

ПИРИТИЗАЦИЯ ПОРОД ЗОН ПЕРЕХОДА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ВО ВМЕЩАЮЩИЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ВЕРХНЕЮРСКО-НИЖНЕМЕЛОВОМ ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ БАССЕЙНЕ

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)323-85-57, 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)323-85-57, e-mail: zamirailovaag@ipgg.sbras.ru

В породах баженовской свиты и зонах ее перехода во вмещающие отложения проведен комплекс литолого-геохимических исследований, включая анализ состава пород, распределения значений отношения C/S и ряда редокс показателей (степень пиритизации, аутигенный уран, отношение марганца к алюминию). Определено, что: 1. у границ с баженовской свитой во вмещающих отложениях присутствуют низкоуглеродистые породы с относительно высокими содержаниями пирита; 2. в самой баженовской свите вблизи ее кровли во многих случаях залегают породы с примерно равными высокими содержаниями пирита и керогена. Установлено, что пиритизация пород в этих интервалах происходила без участия бактериальной деятельности, посредством термохимического осаждения железа из растворов на редокс геохимических барьерах.

Ключевые слова: баженовская свита, пирит, верхняя юра, редокс.

SIGNATURES OF PYRITIZATION OF TRANZITION ZONES FORM THE BAZHENOV FORMATION TO ENCLOSED DEPOSITS IN THE UPPER JURASSIC-LOWER CRETACEOUS WESTERN SIBERIAN BASIN

Vika G. Eder

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Sedimentology, phone: (383)333-85-57, e-mail: edervg@ipgg.sbras.ru

Alvina G. Zamirailova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Sedimentology, phone: (383)333-85-57, e-mail: zamirailovaag@ipgg.sbras.ru

In the transitional zones from the Bazhenov Formation and to the enclosing deposits the complex of litological-geochemical researches, including the analysis of sections structure, distributions of C/S ratio and redox indicators (degree pyritization, authigenous uranium, Mn/Al) were made. It is defined that rocks on the borders with the Bazhenov Formation at the enclosing deposits are low carbonaceous with rather high content of pyrite; in the Bazhenov Formation

near its roof in many cases rocks are characterized by approximately equal high contents of pyrite and kerogen. It is established that the pyritization of rocks on these intervals resulted by thermochemical sedimentation of iron from solutions on redox geochemical barriers without participation of bacterial activity.

Key words: Bazhenov Formation, pyrite, Upper Jurassic, redox.

Пирит рассматривается в качестве одного из основных породообразующих компонентов верхнеюрско-нижнемеловой баженовской свиты (БС) Западной Сибири. Существование повышенных концентраций пирита в зоне перехода от баженовской к перекрывающим отложениям ранее было отмечено [1,2] в разрезах центральной части Западно-Сибирского осадочного бассейна (ЗСБ), но генезис этих образований не анализировался. Объектом настоящего исследования является верхнеюрско-нижнемеловая баженовская свита Западной Сибири, которая формировалась в одном из крупнейших черносланцевых палеобассейнов мира.

Целью исследования являлось установление свидетельств отложения пирита на геохимических барьерах в черных сланцах и зонах их перехода во вмещающие отложения посредством литолого-геохимического анализа пород. Полученные результаты будут способствовать уточнению постседиментационной истории развития одной из крупнейших черносланцевых толщ мира, внесут вклад в понимание процессов аутигенного минералообразования, в частности пирита, позволят решать задачи корреляции и стратификации отложений.

В работе исследованы 25 разрезов БС, охарактеризованные керном, из Центрального, Северного, Юго-восточного, Юго-западного и Южного районов ЗСБ. Центральный район разделен на три подрайона: Салымский, Юганский и Северо-Сургутский.

Структурно-минералогические особенности пород изучались с помощью поляризационного микроскопа Olympus VX60. Химический анализ пород с определением основных породообразующих окислов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , BaO) выполнялся методом РФА на спектрометре ARL-9900-XP. Определение содержания в породах серы сульфидной, сульфатной и форм железа осуществлялось методами "мокрой химии". Определение содержания керогена (органического углерода) выполнялось весовым полумикрометодом с помощью экспресс-анализатора (АН-7529) на углерод. По результатам анализов был проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике О.М. Розена с соавторами [3] в приложении MINLITH. По результатам пересчета химических анализов на минеральный, породы были названы согласно принятой классификации [4]. Для уточнения окислительно-восстановительных условий формирования осадка и установления вторичной пиритизации пород использовался модуль отношения органического углерода и серы сульфидной (C/S) [5-7 и др.]. В осадках, образовавшихся в нормально-морских условиях, значение C/S составляет около 3 и соотношения значений содержаний этих компонентов подчиняется линейной зависимо-

сти [5]. J.S. Leventhal [7] определил, что породы с отношением C/S равным 1, претерпели вторичную сульфидизацию. Таким образом, по данным этого автора, отношение C/S может быть использовано для установления вторичных процессов, происходящих в породе в диа- и катагенезе. Для всех изучаемых разрезов БС построены диаграммы коррелятивной зависимости C/S, проанализированы значения коэффициента корреляции и отклонения от зависимостей, а также распределение по разрезу кремнезема и глинистого материала, кальцита, доломита, пирита, органического углерода, показателя C/S и степени пиритизации железа ($СП = Fe_{\text{пир}} / (Fe_{\text{пир}} + Fe_{\text{раствор в HCl}})$), отношения марганца к алюминию (Mn/Al), урана аутигенного ($U_{\text{аут}} = U_{\text{общ}} - Th/3$).

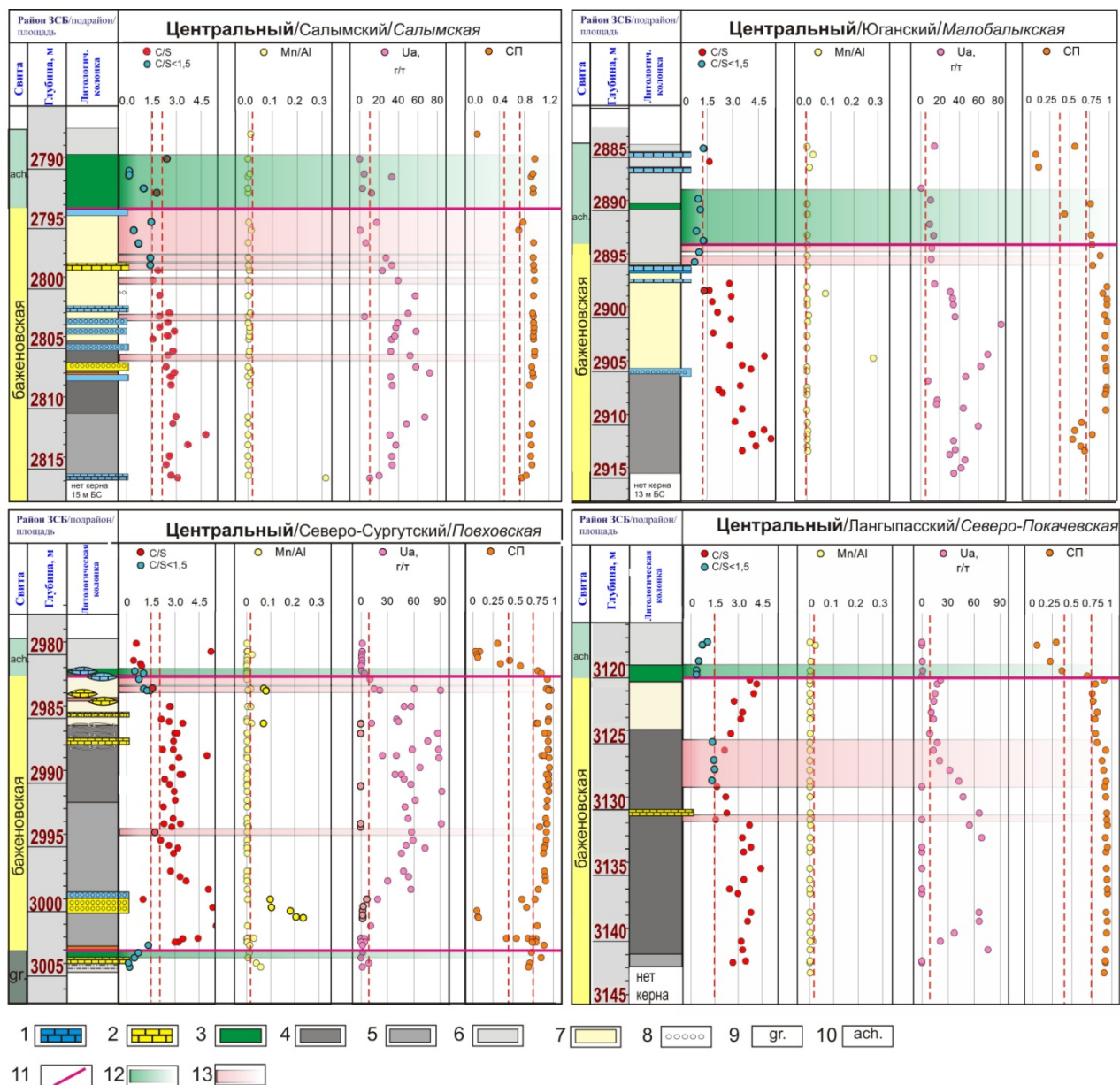
Результаты и их обсуждение

При анализе корреляционной зависимости серы сульфидной и органического углерода в большинстве изученных разрезов баженовской свиты устанавливаются низкие значения коэффициента детерминации ($R^2 = 0.2-0.5$, редко 0.6), при этом в большинстве скважин основная масса образцов выделяется в группу, явно подчиняющуюся линейной зависимости. При исключении из выборки группы образцов, не входящих в линейную зависимость, значения коэффициентов детерминации увеличиваются до 0,7-0,9. То есть зависимость между рассматриваемыми компонентами значима положительная в большинстве пород БС.

Определено, что образцы, в которых отсутствует корреляция между C и S, это: 1) породы БС с высокими и примерно равными содержаниями пирита и керогена (более 10-20 % каждого), расположенные в разрезе, как правило, вблизи ее кровли; 2) породы зон перехода (БС во вмещающие подстилающие отложения георгиевской свиты и перекрывающие - подачимовской толщи) с относительно низкими содержаниями керогена (0-5 %) и повышенными – пирита (более 7, часто более 10-15 %). Далее в тексте слои, представленные вышеописанными породами, будут называться “пирит-керогеновыми” и “пиритовыми” соответственно. По данным изучения в сканирующем электронном микроскопе, пирит в БС присутствует, главным образом, в виде фрамбоидов. В пиритовых и пирит-керогеновых породах – в скрыто- и микрокристаллическом виде.

Для пород БС в целом, значения отношения C/S изменяются в диапазоне 1.5-6 (рисунок). Определено, что “пиритовые” низкоуглеродистые породы расположены непосредственно у кровли и подошвы БС (в подошвенной части подачимовской толщи и кровле георгиевской или абалакской свит). В единичных случаях прослой этого типа встречаются в самой БС. Отношение C/S в “пиритовых” породах изменяется от 0.2 до 1, редко достигают 1.5.

В керне “пиритовые” низкоуглеродистые породы подачимовской толщи практически не отличаются от пород БС, в некоторых случаях на этой границе цвет пород меняется с темно-серого с коричневым оттенком на темно-серый за счет уменьшения содержания органического вещества в породах.



Литологические колонки и диаграммы распределений по разрезу значений редокс показателей (СП, Ua, Mn/Al) в породах баженовской свиты и зон ее перехода во вмещающие отложения Центрального района ЗСБ:

- 1–11 – литологическая колонка: 1 – доломитовые и доломитистые породы, 2 – известняки и известковые породы, 3 – “пиритовые” низкоуглеродистые породы, 4 – микститы кероген-глинисто-кремнистые, 5 – силициты, 6 – микститы глинистые и аргиллиты, 7 – микститы кероген-кремнисто-карбонатные с реликтами кокколит, 8 – апорадиоляриты, 9 – георгиевская свита, 10 – ачимовская толща, 11 – границы баженовской свиты; 12, 13 – диаграммы редокс показателей: 12 – “пиритовые” породы, 13 – “пирит-керогеновые” породы

“Пирит-керогеновые” породы наблюдаются преимущественно в кровле и в меньшей степени в средней части БС. По содержанию керогена и пирита выделяются “пирит-керогеновые” породы двух типов: 1) с содержанием керо-

гена более 20 %, пирита более 10 %; 2) с содержанием керогена и пирита около 10-15 % каждого. Значение отношения C/S в прослоях обоих типов составляет около 1, в основном не превышает 1.8-2, что резко отличается от пород остальной части разреза, для которой характерны значения C/S более 2-3, что было отмечено выше. Прослой микститов глинисто-кремнистых, где содержание керогена превышает 20 % и пирита более 10 % встречаются, как правило, в кровле БС, часто в ассоциации с доломитовыми или известковыми прослоями и породами с содержанием керогена и пирита около 10-15 % каждого. Прослой второго типа могут встречаться как в кровле, так и в других частях разреза БС.

Определено, что в изучаемых разрезах описанные выше “пиритовые” породы, расположены на границах изменения содержания глинистого материала в породах. В Северо-Сургутском подрайоне содержание этого компонента меняется с 15-20 в БС до 40 % и более в перекрывающей ее подачимовской толще, в разрезе Северо-Покачевской площади – с 35 до 40 %; в Салымском подрайоне - с 20-30 до 40-50 %, в Юганском подрайоне - с 40 до 50 %. Во многих разрезах на верхней границе БС резко сокращается содержание карбонатов – с 5-20 % и более до 0-1 реже 3 %. Содержание кремнезема практически не изменяется, остается на уровне 20-25 %. Необходимо отметить, что генезис кремнезема на этой границе меняется коренным образом – с преимущественно хемобиогенного до терригенного, увеличивается количество мелкой алевритовой примеси.

В результате анализа редокс показателей установлено, что в интервалах залегания “пиритовых” пород наблюдается резкое уменьшение значений степени пиритизации железа и содержания аутигенного урана: рассматриваемые отложения характеризуются значениями этих показателей менее 0.75 и 10 соответственно. При анализе вышеупомянутых редокс показателей в “пиритовых” породах зоны перехода БС в нижележащие отложения устанавливается сходная закономерность, но смена обстановок формирования пород происходит в обратном порядке по сравнению с их сменой в кровле БС.

Для пород БС наблюдается относительно высокая корреляционная связь органического углерода и серы сульфидной, что свидетельствует о нахождении этих компонентов на месте их образования. В “пиритовых” низкоуглеродистых и “пирит-керогеновых” породах на границах БС с вмещающими отложениями она отсутствует, что указывает на вторичное переотложение пирита. Пирит на этих интервалах преимущественно кристаллический.

По данным Н.М. Страхова [8], Ю.О. Гаврилова [9] и др., существование подобных пиритовых горизонтов в низкоуглеродистых осадках встречается на границе двух разных по литологическим и геохимическим характеристикам толщ - границах смены окислительно-восстановительного режима в диагенезе. Вышеупомянутые авторы интерпретировали подобные образования пирита в низкоуглеродистых осадках, как результат миграции сульфидной массы (гидротроилита) из углеродистых отложений, где она сформировалась под действием гравитационных сил [8,9], а также диффузии и элизионных процессов [9]. Таким образом, по их мнению, в низкоуглеродистых толщах в условиях прак-

тически полного отсутствия органического вещества, происходило отложение пирита из растворов, мигрировавших из материнских высокоуглеродистых пород.

Основные выводы:

1. В зонах перехода БС во вмещающие отложения в большинстве изученных разрезов присутствуют “пиритовые” низкоуглеродистые (вблизи подошвы подачимовской пачки и кровли георгиевской или абалакской свит) и “пирит-керогеновые” породы (кровля БС), которые характеризуются значением отношения C/S менее 1.5. Часто с породами этого типа находятся в ассоциации карбонатные породы (известняки, доломиты).

2. Определено, что “пиритовые” низкоуглеродистые и “пирит-керогеновые” породы со значениями C/S менее 1.5 расположены на границах пачек разного состава (преимущественно биохеогенного генезиса в БС и терригенного – во вмещающих породах), которые формировались в разных окислительно-восстановительных условиях. Эти породы рассматриваются как перенесшие вторичную пиритизацию в диа- и катагенезе в результате термохимического осаждения пирита на редокс геохимических барьерах из растворов, мигрировавших из материнских пород БС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубков М.Ю. Региональный и локальный прогнозы нефтеносности баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Горные ведомости. - 2016. - № 3-4 (142-143). - С. 46-68.
2. Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е. и др. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керн и ГИС // Геология нефти и газа. - 2016. - № 6. - С. 22–34.
3. Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия. - 2000. - № 4. - с. 431–444.
4. Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты. // Геология и геофизика. - 2016. - № 11. - С. 2034-2043.
5. Berner R., Raiswell R. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory// *Geochemica et Cosmochimica Acta.*- V. 47. - 1983. - P. 855-862.
6. Berner R. Sedimentary pyrite formation: an update// *Geochem. et Cosmochim. Acta.* - 1984. - V. 47. – P.605-615.
7. Leventhal J.S. Carbon-sulfur plots to show diagenetic sulfidation in sediments // *Geochemica et Cosmochimica Acta.* - V. 59. - № 6. - 1995. - pp. 1207-1211.
8. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза // Т. II. - М.: Изд-во АН СССР. - 1960. - 574 с.
9. Гаврилов Ю.О. Диагенетическая миграция сульфидов в отложениях различных обстановок седиментации // *Литология и полез. ископаемые.* - 2010. - № 2. - С. 133–150.

© В. Г. Эдер, А. Г. Замирайлова, 2019