

Е.И. Сорока,<sup>1</sup> А.Л. Анфимов,<sup>1</sup> В.П. Лютоев,<sup>2</sup>  
А.А. Галеев,<sup>3</sup> И.В. Смолева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург,

<sup>2</sup> Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар,

<sup>3</sup> Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД САФЬЯНОВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

В состав вулканогенно-осадочных пород рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения входят песчаники, алевропесчаники, углеродисто-кремнистые породы и известняки. В известняках обнаружены карбонатные фораминиферы *Parathuramina magna* Antropov, 1950, обитавшие на морском мелководье в среднем-позднем девоне. В углеродисто-кремнистых алевропелитах, вскрытых карьером (горизонты 187-100 м), были обнаружены некарбонатные раковины (кварц, апатит) фораминифер *Parathuramina aff. tamarae* L. Petrova, 1981 [10]. Изучение компонентного состава ОВ и УВ в углеродисто-кремнистых породах показало, что ОВ относится к сапропелевому типу и имеет морское происхождение [6], основные показатели уровня зрелости ОВ не превышают значений стадии МК<sub>1</sub> [8], но исходное ОВ претерпело специфическую трансформацию под воздействием повышенных температур. Исследования методом ЭПР и изотопный анализ углерода подтвердили эти выводы. Можно полагать, что вулканогенно-осадочные породы рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения формировались в мелководном морском бассейне с привносом вулканогенного материала в эйфеле-живете.

*Ключевые слова:* Сафьяновское месторождение, палеогеография

Сафьяновское медноколчеданное месторождение находится в пределах Восточно-Уральского поднятия в южной части Режевской структурно-формационной зоны. Оно локализовано в измененных вулканогенно-осадочных породах и вулканитах кисло-среднего состава и вскрыто карьером. Рудовмещающая толща имеет мощность около 500 м. Главная залежь массивных колчеданных руд имеет длину 400 м при ширине до 140 м. Южный фланг залежи резко выклинивается, а северный переходит в серию апофиз, которые представлены массивными и прожилково-вкрапленными сульфидными, медными и медно-цинковыми рудами [3; 11]. Глубина карьера в настоящее время достигает 190 м. При достижении глубины 200 м месторождение будет разрабатываться шахтным способом.

В состав рудовмещающей толщи месторождения входят песчаники, алевропесчаники, углеродисто-кремнистые породы и известняки. В верхней части разреза (до глубины 30 м) залегает маломощный пласт каменноугольных известняков, который содержит фораминиферы верхнего турне, определённые в керне скв. П-4, 3030 [4]. Каменноугольные известняки с многочисленными остатками криноидей вскрыты известковым карьером в 3 км на северо-запад от месторождения. Породы представлены преимущественно кальцитом с небольшим количеством кварца и черных кремней.

Девонские известняки вскрыты в стенке подземной горной выработки на гл. 285 м на западном фланге месторождения в зоне разлома на контакте с серпентинитами Режевского массива, в интервале шириной около 10 м. Породы практически черного цвета, сильно рассланцованные, трещиноватые с зеркалами скопления и битуминозным веществом. Из них были отобраны пробы кальцитового известняка (обр. ш10/12) и монофракции жильного кальцита (обр. ш10/12ж). Вне зоны разлома известняки микрозернистые сгустково-детритовые, разбиты трещинами с кальцитом и углеродисто-кремнистым материалом и остатками амфипор [1]. Из них была отобрана проба доломитового известняка ш1/14. Обр. ш1/14 представлен доломитом со значительной долей кварца (около 25 %).

В известняках (обр. ш1/14), обнаружены карбонатные фораминиферы *Parathuramina magna* Антропов, 1950, обитавшие на морском мелководье в среднем-позднем девоне [1]. У некоторых экземпляров обнаружены следы прикрепления (рисунок, а), что свидетельствует о том, что они относятся к прикрепленному бентосу. Ранее в разведочных скважинах П-23, 2142, вскрывших зону серпентинитового меланжа, в линзах известняков, были обнаружены девонские фораминиферы *Auroria delineate* L. Petr., *Tamarina corpulenta* L. Petr., *Parathuramina aff. tamarae* L.Petr. [4]. В юго-восточном направлении амфипоровые известняки выклиниваются и переходят в углисто-кремнистые породы [1]. Углеродисто-кремнистые породы встречаются в рудовмещающей толще месторождения в виде пачек мощностью от 0,1 до 1,5 м [12]. В углеродисто-кремнистых алевропелитах, вскрытых карьером (горизонты 187-100 м), были обнаружены некарбонатные раковины (кварц, апатит) фораминифер *Parathuramina aff. tamarae* L. Petrova, 1981 [10]. Раковины имеют трёхслойную стенку, уменьшенные размеры и меньшее по сравнению с карбонатными количество устьев (рисунок, в, г), что можно объяснить неблагоприятными условиями обитания в мелководном морском бассейне, где карбонатное осадконакопление было подавлено значительным привносом вулканического материала.

Некоторые имеют следы прикрепления (рисунок, в). Хорошая сохранность раковин, нередкое обволакивание их пелитовым материалом, следы продавливания осадков указывают на захоронение раковин в мелководных морских условиях недалеко от мест обитания. [1]. Предполагается, что первоначально раковины имели карбонатную стенку, которая после захоронения была замещена кварцем и апатитом в результате гидротермального преобразования пород.

Минеральный состав углеродисто-кремнистых пород: кварц, плагиоклаз, хлорит, гидрослюда, каолинит, барит, пирит. Породы содержат органику (ОВ) и углеродистое вещество (УВ). Термический анализ образцов кремнисто-углеродистых пород показал присутствие в них слабометаморфизованного ОВ растительного происхождения в количестве от 0,2 до 6 %, которое выгорает при 200 – 330° С [8; 12].

Изучение компонентного состава ОВ и УВ в углеродисто-кремнистых породах показало, что при относительно невысоких содержаниях углеводородов в их групповом составе доминируют алифатические соединения [8; 12]. Молекулярный состав n-алканов и изопреноидов свидетельствует о преимущественно гидробионтном генезисе исходного ОВ, на что указывает соотношение маркеров сапропелевой и гумусовой составляющих ( $C_{17}/C_{29}=10,88$ ), а также мономодальный характер распределения n-алканов с подавляющим доминированием низкомолекулярных соединений ( $C_{15-19}$ ). ОВ относится к сапропелевому типу и имеет морское происхождение [6].

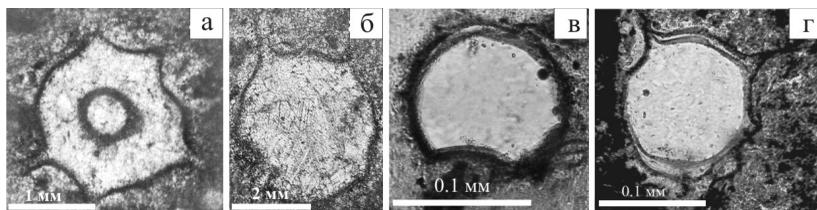


Рис. 1. Микрофотографии раковин девонских фораминифер в породах Сафьяновского месторождения: а, б - раковины фораминиферы *Parathuramina magna* Antropov, 1950, Средний Урал, Сафьяновское месторождение, штольня, шлиф ш-1-12(4), увеличение 140\*. Вид сверху, круг внутри раковины – место прикрепления ко дну; в, г - раковина фораминиферы *Parathuramina aff. tamarae* L. Petrovae, 1981, Средний Урал, Сафьяновское месторождение, шлиф 07-1-24а, проходящий свет. У раковины видны слоистая стенка и устьевые возвышения.

В целом, основные показатели уровня зрелости ОВ не превышают значений, характерных для стадии МК<sub>1</sub> [8]. Но компонентный анализ УВ показал, что в составе полиароматических углеводородов

(ПАУ) преобладают незамещённые (голаядерные) конденсированные соединения с 4-7 кольцами. Пирогенные соединения, образование которых связано с высокотемпературным воздействием, составляют 94 % от суммы ПАУ, что позволяет предположить специфическую трансформацию под воздействием повышенных температур.

Исследования методом ЭПР (электронного парамагнитного резонанса) углеродисто-кремнистых пород карьера проводились в лаборатории Физики минералов КФУ А.А. Галеевым и лаборатории физико-химических методов ИГГ УрО РАН Ю.В. Шаповой. Исследования известняков и углеродисто-кремнистых пород с гл. 285 м проводились на радиоспектрометре X-диапазона SE/X-2547 RadioPAN в лаборатории минералогии ИГ Коми НЦ УрО РАН В.П. Лютоевым. Результаты представлены в табл. 1. Они показали наличие 2-х типов сигнала С-орг, характерных для растительных (водорослевых?) остатков и остатков животного происхождения (бактериальных?). В образцах, нагретых до 600° С, появлялся сигнал с  $g \sim 2,0027 \pm 0,0001$  и узкой линией спектра ( $\Delta B = 0.15-0.2$  мТ) (табл. 1), что может свидетельствовать о бактериальном преобразовании органики [5]. На спектрах ЭПР, как в исходных пробах, так и после отжига до 300° С, появлялся сигнал в области С-радикалов с широкой линией спектра. Характеристики сигнала после отжига до 300° С:  $g \sim 2,0031 \pm 0,0001$ ; ширина -  $\Delta B \sim 0,5-0,7$  мТл, свидетельствуют о наличии остатков органического вещества, метаморфизованного в относительно низкотемпературных условиях (не выше 300° С) [9]. Также определена достаточно высокая концентрация углеродного радикала С -  $1,8 \cdot 10^{18}$  спин/грамм, что, по данным [9] характерно для некоторых углей.

Спектр ЭПР образца углеродисто-кремнистой породы Ш15/12 ( $g = 2,0026$ , табл. 1) характерен для ОВ битумного ряда, оно по значению  $g$ -фактора, ширине линии может быть отнесено к оксикериту. За исключением величины  $g$ -фактора, по остальным характеристикам ОВ похоже на некоторые шунгиты Карелии ( $g = 2,0024$ ), находящимся на регрессивной стадии метаморфизации [2].

Спектр ЭПР доломитового известняка ш1/14 является суперпозицией сигналов от  $Mn^{2+}$  в Mg и Ca-позициях решетки доломита с доминирующими Mg-позициями. Кроме того, в известняках были определены дополнительные центры: в обр. Ш10/12 –  $SO_2^-$  (2.005) и аксиальный  $CO_2^-$  (1.999, 2.003). В обр. Ш16/12 и 1346 углеродисто-кремнистых пород зафиксирован сигнал E'-центра в кварце, сохранение этого центра свидетельствует о низкотемпературном преобразовании породы [5].

Изотопный состав С является важным индикатором условий образования. Масс-спектрометрическое определение изотопного состава С и N пород (табл. 2) производилось на аналитическом комплексе, состоящем из элементного анализатора Flash EA1112, пиролизатора ТС/ЕА, хроматографа GC Ultra и масс-спектрометра Delta V Advantage в ИГ Коми НЦ УрО РАН. Погрешность определения изотопных коэффициентов составляет для углерода  $\pm 0.2$  ‰, для азота 0.5 ‰.

Таблица 1

*Углеродные радикалы в породах Сафьяновского месторождения*

обр.	При комнат. температуре			Отжиг 300° С, 30 мин			Отжиг 600° С, 30 мин		
	g	$\Delta B$ , мГ	С, сп/г	g	$\Delta B$ , мГ	С, сп/г	g	$\Delta B$ , мГ	С, сп/г
Ш10/12, извест.	2.0028	0.20	$10^{16}$	2.0028	0.15	$0.9 \cdot 10^{16}$	2.0028	0.23	$10^{16}$
Ш11/12, то же	2.0029	0.60	$1.8 \cdot 10^{18}$	2.0032	0.70	$2.6 \cdot 10^{18}$	Не обн.		
Ш15/12, угл.-кр.	2.0026	0.61	$1.5 \cdot 10^{18}$	2.0029	0.67	$2.0 \cdot 10^{18}$	Не обн.		
Ш16/12, то же	2.0029	0.60	$1.5 \cdot 10^{18}$	2.0032	0.70	$1.3 \cdot 10^{18}$	Не обн.		
1346, угл.-кр.	2.0031	0.5	$1.3 \cdot 10^{18}$	2.0031	0.70	$1.3 \cdot 10^{18}$	2.0027	0.20	

Таблица 2

*Изотопный состав С и N пород Сафьяновского месторождения*

№ обр.	Содерж. нераствор. остатка, мас. %	Содержание С, мас. %	$\delta^{13}C$ (PDB), ‰	$\delta^{15}N$ (атм.), ‰
Ш10/12-1, изв. УВ	86.87	1.09	-25.2	-3.0
Ш10/12-2, карб			0.3	
Ш10/12 ж, кальцит			-0.6	
1432 УВ	92.54	2.14	-29.0	Не обн.
Примечание. Содержание некарбонатного углерода определялось после вытравливания карбонатов методом кулонометрического титрования по величине pH на экспресс-анализаторе Ан-7529М С.А. Забоевой, Ин-т геологии Коми НЦ РАН, г. Сыктывкар.				

Значения  $\delta^{13}C$  углеродисто-кремнистых пород и известняков Сафьяновского м-ния, представленные в табл. 2, указывают на обогащение УВ изотопно-лёгким углеродом, но соответствуют значениям, свойственным ОБ (от -35 до -15 ‰). В углеродисто-кремнистой породе (обр. 1432) наблюдается некоторое обогащение изотопного состава углерода по сравнению с известняком, но, в целом изотопный состав углерода, как в известняке, так и в углеродисто-кремнистой породе характерен для угольного ряда ОБ. Для кальцита из известняков изо-

топный состав углерода близок к углероду морских известняков. Изотопный состав азота  $\delta^{15}\text{N}$  в известняке (Ш10/12-1) соответствует как живым организмам, так и различным геологическим объектам.

Можно полагать, что породы рудовмещающей толщи месторождения формировались в мелководном морском бассейне с привнесом вулканогенного материала в эйфеле-живете. О неблагоприятных условиях обитания микроорганизмов свидетельствует видовое однообразие раковин фораминифер. Присутствие в известняке вулканогенного материала говорит в пользу его образования близкого по возрасту к углеродисто-кремнистым породам. Это подтверждают и физико-химическое изучение вулканогенно-осадочных пород. Кроме того, подтверждается и проработка осадочной толщи гидротермальными растворами, в результате которой углеродистое вещество претерпело характерные изменения. Судя по всему, эти изменения были наложены на уже сформированные осадки, в которых был захоронен вулканогенный материал. Об этом свидетельствует минеральный состав углеродисто-кремнистых пород, соответствующий составу дацитов, а также замещение карбонатных раковин фораминифер апатитом и кварцем. По данным [7] время заложения островной дуги в изучаемом районе – нижний эйфель, а островодужные вулканогенно-осадочные комплексы формировались на протяжении среднего и верхнего девона.

Нужно отметить, что в рудовмещающую толщу входят вулканогенно-осадочные породы каменноугольного и девонского возраста. Раковины среднедевонских фораминифер встречаются в породах месторождения на глубинах от 100 до 280 м [1]. По данным [4], в интервале глубин 298,5-335 м определены конодонты верхнего лохкова. Поэтому можно полагать, что на этих глубинах в случае ненарушенного залегания пород можно ожидать появление границ и между среднедевонскими и нижнедевонскими отложениями.

#### *Библиографический список*

1. *Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Лещев Н.В.* Новые данные о фораминиферах в рудовмещающей толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения // Бюл. МОИП. Отд. Геол. 2015. Т.90. Вып. 3. С. 23-26.
2. *Галеев А.А., Филиппов М.М.* Природа дефектов молекулярной структуры высших антраколлитов по данным ЭПР-спектроскопии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2005. Вып. 8. С. 121-127.
3. *Коровко А.В., Двоеглазов Д.А., Лещев Н.В. и др.* Сафьяновское медно-цинковое колчеданное месторождение (Средний Урал) // Геодинамика и металлогения Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 152 - 153.
4. *Коровко А.В., Постоялко М.В., Степанова Т.И. и др.* Стратиграфия и фауна образований девона и карбона Сафьяновского рудного поля

- (Средний Урал) // Проблемы стратиг. и палеонт. Урала. Екатеринбург: Минприроды РФ, ОАО УГСЭ, 1999. С. 136.-141.
5. Муравьев Ф.А., Винокуров В.М., Галеев А.А. и др. Парамагнетизм и природа рассеянного органического вещества в пермских отложениях Татарстана. // Георесурсы, 2006. № 2 (19). С. 40-45.
6. Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В. и др. Органическое вещество донных осадков Обской губы: распределение, природа, источники // Геохимия, 2010. № 2. С. 1-13.
7. Пучков В.Н., Иванов К.С., Коровко А.В. О возрасте вулканогенных формаций и времени заложения островной дуги на востоке Среднего Урала // ДАН, 1990. Т. 315. № 5. С. 1203-1205.
8. Сорока Е.И. и др. Органическое вещество в известняках и углеродистокремнистых породах Сафьяновского медноколчеданного месторождения // XIV Чтения памяти В.О. Полякова. Миасс, 2013. С.45-51.
9. Хасанов Р.Р., Галеев А.А. Минералообразующая роль захороненных растительных остатков в процессе гидрогенного медного рудогенеза // Изв. вузов. Геология и разведка, 2004. №1. С. 18-22.
10. Чувашов Б.И, Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С. Новые данные о возрасте рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения на основе фораминифер // ДАН. 2011. Т. 439. № 5. С. 648 - 650.
11. Язева Р.Г. и др. Геология Сафьяновского колчеданного месторождения. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 71 с.
12. Ярославцева Н.С., Масленников В.В., Сафина Н.П. и др. Углеродсодержащие алевропелиты Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения // Литосфера. 2012. № 2. С. 106-123.

## THE CONDITIONS OF THE VOLCANO-SEDIMENTARY ROCKS OF THE SAFIANOVSKOE MASSIVE COPPER SULPHIDE DEPOSIT (Middle Ural)

E.I. Soroka, A.L. Anfimov, V.P. Lyutoev, A.A. Galeev, I.V. Smoleva  
*soroka@igg.uran.ru*

The composition of the volcanogenic-sedimentary rocks of Safyanovskoe deposit consists of sandstones, siltstones, carbon-siliceous rocks and limestones. Calcareous foraminifera *Parathurammina magna* Antropov, 1950, lived in shallow marine during middle-late Devonian age are found in the limestone. In carbon-siliceous rocks revealed quarry (horizons 187-100 m), noncarbon sinks (quartz, apatite) foraminifers *Parathurammina aff. tamarae* l. Petrova, 1981 are discovered [10]. The study of the composition of the hydrocarbon and carbon-siliceous rocks showed that organic matter refers to the sapropel type and is of marine origin [6], the main indicators of the maturity level of carbon matter do not exceed values stage Mk1 [8], but the original OM has undergone specific transformation under the influence of high temperatures. Research method of EPR and carbon isotope analysis has confirmed these conclusions.

*Keywords: Safyanovskoe deposit, paleogeography*