

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИРИТА В БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЕ И В ЗОНАХ ЕЕ ПЕРЕХОДА ВО ВМЕЩАЮЩИЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНАХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

Вика Георгиевна Эдер

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии, тел. (383)323-33-03, e-mail: edervg@ipgg.sbras.ru

Альвина Григорьевна Замирайлова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии, тел. (383)323-33-03, e-mail: zamirailovaag@ipgg.sbras.ru

Пирит является одним из основных породообразующих компонентов черносланцевой баженовской свиты верхней юры – нижнего мела. Устанавливается относительно высокая корреляционная зависимость пирита и органического вещества для большинства изучаемых пород, в то же время существуют отклонения от этой зависимости. В зоне перехода от баженовской свиты к подачимовской пачке и георгиевской свите фиксируются прослои с повышенным содержанием пирита и относительно низким – органического углерода. Генезис пирита в этих прослоях связывается с диагенетической миграцией сульфидсодержащих растворов и осаждением железа на геохимических барьерах.

Ключевые слова: пирит, черные сланцы, верхняя юра, баженовская свита, диагенетическая миграция, редокс границы.

REGULARITIES OF THE PYRITE DISTRIBUTION IN THE BAZHENOV FORMATION AND TRANSITIONAL ZONES TO ENCLOSED DEPOSITS IN THE CENTRAL REGIONS OF THE WEST-SIBERIAN SEDIMENTARY BASIN

Vika G. Eder

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Akademik Koptuyug Prospect, Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Sedimentology, tel. (383)323-33-03, e-mail: edervg@ipgg.sbras.ru

Alvina G. Zamirailova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Akademik Koptuyug Prospect, Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Sedimentology, tel. (383)323-33-03, e-mail: zamirailovaag@ipgg.sbras.ru

Pyrite is one of the main rock-forming components of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous black shale Bazhenov Formation. Relatively high correlation between pyrite and total organic carbon is revealed, but there are some deviations from this model. In a transitional zone from the Bazhenov Fm. to Podachimov pack and to underlying Georgiev Fm. interlayers with high pyrite and low total carbon contents are found. Genesis of pyrite in such layers are connected with diagenetic migration of sulfide bearing solutions and their deposition on geochemical barriers.

Key words: pyrite, black shales, Upper Jurassic, Bazhenov Formation, diagenetic migration, red-ox boundaries.

Баженовская черносланцевая свита является основным «нетрадиционным» источником углеводов в России. Пирит рассматривается в качестве одного из основных породообразующих компонентов баженовской свиты, содержание которого по разрезу изменяется от 5–25 %. Как было показано ранее Р. А. Бернером [11], концентрации пирита в морских осадках хорошо коррелируются с органическим веществом, так как образование этого минерала контролируется количеством и реактивностью органического вещества. По мнению большинства исследователей [3, 4 и др.], во время формирования баженовской свиты преобладало сероводородное заражение, что совместно с накоплением существенного количества органического вещества способствовало образованию значительных концентраций рассматриваемого минерала. Пирит в баженовской свите присутствует преимущественно в виде фрамбоидов, реже встречается в микрокристаллическом виде, в ряде случаев замещает реликты радиолярий или линзочки керогена. Образование фрамбоидального пирита считается обусловленным деятельностью сульфатредуцирующих бактерий [2, 8, 13 и др.]. Ранее горизонты с повышенным содержанием пирита (пиритовые) в составе верхней части баженовской свиты были описаны М. Ю. Зубковым [5, 6], И.В. Панченко с соавторами [9] и другими учеными. Согласно последним из вышеупомянутых авторов, граница с подачимовскими глинами, перекрывающими баженовскую, достаточно постепенная, но подчеркнута в керне мало-мощной (первые сантиметры) зоной пиритизации. М. Ю. Зубков [6] отметил, что в одной из скважин на Салымском месторождении был зафиксирован пласт толщиной до 1 м, сложенный на 40–60 % пиритом, на 25–30 % – карбонатами (кальцит, доломит, сидерит). Как можно видеть, существование повышенных концентраций пирита в зоне перехода от баженовской к перекрывающим отложениям ранее было отмечено, но генезис этих образований не был обсужден. То же касается и пиритизации пород, наблюдаемой в кровле георгиевской свиты, литология которой в литературе освещена существенно меньше.

Согласно Ю. О. Гаврилову [1], резкие границы между отложениями разного состава часто являются так называемыми геохимическими барьерами, на которых в диагенезе происходит концентрация карбонатных, кремниевых, сульфидных и других компонентов. Явления сульфидной миграции вещества были ранее также описаны Н. М. Страховым [10] и другими исследователями. Ю. О. Гаврилов [1] отмечал проявление рассматриваемых процессов в нижнепалеозойских отложениях Китая, в эоценовых толщах юга России и др. Обычно свидетельств миграции сульфидов следует ожидать на границах осадков, формировавшихся в различных окислительно-восстановительных условиях [1]. Существенные концентрации пирита могут наблюдаться в осадках с низким содержанием органического углерода (C_{org}), в которых на стадии диагенеза происходило осаждение этого минерала химическим путем из мигрировавших растворов. Таким образом, в зонах перехода от баженовской свиты к перекрывающим и подстилающим отложениям на интервалах, где происходила резкая смена геохимической обстановки, могут быть обнаружены свидетельства подобных явлений сульфидной миграции. В этом случае коррелятивная зависимость

между пиритом и органическим углеродом, описанная Р. А. Бернером [11], будет отсутствовать.

Настоящая работа направлена на установление закономерностей распределения пирита в баженовской свите, выявление литологических свидетельств диагенетической миграции сульфидов. Полученные результаты будут способствовать уточнению истории формирования в диагенезе баженовской свиты и отложений зон ее перехода во вмещающие отложения, а также могут быть использованы при интерпретации данных ГИС и магнитостратиграфии. В качестве объекта исследования выбрано 16 разрезов баженовской свиты центральной части Западно-Сибирского осадочного бассейна (ЗСБ), расположенных в пределах Мансийской синеклизы, Хантейской гемиантеклизы и Южно-Надымской мегамоноклизы. Большинство изученных скважин характеризуются 100 % выходом керна, что позволяет существенно детализировать исследования. В методику работ входило детальное литологическое описание керна, шлифов пород на микроскопе Olympus BX-59, а также химические анализы пород: определение содержания основных породообразующих компонентов методом РФА, анализ форм железа и серы методом мокрой химии, определение содержания органического углерода весовым полумикрометодом с помощью экспресс-анализатора (АН-7529) на углерод. Для каждого разреза с целью уточнения закономерностей вертикального распространения пирита и органического углерода, а также изменения окислительно-восстановительного режима в диагенезе были построены кривые распределения рассматриваемых компонентов, а также степени пиритизации железа ($СП = \text{Fe пиритное} / (\text{Fe пиритное} + \text{Fe растворимое в HCl})$) [12]. Проанализированы корреляционные зависимости между пиритом и $C_{\text{орг}}$ (при помощи программы Excel).

В волжском веке позднеюрская трансгрессия в Сибири достигла своего максимума [7]. На рассматриваемой территории нижняя и верхняя границы баженовской свиты с вмещающими отложениями по литологическому составу главным образом постепенные. Верхняя граница свиты в Северо-Сургутском районе достаточно четко фиксируется по резкой смене цвета пород, обусловленной существенным понижением содержания органического углерода. Темно-бурые массивные микститы глинистые баженовской свиты сменяются на светло-серые тонкослоистые породы подачимовской пачки близкого состава. В случае с зоной перехода георгиевской свиты в баженовскую граница фиксируется по появлению онколитов и глауконита в георгиевской свите. При более детальном изучении шлифов пород и геохимии изучаемых отложений устанавливается преобладание в баженовской свите аутигенного кремнезема и повышенное содержание органического углерода (4–6 %). В георгиевской свите кварц главным образом терригенный, содержание $C_{\text{орг}}$ заметно понижено (0,5–2 %). Анализ значений степени пиритизации железа показал, что породы георгиевской свиты в диагенезе формировались в условиях от окислительных до переходных ($СП = 0,3–0,5$), а породы баженовской свиты – в восстановительных ($СП = 0,7–0,95$). Подобная резкая смена геохимических условий наблюдается и у верхней границы свиты. Построение кривых распределения содержаний

пирита и органического углерода по разрезам баженовской свиты и зонам перехода во вмещающие отложения показало, что в зоне перехода от свиты к подачимовским глинам, а также в кровле георгиевской свиты наблюдаются породы с высоким содержанием пирита и низким – органического углерода. У верхней и нижней границ свиты резко падает в породах содержание $C_{орг}$: от 9–15 % до 1–4 %. При этом содержание пирита, напротив, повышается (10–25 %). Как было упомянуто выше, согласно [1], существование подобных горизонтов встречается на границе двух разных по литологическим и геохимическим характеристикам толщ на границах смены окислительно-восстановительного режима осадка в диагенезе. В случае с баженовской свитой различия с вмещающими отложениями в литологическом составе не всегда очевидны, но при более детальном изучении обнаруживаются свидетельства существенных изменений в условиях формирования. Таким образом, при проведении анализа степени зависимости между пиритом и органическим углеродом в баженовской свите целесообразно включать «приграничные» образцы, так как в них в силу рассмотренного выше генезиса заведомо корреляция между этими двумя величинами будет отсутствовать.

При анализе корреляционной зависимости пирита и органического углерода в изученных разрезах баженовской свиты устанавливаются низкие значения коэффициента детерминации ($R^2 = 0,1–0,3$), при этом в большинстве скважин основная масса образцов выделяется в группу, явно подчиняющуюся линейной зависимости. Также наблюдается небольшая группа отскоков от этой зависимости. Определено, что образцы, относящиеся к последней из вышеупомянутых групп, это породы зон перехода (георгиевской свиты в баженовскую и баженовской свиты в отложения подачимовской пачки) с относительно низкими содержаниями $C_{орг}$ и повышенными – пирита. При последующей попытке построения корреляционной модели, не включающей рассмотренные выше «приграничные» образцы, значение коэффициента корреляции увеличивается до 0,5–0,8, т. е. зависимость между рассматриваемыми параметрами становится относительно высокой. Таким образом, в целом в центральной части ЗСБ в большинстве разрезов баженовской свиты устанавливается относительно значимая корреляционная связь между $C_{орг}$ и пиритом, что свидетельствует о нахождении этих компонентов на месте их образования. В зонах перехода эта зависимость не наблюдается вследствие отсутствия генетической связи между двумя рассматриваемыми компонентами. Как было упомянуто выше, на этих горизонтах происходило осаждение пирита химическим путем вследствие диагенетической миграции сульфидсодержащих растворов.

Выводы

1. Корреляционная зависимость между органическим углеродом и пиритом в баженовской свите изученных разрезов центральной части ЗСБ относительно высока ($R^2 = 0,5–0,8$). Существенного диа- и катагенетического перераспределения этих компонентов по разрезу свиты не наблюдается.

2. В кровле георгиевской свиты и подошве подачимовской пачки, вблизи границы с баженовской свитой присутствуют прослои с высоким содержанием пирита (10–25 %) и низким – керогена (1–4 %). В них отсутствует корреляционная зависимость между пиритом и $S_{орг}$. Образование таких прослоев связывается с диагенетической миграцией сульфидсодержащих растворов и осаждением их на границе изменения высоковосстановительных на окислительные условия в осадке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилов Ю. О. Диагенетическая миграция сульфидов в отложениях различных обстановок седиментации // Литология и полезные ископаемые. – 2010. – № 2. – С. 133–150.
2. Герасименко Л. М., Заварзин Г. А. Реликтовые цианобактериальные сообщества // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. – М. : Наука, 1993. – С. 222–253.
3. Гурари Ф. Г., Матвиенко Н. И. Палеогеография баженовской свиты по распространению в ней урана // Тр. СНИИГГиМС. – Новосибирск, 1980. – № 275. – С. 81–91.
4. Захаров В. А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразия. – М., 2006. – С. 552–568.
5. Зубков М. Ю. Состав, строение и условия образования пород баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) // Литология и полезные ископаемые. – 2001. – № 1. – С. 37–48.
6. Зубков М. Ю. Региональный и локальный прогнозы нефтеносности баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Горные ведомости. – 2016. – № 3–4. – С. 46–68.
7. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрский период / А. Э. Конторович, В. А. Конторович, С. В. Рыжкова и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 972–1012.
8. Савельева О. Л., Савельев Д. П., Чубаров В. М. Фрамбоиды пирита в углеродистых породах смагинской ассоциации п-ова Камчатский Мыс // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2013. – № 2 (22). – С. 144–151.
9. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС / И. В. Панченко, В. Д. Немова, М. Е. Смирнова и др. // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 22–34.
10. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. II. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 574 с.
11. Berner R. A. Sedimentary pyrite formation: an update // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1983. – Vol. 48. – P. 605–615.
12. Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation / R. Raiswell, F. Buckley, R. A. Berner, T. F. Anderson // *J. Sediment. Petrol.* – 1988. – Vol. 58. – P. 812–819.
13. Suits N. S., Wilkin R. T. Pyrite formation in the water column and sediments of a meromictic lake // *Geology*. – 1998. – Vol. 26, № 12. – P. 1099–1102.

© В. Г. Эдер, А. Г. Замирайлова, 2017