Часть бактериальных матов и микробиоты в условиях диагенеза замещалась ламинарным и фрамбоидальным пиритом, а также эвгдральным пиритом и даже пирротином, как это наблюдается на Бакчарском месторождении.

В целом, предложенная гипотеза влияния сипового гальмиролиза на формирование железорудных, марганцеворудных, бокситовых, фосфоритовых и нефтяных месторождений

могла бы быть дополнена и другими полезными ископаемыми. Среди них, например, нефтеносные титановые руды Ярегского месторождения, цеолититы, аномальные участки накопления РЗЭ на дне современных океанов, накопление исходного золота и редких металлов в органогенных илах, после метаморфизма которых формируются золоторудные, серебряные, редкоземельные, ванадиевые, вольфрамовые и урановые месторождения. Однако осмысление моделей формирования этих месторождений с позиции гипотезы сипового биогальмиролиза еще впереди.

Исследования выполнялись в рамках государственной бюджетной темы ЮУ ФНЦ МуГ УрО РАН (№ АААА-А19-119061790049-3).

Литература

Асочакова Е.М., Бухарова О.В. Микровключения в оолитовых железных рудах Бакчарского месторождения (Западная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 369. С. 168–172.

Кулешов В.Н., Брусницын А.И. Изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) и происхождение карбонатов из марганцевых месторождений Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 4. С. 416–429.

Либрович Л.С. Геологическое строение Кизило-Уртазымского района на Южном Урале. Л.-М.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. 208 с.

Масленников В.В. Литологический контроль медноколчеданных руд (на примере Сибайского и Октябрьского месторождений Урала). Свердловск: УрО РАН СССР, 1991. 139 с.

Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

Москалев Л.И. Открытие и исследование гидротерм и холодных высачиваний сероводорода и метана на дне Мирового океана // Биология гидротермальных систем Мирового океана. М.: КМК, 2002. С. 25–58.

Овчинникова М.Ю. Ископаемые микроорганизмы и следы их жизнедеятельности в бокситах КМА // Вестник ВГУ. Серия геология. 2019. № 2. С. 141–145.

Рудмин М.А., Мазуров А.К., Рубан А.С., Усольцев Д.Г. Условия формирования пирротина и грейгита в породах Бакчарского месторождения, Западная Сибирь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 4. С. 94–107.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1976. 688 с.

Aupova N.R., Novoselov K.A., Maslennikov V.V., Melekestseva I.Yu., Artemyev D.A., Hollis S.P., Tessalina S.G. The formation of magnetite ores of the Glubochenskoe deposit, Turgai iron belt, Russia: new structural, mineralogical, geochemical, and isotopic constraints // Mineralium Deposita, 2020. Vol. 56. P. 103–123.

Fairbridge R.W. Syndiagenesis-anadiagenesis-epidiagenesis: phase of lithogenesis. In: Diagenesis in sediments and sedimentary rocks, Larsen G., Chilingar G.V., Eds., Elsevier, Amsterdam, London, New York, 1983. Part 2. P. 17–114

Hummel K. Die Entstehung eisenreicher Gestein durch Halmyrolyse (=submarine Gesteinszersetzung) // Geologische Rundschau, 1922. № 13. S. 40–81, 97–136

Ivanov K.S., Maslennikov V.V., Artemyev D.A., Tseluiko A.S. Highly metalliferous potential of framboidal and nodular pyrite varieties from the oil-bearing Jurassic Bazhenov Formation, Western Siberia // Minerals. 2020. 10. #449.

Koehler I., Konhauser K., Kappler A. Role of microorganisms in banded iron, geomicrobiology // Molecular and Environmental Perspective, Chapter 14. Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 309–321.

Maslennikov V.V., Aupova N.R., Herrington R.J., Danyushevskiy L.V., Large R.R. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // Ore Geology Reviews. 2012. Vol. 47. P. 5–41.