

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПОРОДАХ
САФЬЯНОВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)**

*Е.И. Сорока¹, А.А. Галеев², В.И. Петрова³, Ф.Ф. Носова²,
В.П. Лютоев⁴, Л.В. Леонова¹, Т.Р. Закиров²*

¹*Институт геологии и геохимии им. Заварицкого УрО РАН,
г. Екатеринбург, 620075, Россия*

²*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

³*ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия*

⁴*Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, 167982, Россия*

Аннотация

Исследовано влияние тектонических процессов на преобразование органического вещества вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород в пределах Восточно-Уральского поднятия в южной части Режевской структурно-формационной зоны. С использованием методов термического анализа, электронного парамагнитного резонанса и комплекса геохимических исследований, включая ГХ-МС, установлены основные признаки и температурные диапазоны метаморфизации органического вещества и пород Сафьяновского месторождения.

Ключевые слова: углеродисто-кремнистые породы, ископаемое органическое вещество, битумы, электронный парамагнитный резонанс, хромато-масс-спектрометрия

Введение

Сафьяновское месторождение находится в пределах Восточно-Уральского поднятия в южной части Режевской структурно-формационной зоны. В ее строении участвуют вулканогенные, вулканогенно-осадочные и карбонатно-терригенные комплексы девон-нижнекаменноугольного возраста (рис. 1). В пределах этой зоны выделяются три тектонические пластины, разделенные надвигами, падающими на запад под углами 25–45°. Останинская, Бороухинская и Мелкозеровская [1, 2]. Сафьяновское месторождение приурочено к южной части Бороухинской пластины. Рудовмещающая толща месторождения сложена вулканитами кислого и среднего состава с прослоями вулканогенно-осадочных пород ранне-среднедевонского возраста. С юго-запада месторождение перекрывается серпентинитами, которые относятся к гипербазитам Режевского массива.

По представлениям [3] месторождение находится в горстовой структуре: блоки пород девонского возраста окружены каменноугольными отложениями. Образование горста связывается с формированием тектонических клиньев и мегабречкированием в осевой части блока отрицательного изгиба в условиях

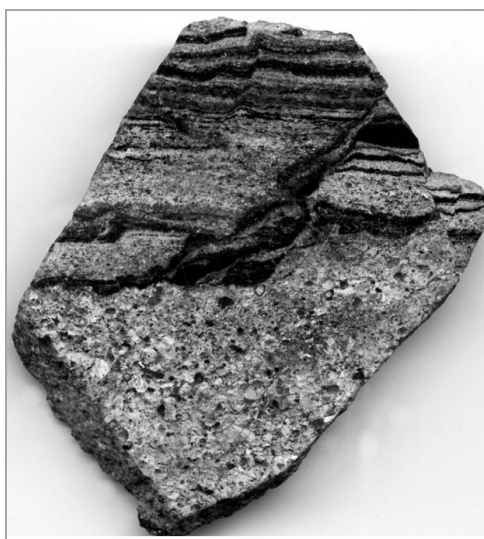


Рис. 2. Контакт песчаников и кремнисто-углеродистых пород

Именно они являются причиной неустойчивости бортов карьера, что создало проблему его дальнейшего углубления [3]. В ближайшее время месторождение будет отрабатываться шахтным способом.

Углеродисто-кремнистые породы входят в состав рудовмещающей толщи месторождения в виде пачек мощностью от 0.1 до 1.5 м и содержат $C_{орг}$ до 4–6% [5]. Они вскрыты карьером, а на глубине ниже 200 м – горной выработкой (юго-западный фланг Сафьяновского рудного поля). Здесь они находятся на контакте с девонскими амфиболовыми битуминозными известняками и серпентинитами Режевского массива.

Углеродисто-кремнистые породы представлены псефито-псаммитовыми туффидами, кристалло-литокластическими и пелитолитовыми. В состав их входят обломки кварца, кристаллы плагиоклаза, угловато-окатанные обломки риодацитов, раковины фораминифер, радиолярий и скопления углистого органического вещества (УОВ), карбонатов, а также хлорит, слюда, каолинит [6]. Песчаниковые отложения, которые встречаются в рудовмещающей толще месторождения, имеют практически идентичный состав, градационную слоистость и местами волнистые контакты с углеродисто-кремнистыми породами (рис. 2).

Недавними исследованиями в углеродисто-кремнистых алевропелитах, вскрытых карьером (горизонты 157 м, 100 м, счет от забоя карьера), были обнаружены некарбонатные (апатит, кварц) раковины фораминифер *Parathuramina aff. tamarae* L. Petrova, 1981, верхний эйфель-живет [7]. В известняках (юго-западный фланг месторождения), вскрытых горной выработкой (глубина 285 м), обнаружены карбонатные фораминиферы *Parathuramina magna* Antropov, 1950, эйфель-живет [8], что подтвердило среднедевонский возраст вулканогенно-осадочных пород рудовмещающей толщи.

Состав и особенности рассеянного органического вещества (РОВ) является важным индикатором фациальной принадлежности пород и генезиса рудообразования. С этой целью были изучены углеродисто-кремнистые породы рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал).

Табл. 1

Минеральный состав изучаемых пород Сафьяновского месторождения

| № образца | Наименование породы, привязка | Минеральный состав |
|-----------|---|---|
| 1346 | Углеродисто-кремнистая порода, карьер, гориз. 157 м (счет от забоя) | Кварц, плагиоклаз, гидрослюда, хлорит, признаки пирита, барита, ОВ 3.5% |
| Ш10/12 | Известняк, штольня (Ш), гл. 285 м | Кальцит, доломит, признаки барита |
| Ш11/12 | То же | То же |
| Ш12/12 | Хлоритизированная порода с прожилками кальцита и сульфидами, УВ | Плагиоклаз, хлорит, кальцит, серпентин, признаки сульфидов |
| Ш13/12 | Окварцованная порода с прожилками кальцита и сульфидами, УВ | Кварц, магнетит, тальк, серпентин, слюдястый минерал, признаки доломита, кальцита |
| Ш14/12 | То же | Кварц, тальк, магнетит, признаки серпентина, кальцита, доломита |
| Ш15/12 | То же | Кварц, магнетит, тальк, признаки кальцита ОВ до 2–3% |
| Ш16/12 | Углеродисто-кремнистая порода | Кварц, хлорит, слюда, плагиоклаз, кальцит, пирит, ОВ 4% |
| Ш17/12 | То же | Кварц, кальцит, плагиоклаз, хлорит, слюда, пирит, признаки магнетита, сидерита |
| Ш18/12 | Окварцованная порода с сульфидами | Тальк, кварц, магнетит, кальцит, доломит, серпентин, слюда |
| Ш19/12 | Хлоритизированный серпентинит | Серпентин в смеси с хлоритом, пр. тальки, амфибола |
| Ш20/12 | Серпентинит | Серпентин, амфибол, магнетит |
| Ш21/12 | То же | То же |

Примечание. Минеральный состав пород определен рентгенофазовым анализом на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) (оператор О.Л. Галахова), содержание ОВ определено термическим методом (аналитик В.Г. Петрищева). Анализы выполнены в лаборатории ФХМИ ИГТ УрО РАН, г. Екатеринбург.

Материалы и методы

Минеральный состав углеродисто-кремнистых пород карьера и карбонатных и углеродисто-кремнистых пород, вскрытых горной выработкой на глубину 285 м, представлен в табл. 1. В стенке горной выработки в известняках в 2013 г. были пробурены две субгоризонтальные скважины № 2340 и № 2341 длиной по 50 м в направлении на восток и юго-восток. Известняки темно-серого, почти черного, цвета, трещиноватые, в трещинах развиты кристаллы кальцита, доломита, кварца и барита, содержат сульфиды и битуминозное вещество (рис. 3). Было определено, что в юго-восточном направлении они выклиниваются и переходят в углеродисто-кремнистые породы. Вне зоны разлома известняки микрозернистые сгустково-детритовые, разбиты трещинами с кальцитом и углеродисто-кремнистым материалом. В известняках наблюдаются прослой амфибол мощностью 0.1–0.2 м, встречающиеся через 0.5–1.0 м. С целью определения генезиса РОВ нами изучались известняки, вскрытые штольней и углеродисто-кремнистые породы штольни и карьера.



Рис. 3. Известняк из стенки горной выработки

Углеродисто-кремнистые образования с карбонатными прожилками, вскрытые горной выработкой, черного цвета и состоят из кварца, хлорита, слюды, плагиоклаза. В матрице встречаются примеси кальцита, магнезита, сидерита, пирита и УОВ. По минеральному составу они идентичны породам вышележащих горизонтов, вскрытых карьером. Проведенный ранее термический анализ образцов кремнисто-углеродистых пород, брекчий и околорудных метасоматитов показал присутствие во всех исследованных образцах слабометаморфизованного органического вещества (ОВ) растительного происхождения в количестве до 6%, которое выгорает при 200 – 330 °С [9].

Исследования пород Сафьяновского месторождения, содержащих РОВ, проводились методом ЭПР (электронного парамагнитного резонанса). Спектры парамагнитных углеродных радикалов сравнительно просты и описаны для многих твердых и жидких природных ОВ, а также продуктов их термохимических превращений [10-14].

Образцы углеродисто-кремнистых пород карьера изучались в лаборатории физики минералов Казанского федерального университета (КФУ) А.А. Галеевым и в лаборатории физико-химических методов (ФХМИ) Института геологии и геохимии (ИГГ) УрО РАН Ю.В. Шаповой. В лаборатории физики минералов КФУ спектры ЭПР записывались с порошковых навесок 20–40 мг исходных и прогретых образцов при температурах 350 °С и 600 °С в течение 30 мин. Запись производилась при комнатной температуре в автоматическом режиме на портативном спектрометре DX-70 («СЗ», Беларусь) с рабочей частотой 9.272 ГГц. В лаборатории физико-химических методов ИГГ УрО РАН запись спектров производилась на спектрометре ESR 70-03 DX/2 («СЗ», Беларусь) при комнатной температуре (исходные пробы) и после нагревания образцов до 300 и 600 °С в течение 30 мин. Исследования известняков и углеродисто-кремнистых пород, вскрытых горной выработкой, проводились в лаборатории минералогии Института геологии Коми НЦ УрО РАН В.П. Лютоевым на радиоспектрометре X-диапазона SE/X-2547 (RadioPAN, Польша). Режим съемки идентичен. Результаты представлены в табл. 2.

Табл. 2

Углеродные радикалы в ОБ пород из штольни Сафьяновского месторождения

| № образца | Исходный | | | Отжиг 300 °С, 30 мин | | | Отжиг 600 °С, 30 мин | | |
|-----------|----------|--------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|------------------|
| | g | ΔВ, мТ | С, сп/г | g | ΔВ, мТ | С, сп/г | g | ΔВ, мТ | С, сп/г |
| Ш10/12 | 2.0028 | 0.20 | 10 ¹⁶ | 2.0028 | 0.15 | 0.9·10 ¹⁶ | 2.0028 | 0.23 | 10 ¹⁶ |
| Ш11/12 | 2.0029 | 0.60 | 1.8·10 ¹⁸ | 2.0032 | 0.70 | 2.6·10 ¹⁸ | не обн. | – | – |
| Ш15/12 | 2.0026 | 0.61 | 1.5·10 ¹⁸ | 2.0029 | 0.67 | 2.0·10 ¹⁸ | не обн. | – | – |
| Ш16/12 | 2.0029 | 0.60 | 1.5·10 ¹⁸ | 2.0032 | 0.70 | 1.3·10 ¹⁸ | не обн. | – | – |

В современных геохимических исследованиях при реконструкции фациально-генетических условий широко используется анализ биомаркеров. Количество углеводородов (УВ) в составе РОВ и особенности их строения дают представление о генетическом типе ОБ и степени его катагенетического превращения.

Ранее проведенный геохимический анализ ОБ углеродисто-кремнистых пород Сафьяновского месторождения (горизонт. 157 м, карьер, глубина 50 м) показал его принадлежность к сапропелевому типу [5]. В настоящее время было проведено геохимическое изучение ОБ пород, вскрытых горной выработкой на глубине 285 м. Компонентный состав ОБ приведен в табл. 3.

Табл. 3

Компонентный состав ОБ Сафьяновского месторождения

| Содержание в породе | Компоненты | Л.К. IV-е | Ш14/12 | Ш16/12 |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------|--------|--------|
| | | Н.О. | 90.95 | |
| | СаСО ₃ | 9.05 | | 10.07 |
| | С _{карб} | 1.09 | | 1.21 |
| | С _{орг} в н.о. | 2.60 | | 3.77 |
| | С _{орг/пор} | 2.86 | | 4.19 |
| | ОВ | 3.72 | | 5.45 |
| | Ахл | 0.006 | 0.007 | 0.011 |
| | Асп-б | 0.010 | 0.003 | 0.004 |
| | ГК | 0.000 | | 0.000 |
| | СРІ | | 1.08 | 1.17 |
| Групповой состав ОБ, % | Ахл | 0.17 | 0.007 | 0.19 |
| | Асп-б | 0.27 | 0.003 | 0.07 |
| | ГК | 0.00 | | 0.00 |
| | ООВ | 99.6 | | 99.7 |
| $\beta = (Ахл / Сорг) \times 100$ | | 0.22 | | 0.25 |
| Ахл/Асп-б | | | 2.3 | 2.9 |
| Состав Ахл, % | масла | 31.6 | 14.18 | 32.4 |
| | смолы | 64.9 | 48.37 | 63.8 |
| | асфальтены | 3.5 | 37.45 | 3.8 |
| УВ, % | в породе | 0.002 | | 0.003 |
| | в ОБ | 0.05 | | 0.06 |
| Состав УВ, % | Me-Nf | 58.8 | | 72.7 |
| | Ar | 41.2 | | 27.3 |
| Me-Nf/Ar | | 1.42 | | 2.7 |
| Me-Nf, % | в породе | 0.0013 | | 0.0025 |
| Ar, % | в породе | 0.0008 | | 0.0009 |

| | | | | |
|-----------------|----------|--|------|-------|
| C_{17}/C_{27} | | | 24.4 | 10.88 |
| Pr/Ph | в породе | | 0.87 | 0.96 |
| Pr/ C_{17} | в породе | | 0.62 | 0.45 |
| Ph/ C_{18} | в породе | | 0.88 | 0.96 |
| Ts/Ts+Tm | в породе | | | 0.51 |
| 22S/22S+22R | в породе | | | 0.60 |
| 20S/(S+R) | в породе | | | 0.38 |
| S | в породе | | | 0.45 |

Примечание: н.о. – нерастворимый остаток; Ахл – хлороформный битумоид; Асп-б – спиртобензольный битумоид; ГК – гуминовые кислоты; β – коэффициент битуминозности; УВ – углеводороды; Me-Nf – метано-нафтеновая фракция углеводородов; Аг – ароматическая фракция углеводородов; ООВ – остаточное органическое вещество, степень полимеризации; СР1 – коэффициент нечетности. Навеска образца Ш16/12 104.5 г. Навеска образца Ш14/12 100 г. Данные по образцу Л.К. IV-е из Сафьяновского карьера приведены по [5].

Аналитическая процедура изучения ОВ включала: определение в породе нерастворимого остатка и содержания $C_{орг}$, извлечение хлороформного (Ахл) и спиртобензольного (Асп-б) битумоидов, гуминовых кислот (ГК), определение группового состава Ахл и углеводородов, хроматографическое фракционирование с выделением суммы метано-нафтеновой и ароматической фракций УВ, ГХ-МС-анализ *n*-алканов, циклических и полиароматических углеводородов (ПАУ). ГХ-МС-анализ обр. Ш16/12 проводили на комплексе HP 6850/5973 (Agilent Technologies Inc., США) с квадрупольным масс-детектором и программным комплексом обработки аналитической информации в ВНИИОкеангеология, отдел нефтегазоносности Арктики и Мирового океана, лаборатория органической геохимии, г. Санкт-Петербург, аналитик В.И. Петрова. Анализ обр. Ш14/12 – в лаборатории геохимии горючих полезных ископаемых, кафедра геологии нефти и газа КФУ, г. Казань, аналитик Ф.Ф. Носова.

Результаты и их обсуждение

На рис. 4 приведены типичные спектры ЭПР углеродисто-кремнистых пород из карьера Сафьяновского месторождения. Анализ спектров показал наличие 2 типов сигнала $C_{орг}$, характерных для растительных и животных остатков [10]. На спектрах как в исходных пробах, так и после нагрева при 300 °С появлялся сигнал в области $C_{орг}$ с широкой линией спектра (рис. 4). Характеристики сигнала после отжига при 300 °С: $g \sim 2.0031 \pm 0.0001$; ширина линии $\Delta B \sim 0.5\text{--}0.7$ мТл – свидетельствуют о наличии ОВ растительных остатков, метаморфизованного в относительно низкотемпературных условиях (не выше 300° С) [11]. После нагрева до 600 °С появлялся сигнал $C_{орг}$ с $g \sim 2.0027 \pm 0.0001$ и узкой линией спектра ($\Delta B = 0.15\text{--}0.2$ мТл). Сигналы с такими параметрами свойственны остаткам ископаемого ОВ белкового ряда [10]. Возможно, это ОВ образовалось в результате деятельности гнилостных микроорганизмов на стадии седиментогенеза и раннего диагенеза.

Анализ ЭПР-спектров РОВ пород, вскрытых горной выработкой, показал его идентичность образцам карьера. РОВ также метаморфизовано в условиях не выше 300 °С (табл. 2). В образце известняка Ш10/12 были выделены сигналы $C_{орг}$ 2 типов, что может свидетельствовать об одинаковых условиях осадконакопления как для углеродисто-кремнистых образований, так и для известняков.

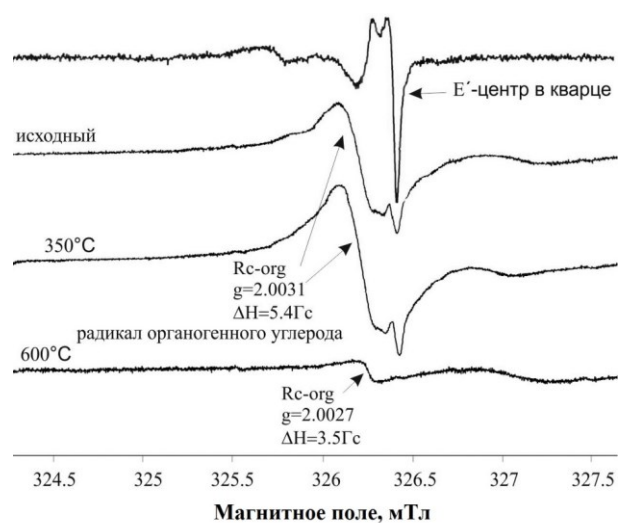


Рис. 4. Характерные спектры ЭПР в области термонестабильных радикалов ОВ и кварца

Судя по интенсивностям спектров в образце 1346 карьера [6] и Ш16/12 (табл. 2) углеродисто-кремнистых пород, концентрация парамагнитных центров $C_{\text{орг}}$ – $1.3 \cdot 10^{18}$ спин/г, а в образцах известняка Ш11/12 – $2.6 \cdot 10^{18}$ спин/г (табл. 2), что характерно для некоторых углей [11].

Кроме того, в спектрах углеродисто-кремнистых пород (образцы Ш16/12 и 1346) зафиксирован сигнал E'-центра в кварце (рис. 4). Сохранение этого центра также свидетельствует о низкотемпературном преобразовании породы. В спектрах ЭПР известняков (обр. Ш10/12) были определены дополнительные центры: центр SO_2^- (2.005) и аксиальный CO_2^- (1.999, 2.003), что свидетельствует о низкотемпературном воздействии на известняки, не выше 250°C .

Спектр ЭПР образца Ш15/12 ($g = 2.0026$, табл. 2) характерен для ОВ битумного ряда, которое по значению g-фактора, ширине линии и наличию слабого сигнала после нагрева при 600°C может быть отнесено к оксикериту. За исключением величины g-фактора, оксикерит подобен некоторым шунгитам Карелии ($g = 2.0024$ по [12]), находящимся на регрессивной стадии метаморфизации.

В результате геохимического анализа ОВ углеродисто-кремнистых пород Сафьяновского месторождения было установлено, несмотря на достаточно высокое содержание $C_{\text{орг}}$ (4.19%) и хлороформенного битумоида ($A_{\text{хл}} = 0.011\%$), РОВ находится на высокой стадии преобразования ($\text{ООВ} > 99\%$) [15]. Это согласуется с отсутствием гуминовых кислот. В составе растворимых компонентов РОВ доминируют неокисленные структуры ($A_{\text{хл}}/A_{\text{сп-б}} = 2.9$), значение β (0.25) много ниже 1 (табл. 3), что говорит о сингенетичности ОВ. Известно, что β – основной показатель при выявлении генетического типа битумоида, его сингенетичности или эпигенетичности по отношению к вмещающим породам. В случае сингенетичной битуминозности его величина не превышает 5–10 [16, 17].

Содержание углеводородов УОВ и ОВ в породе относительно невысоки, а в их групповом составе доминируют алифатические соединения.

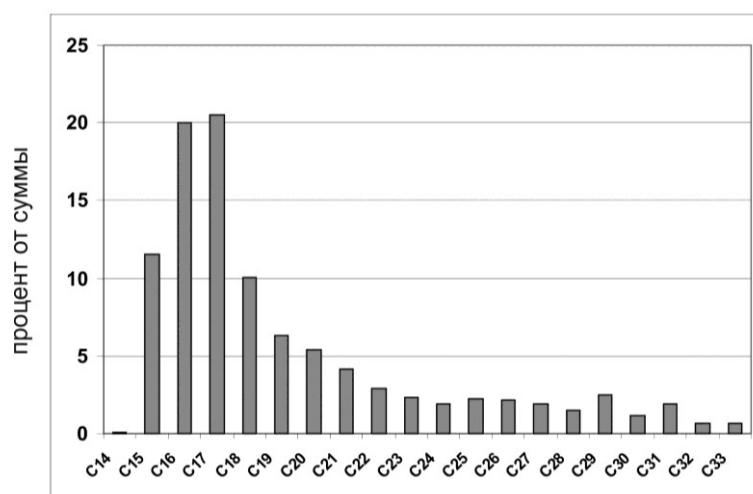


Рис. 5. Распределение *n*-алканов в обр. Ш16/12

Нормальные алканы и изопреноиды. Парафиновые УВ являются генетическими маркерами, позволяющими определить происхождение исходного органического материала. Параметры, характеризующие распределение УВ алканового ряда (C_{17} – C_{19}) и (C_{27} – C_{31}), позволяют уточнить долю участия аквагенной и терригенной биоты в формировании ОВ донных осадков [17]. 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} – C_{19}) (рис. 5). Значение коэффициента нечетности CPI , близкое к 1, свидетельствует о высокой степени преобразования *n*-алканов и ОВ в целом. Соотношение изопреноидов пристана и фитана ($Pr/Ph < 2$ и $Pr/C_{17} = 0.45$) характерно для морских условий осадконакопления [17–19].

Терпаны и стераны. Распределение циклановых углеводородов (стеранов, гопанов, цикланов) в изученном образце также указывает на преимущественно сапропелевый генезис ОВ. Об этом свидетельствует значение трициклановых коэффициентов ($C_{19-20}Tric/C_{23-26}$; $C_{23-26}Tric/C_{28-31}$) и соотношение норгопана, гопана и C_{31} -гомогопана, которые могут служить показателями происхождения исходного органического материала [19]. Данные, приведенные в табл. 4, наглядно свидетельствуют о существенной роли «морского» гидробионтного ОВ в исходном органическом материале.

В геологических объектах гопаны присутствуют в виде гомологического ряда соединений C_{27} – C_{35} . На стадии седиментогенеза и раннего диагенеза образуются биогенные гопаны ($\beta\beta$ -гопаны), на постдиагенетической стадии происходит структурная трансформация гопанов с формированием $\alpha\beta$ - и $\beta\alpha$ -гопанов. Для гопанов состава C_{31} – C_{35} происходит изомеризация энантиомеров конфигурации R в S. Отсутствие в составе терпанов биогопанов и моретанов ($\beta\beta$ - и $\beta\alpha$ -изомеров) свидетельствует о постдиагенетическом уровне трансформации РОВ. В то же время неоднозначность гопановых коэффициентов зрелости РОВ

Табл. 4
Молекулярные параметры биомаркеров РОВ, рассчитанные по данным ГХ-МС-анализа (образец Ш16/12)

| Триптерланы | | | Страны | | |
|--|----------------------|----------------------------------|---|---------------------|----------------------------------|
| Показатели генетического типа | | | | | |
| Параметр | Значение (отн. ед.) | Генетический тип по [17, 19] | Параметр | Значение (отн. ед.) | Генетический тип по [17, 19] |
| C ₁₉₋₂₀ Tric/C ₂₃₋₂₆ | 0.70 | морской | C ₂₇ : C ₂₈ : C ₂₉ | 40 : 22 : 38 | морской |
| C ₂₃₋₂₆ Tric/C ₂₈₋₃₁ | 3.45 | морской | 27(abb+aaa)/29(abb+aaa) | 1.03 | морской |
| H ₂₉ /H ₃₀ | 0.77 | морской | 28(abb+aaa)/29(abb+aaa) | 0.58 | морской |
| H ₃₁ R/H ₃₀ | 0.34 | морской | | | |
| H ₃₅ R/H ₃₄ R | nd H ₃₅ R | – | | | |
| Показатели степени катагенетического превращения | | | | | |
| Параметр | Значение (отн. ед.) | Равновесное значение по [17, 19] | Параметр | Значение (отн. ед.) | Равновесное значение по [17, 19] |
| Ts/(Ts+Tm) | 0.51 | 1.0. | dia/reg (C ₂₇) | 0.40 | 1.0 |
| C ₃₁ αβ22S/(22S+22R) | 0.60 | 0.62 | 20S/(S+R) ααα C ₂₉ | 0.38 | 0.55 |
| C ₃₀ βα/(αβ+βα) | nd моретан | | C ₂₉ αββ/(αββ+ααα) (S) | 0.45 | 0.70 |

Примечание: nd – компонент отсутствует или находится ниже порога обнаружения. C₂₇–C₃₅ – голаны; S, R – энантимеры C₂₇–C₃₅ голанов; Ts – 8α-триснорнеоглан (C₂₇); Tm – 17α-трисноргопан (C₂₇) [15].

(T_s/T_s+T_m , $22S/22S+22R$ C_{31}) в данном случае не позволяет охарактеризовать уровень зрелости РОВ как достигший термодинамического предела. В пользу данного предположения свидетельствует и распределение стеранов (табл. 4), показатели зрелости которых далеки от равновесных и не превышают значений, характерных для стадии раннего катагенеза ($МК_1$).

В гомологическом ряду стеранов ($C_{27}-C_{30}$) преобладают холестераны (C_{27}), которые отражают вклад гидробионтов в состав исходного ОВ. На определение генетического типа исходного РОВ нацелены и соотношения регулярных и перегруппированных изомеров в гомологическом ряду стеранов. Эти данные хорошо согласуются с приведенными выше значениями для алканов и терпанов.

Полиароматические углеводороды (ПАУ). Результаты анализа ПАУ свидетельствуют о том, что изученные породы Сафьяновского месторождения характеризуются повышенным содержанием ПАУ. В составе фракции ароматических УВ они составляют около 65% ($МРІ = 0.40$ – показатель уровня трансформации голаядерного фенантрена и его метилгомологов; $Fl/202 = 0.25$ – доля флуорантена в суммарном содержании молекулярной группы 202). В отличие от обычных осадочных пород [17], в составе ПАУ преобладают незамещённые (голаядерные) конденсированные полиароматические соединения с 4–7 кольцами. При этом пирогенные соединения, образование которых связано с высокотемпературным воздействием на РОВ, составляют 94% от суммы ПАУ. Нафтидогенные ПАУ, характерные для осадочных пород и формирующиеся путём трансформации РОВ в ходе литогенеза, в данном случае являются минорным компонентом. Такой тип распределения ПАУ позволяет предположить, что исходное ОВ претерпело специфическую трансформацию под воздействием повышенных температур.

В результате геохимических исследований можно сделать вывод, что ОВ углеродисто-кремнистых пород Сафьяновского месторождения генетически однотипное, преимущественно сапропелевое и его накопление связано с морскими условиями. Характерной особенностью является, с одной стороны, его полимеризованность, что типично для РОВ стадии позднего мезокатагенеза, а с другой – его молекулярный состав не позволяет говорить о созревании РОВ в ходе естественного регионального метаморфизма. Специфика геохимических параметров РОВ может быть обусловлена, например, воздействием высоких температур, связанных с интрузивными процессами, или гидротермальной активностью, связанной также с тектоническими преобразованиями.

Как отмечалось выше, по некоторым физико-химическим параметрам (обр. Ш15/12, табл. 2) ОВ Сафьяновского месторождения можно сравнить с ОВ шунгитов Карелии. По геохимическим характеристикам ОВ углеродисто-кремнистых пород Сафьяновского месторождения (табл. 3) сравнимо с низкоуглеродистыми шунгитами месторождения Шуньги ($C_{орг} - 3\%$; $A_{хл} - 0.017$; $A_{сп-б} - 0.01$; $Pr/Ph - 0.78$; $T_s/T_s+T_m - 0.42-0.76$; $22S/22S+22R - 0.39-0.49$; низкая доля моретанов [20]). Температура метаморфизма на Шуньговском месторождении оценивается в 300–330 °С [21]. Но, в отличие от шунгитов, УВ Сафьяновского медноколчеданного месторождения содержат ароматические соединения с повышенным содержанием ПАУ, что говорит о более низкой степени их метаморфического преобразования.

По данным [22], в результате изучения экспериментального гидротермального воздействия на ОБ осадочных пород (при 300 °С) установлено, что в спектрах всех изученных образцов с ОБ, представленным керогеном, фиксируется ароматизация структуры ОБ и снижение доли алифатических структур.

Естественный процесс гидротермального воздействия на осадочные породы в современных условиях широко представлен на дне океана при образовании сульфидных гидротермальных отложений. Геохимическое изучение ОБ современных сульфидных гидротермальных отложений Срединно-Атлантического хребта (поля Ашадзе, Лост Сити, Рэйнбоу, Брокен Спур) показало его смешанный генезис, специфика которого обусловлена ускоренными процессами созревания ОБ под действием экстремальных условий среды [23, 24]. Пирогенные соединения в составе ПАУ выявлены в ОБ донных отложений в пределах гидротермального участка Ашадзе-1 [23]. При этом пиролитическая компонента представлена узким набором соединений (F1/202 – 0.7). Учитывая присутствие в составе цикланов хейландатов, диастеранов и геогопанов, достаточно высокие пирогенные показатели ароматических УВ, показатели уровня зрелости вещества *n*-алканов (коэффициент нечетности CPI – 1), авторы [23] сделали вывод об ускоренном термокаталитическом созревании ОБ в донных осадках поля Ашадзе-1 под действием гидротермальных условий среды, «выражающемся в уплотнении и поликонденсации геохимически менее стабильных структур».

Распределение УВ в донных осадках гидротермальных полей Лост Сити и Рэйнбоу характеризуется наличием четных гомологов и в низко-, и в высокомолекулярной области, что отражается в значениях параметра CPI, в среднем 0.86 и 0.89 соответственно [25]. Это является результатом восстановительных процессов, протекающих при гидротермальной трансформации ОБ. Непосредственно в сульфидных отложениях полей Рэйнбоу и Брокен Спур присутствуют *n*-алканы абиогенно-термокаталитического происхождения, а для отложений активных курильщиков характерно высокое содержание длинноцепочечных *n*-алканов $\Sigma C_{23}-C_{35}$ – 85.7% [24].

Таким образом, исходя из приведенных результатов исследований, можно сделать вывод, что ОБ Сафьяновского месторождения подвергалось низкотемпературному гидротермальному воздействию – не выше 300 °С. Так как по данным ЭПР в нем сохранились следы растительных и животных остатков (обр. Ш10/12, табл. 2), а также радиационные центры в минералах, то для некоторых образцов, в частности, известняков, температура была не выше 250 °С. Учитывая данные [26], касающиеся образования баритовых жил в рудных фациях Сафьяновского месторождения, а также данные [27] по температуре образования на месторождении околорудного хлорита, можно считать, что температурный интервал околорудных изменений пород, содержащих ОБ, составлял от 130 °С до 260 °С.

Заключение

Геохимическое изучение ОБ в породах Сафьяновского месторождения подтвердило его принадлежность к сапропелевому типу и морские мелководные условия формирования. По данным геохимического и физико-химического изучения ОБ была установлена его сингенетичность вмещающим околорудным

породам. Уровень трансформации ОВ Сафьяновского месторождения свидетельствует о его ускоренном, но неполном созревании в процессе эволюции гидротермального флюида, что, возможно, являлось следствием тектонической перестройки региона на коллизионном этапе развития Уральской складчатой системы.

Благодарности. Авторы благодарят главного геолога Н.В. Лещева и коллектив ОАО «Сафьянмедь» за предоставление материалов для данной работы.

Работа выполнена при частичной поддержке из средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГГ УрО РАН (гос. регистрации № АААА-А18-118052590028-9).

Литература

1. *Коровко А.В., Двоеглазов Д.А.* О позиции Сафьяновского рудного поля в структурах Режевской структурно-формационной зоны (Средний Урал) // Геодинамика и металлогения Урала. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – С. 151–152.
2. *Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В.* Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). – Екатеринбург: УрО РАН, 1992. – 71 с.
3. *Кисин А.Ю.* Структурная позиция и время образования прожилково-вкрапленных руд Сафьяновского Zn-Cu месторождения (Средний Урал) // Литосфера. – 2009. – № 5. – С. 72–84.
4. *Кисин А.Ю.* Общекоровая складчатость как отражение горизонтального сжатия // Литосфера. – 2007. – № 5. – С. 117–136.
5. *Ярославцева Н.С., Масленников В.В., Сафина Н.П., Лещёв Н.В., Сорока Е.И.* Углеродсодержащие алевропелиты Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) // Литосфера. – 2012. – № 2. – С. 106–123.
6. *Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С., Главатских С.П.* Генезис углеродисто-кремнистых прослоев в рудовмещающей вулканогенно-осадочной толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Вулканизм и геодинамика. V Всерос. симпозиум по вулканол. и палеовулканол. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. – С. 474–476.
7. *Чувашов Б.И., Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С.* Новые данные о возрасте рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения (Средний Урал) на основе фораминифер // Докл. РАН. – 2011. – Т. 439. № 5. – С. 648–650.
8. *Чувашов Б.И., Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С.* Девонские фораминиферы с некарбонатной раковиной в рудовмещающей толще Сафьяновского месторождения (Средний Урал) // Литосфера. – 2012. – № 5. – С. 114–126.
9. *Сорока Е.И., Молошаг В.П., Леонова Л.В., Петрищева В.Г., Ярославцева Н.С.* Кремнисто-углеродистые отложения рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. – 2010. – Вып. 157. – С. 250–254.
10. *Муравьев Ф.А., Винокуров В.М., Галеев А.А., Булка Г.Р., Низамутдинов Н.М., Хасанова Н.М.* Парамагнетизм и природа рассеянного органического вещества в пермских отложениях Татарстана // Георесурсы. – 2006. – № 2. – С. 40–45.

11. *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.
12. *Галеев А.А., Филиппов М.М.* Природа дефектов молекулярной структуры высших антраколитов по данным ЭПР-спектроскопии // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. – Вып. 8. – С. 121–127.
13. *Володин М.А., Гафуров М.Р., Мамин Г.В., Орлинский С.Б., Мурзакаев В.М., Юсупова Т.Н.* Исследование асфальтенов тяжелых нефтей и природных битумов методами электронного парамагнитного резонанса // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 6. С. 44–47.
14. *Каюкова Г.П., Киямова А.М., Миннегалиева А.М., Нигмедзянова Л.З., Морозов В.И., Храмченкова Р.Х., Храмова Е.В.* Превращения природных битумов при гидротермальных процессах // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 105–109.
15. *Неручев С.Г.* Справочник по геохимии нефти и газа. – СПб.: Недра, 1998. – 576 с.
16. *Корчагина Ю.И., Четверикова О.П.* Методы исследования рассеянного органического вещества осадочных пород. – М.: Недра, 1976. – 230 с.
17. *Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В., Литвиненко И.В., Коновалов Д.А.* Органическое вещество донных осадков Обской губы: распределение, природа, источники // Геохимия. – 2010. – № 2. – С. 151–163.
18. *Романкевич Е.А.* Геохимия органического вещества в океане. – М.: Наука, 1977. – 256 с.
19. *Костырева Е.А.* Геохимия и генезис палеозойских нефтей юго-востока Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, «Гео», 2005. – 183 с.
20. *Шанина С.Н., Голубев Е.А., Бурдельная Н.С.* Углеводороды-биомаркеры в шунгитах Карелии // Геохимия. – 2013. – № 9. – С. 842–848.
21. *Филиппов М.М.* Шунгитоносные породы Онежской структуры. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. – 280 с.
22. *Бурдельная Н.С., Бушнев Д.А., Мокеев М.В.* Изменения состава битумоида и химической структуры керогена при гидротермальном воздействии на породу // Геохимия. – 2013. – № 9. – С. 819–833.
23. *Моргунова И.П., Иванов В.Н., Литвиненко И.В., Петрова В.И., Степанова Т.В., Черкашён Г.А.* Геохимия органического вещества донных отложений гидротермального поля Ашадзе (13° с.ш., Срединно-Атлантический хребет) // Океанология. – 2012. – Т. 52. № 3. – С. 372–380.
24. *Шульга Н.А., Пересыпкин В.И., Ревельский И.А.* Изучение и состав n-алканов в образцах гидротермальных отложений Срединно-Атлантического хребта с помощью метода газовой хроматографии/масс-спектрометрии // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 4. – С. 515–523.
25. *Шульга Н.А., Пересыпкин В.И.* О генезисе углеводородов полей Лост Сити и Рэйнбоу (Срединно-Атлантический хребет) // Докл. РАН – 2012. – Т. 445, № 2. – С. 196–199.
26. *Сафина Н.П., Анкушева Н.Н., Мурзин В.В.* Физико-химические условия формирования барита из рудных фаций Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) // Литосфера. – 2012. – № 3. – С. 110–126.
27. *Сорока Е.И., Молошаг В.П., Филиппов В.Н., Галахова О.Л., Притчин М.Е.* Хлорит из околорудных вулканогенных пород Сафьяновского месторождения // XIII Всерос. науч. чтения памяти В.О. Полякова. – Миасс, 2012. – С. 67–73.

Сорока Елена Индустрвна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии и рудообразующих процессов

Институт геологии и геохимии им. Заварицкого УрО РАН
ул. Акад. Вонсовского, д. 15, г. Екатеринбург, 620075, Россия
E-mail: *sopoka@igg.uran.ru*

Галеев Ахмет Асхатович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: *akhmet.galeev@kpfu.ru*

Петрова Вера Игоревна, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией органической геохимии

ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга
Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия
E-mail: *petrovavi@mail.ru*

Носова Фидания Фоатовна, заведующий лабораторией геохимии горючих ископаемых

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: *fida64@mail.ru*

Лютоев Владимир Павлович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории региональной минералогии

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН
ул. Первомайская, д. 54, д. 4, г. Сыктывкар, 167982, Россия
E-mail: *vlutoev@geo.komisc.ru*

Леонова Любовь Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геотектоники

Институт геологии и геохимии им. Заварицкого УрО РАН
ул. Акад. Вонсовского, д. 15, г. Екатеринбург, 620075, Россия
E-mail: *lvleonova@yandex.ru*

Закиров Тимур Рустамович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: *timurz0@mail.ru*

doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.307-324

Organic Matter in the Saf'yanovka Copper Massive Sulfide Deposit (Middle Urals)*E.I. Soroka*^{a*}, *A.A. Galeev*^{b**}, *V.I. Petrova*^{c***}, *F.F. Nosova*^{b****}, *V.P. Lyutoev*^{d*****},
L.V. Leonova^{a*****}, *T.R. Zakirov*^{b*****}^a*Zavaritskii Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, 620075 Russia*^b*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*^c*I.S. Gramberg VNIOkeangeologia, St. Petersburg, 190121 Russia*^d*N.P. Yushkin Institute of Geology, Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, 167982 Russia*E-mail: **sopoka@igg.uran.ru*, ***akhmet.galeev@kpfu.ru*, ****petrovavi@mail.ru*,
*****fida64@mail.ru*, ******vlutoev@geo.komisc.ru*, ******lleonova@yandex.ru*,
******timurz0@mail.ru*

Received January 21, 2019

Abstract

The influence of tectonic processes on the transformation of organic matter in volcanic and volcano-sedimentary rocks within the East Ural uplift in the southern Rezh structural-formational zone was studied. The basic features and temperature ranges of organic matter (OM) and ore-bearing rock metamorphic transformations in the Saf'yanovka deposit were established using the methods of thermal analysis, electron paramagnetic resonance, and complex geochemical studies, including GC-MS.

The geochemical study of organic matter in the ore-bearing rocks of the Saf'yanovka deposit confirmed its relation to the sapropelic type and to shallow marine conditions of formation. The syngenetic nature of the OM and ore-bearing rocks was established on the basis of the geochemical and physico-chemical analyses. The transformation stage of OM in the Saf'yanovka deposit indicates its rapid, but incomplete maturation in the evolution of hydrothermal fluid.

Keywords: carbon-siliceous rocks, fossil organic matter, bitumen, electron paramagnetic resonance, gas chromatography-mass spectrometry

Acknowledgments. We thank N.V. Leshchev, Chief Geologist of the Saf'yanMed' Company, and the staff of the Saf'yanMed' Company for providing us with the material for this study.

The work was supported in part by the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University, as well as by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities.

The study was performed within the framework of the state assignment of the IGG of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration no. AAAA-A18-118052590028-9).

Figure Captions

Fig. 1. Schematic geological map of the Saf'yanovka ore deposit.

Fig. 2. Contact zone of sandstones and siliceous-carbonaceous rocks.

Fig. 3. Limestone from the wall of the mine workings.

Fig. 4. Characteristic EPR spectra in the region of thermally unstable OM and quartz radicals.

Fig. 5. Arrangement of *n*-alkanes in sample Sh16/12.

References

1. Korovko A.V., Dvoeglazov D.A. On the position of the Saf'yanovka ore deposit in the structures of the Rezh structural-formational zone (Middle Urals). In: *Geodinamika i metallogeniya Urala* [Geodynamics and Metallogeny of Urals]. Sverdlovsk, Ural. Otd. Akad. Nauk SSSR, 1991, pp. 151–152. (In Russian)
2. Yazeva R.G., Moloshag V.P., Bochkarev V.V. *Geologiya Saf'yanovskogo kolchedannogo mestorozhdeniya (Srednii Ural)* [Geological Setting and Composition of the Saf'yanovka Copper Deposit (Middle Urals)]. Yekaterinburg, Ural. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1992. 71 p. (In Russian)
3. Kisin A.Yu. Tectonic position and generation time of vein disseminated Cu-Zn ores in the Saf'yanovka deposit (Middle Urals). *Litosfera*, 2009, no. 5, pp. 72–84. (In Russian)
4. Kisin A.Yu. The general crust folding as a reaction to horizontal squeezing. *Litosfera*, 2007, no. 5, pp. 117–136. (In Russian)
5. Yaroslavtseva N.S., Maslennikov V.V., Safina N.P., Leschov N.V., Soroka E.I. Carboniferous aleuropelites of the Saf'yanovka copper-zinc-pyrite deposit (Middle Urals). *Litosfera*, 2012, no. 2, pp. 106–123. (In Russian)
6. Anfimov A.L., Soroka E.I., Yaroslavtseva N.S., Glavatskiikh S.P. Genesis of carbon-siliceous interlayers in the ore-bearing volcanic-sedimentary stratum of the Saf'yanovka copper-pyrite deposit (Middle Urals). *Vulkanizm i geodinamika. V Vseros. simpozium po vulkanol. i paleovulkanol.* [Volcanicity and Geodynamics. Proc. V All-Russ. Symp. on Volcanology and Paleovolcanology]. Yekaterinburg, IGG Ural. Otd. Ross. Akad. Nauk., 2011, pp. 474–476. (In Russian)
7. Chuvashov B.I., Anfimov A.L., Soroka E.I., Yaroslavtseva N.S. New data on age of ore-hosting sequence of the Saf'yanovka deposit, Central Urals, based on foraminifers. *Dokl. Earth Sci.*, 2011, vol. 439, pt. 2, pp. 1076–1078. doi: 10.1134/S1028334X11080125.
8. Chuvashov B.I., Anfimov A.L., Soroka E.I., Yaroslavtseva N.S. Devonian foraminifers with a noncarbonate test in the ore-bearing strata of the Saf'yanovka deposit (Middle Urals). *Litosfera*, 2012, no. 5, pp. 114–126. (In Russian)
9. Soroka E.I., Moloshag V.P., Leonova L.V., Petrisheva V.G., Yaroslavtseva N.S. Siliceous-carbonaceous deposits of the ore-bearing stratum of the Saf'yanovka copper pyrite deposit (Middle Urals). *Ezhegodnik-2009*, 2010, no. 157, pp. 250–254. (In Russian)
10. Murav'ev F.A., Vinokurov V.M., Galeev A.A., Bulka G.R., Nizamutdinov V.M., Khasanova N.M. Paramagnetism and the nature of dispersed organic matter in Permian deposits of Tatarstan. *Georesusy*, 2006, no. 2, pp. 40–45. (In Russian)
11. Khasanov R.R., Galeev A.A. The mineral-forming role of plant fossils in the process of hydrogenic copper ore genesis. *Izv. Vyssh. Uben. Zaved., Geol. Razved.*, 2004, no. 1, pp. 18–22. (In Russian)
12. Galeev A.A., Filippov M.M. The nature of the molecular structure defects of higher anthraxolites according to EPR spectroscopy. *Geol. Polezn. Iskop. Karelii*, 2005, no. 8, pp. 121–127. (In Russian)
13. Volodin M.A., Gafurov M.R., Mamin G.V., Orinskii S.B., Murzakaev V.M., Yusupova T.N. Electron paramagnetic resonance studies of asphaltene complexes in heavy oils and bitumen. *Neft. Khoz.*, 2013, no. 6, pp. 44–47. (In Russian)
14. Kayukova G.P., Kiyamova A.M., Minnegaliyeva A.M., Nigmedzyanova L.Z., Morozov V.I., Khranchenkova R.Kh., Khranova E.V. Transformations of natural bitumens at hydrothermal processes. *Neft. Khoz.*, 2007, no. 2, pp. 105–109. (In Russian)
15. Neruchev S.G. *Spravochnik po geokhimii nefti i gaza* [A Guide on the Geochemistry of Oil and Gas]. St. Petersburg, Nedra, 1998. 576 p. (In Russian)
16. Korchagina Yu.I., Chetverikova O.P. *Metody issledovaniya rasseyannogo organicheskogo veschestva osadochnykh porod* [Methods of Investigating the Disseminated Organic Matter of Sedimentary Rocks]. Moscow, Nedra, 1976. 230 p. (In Russian)
17. Petrova V.I., Batova G.I., Kursheva A.B., Litvinenko I.V., Konovalov D.A. Organic matter in the bottom sediments of the Ob Bay: Distribution, nature, and sources. *Geochem. Int.*, 2010, vol. 48, no. 2, pp. 140–151. doi: 10.1134/S0016702910020035.
18. Romankevich E.A. *Geokhimiya organicheskogo veschestva v okeane* [Geochemistry of Organic Matter in the Ocean]. Moscow, Nauka, 1977. 256 p. (In Russian)

19. Kostyreva E.A. *Geokhimiya i genezis paleozoiskhikh neftei yugo-vostoka Zapadnoi Sibiri* [Geochemistry and Genesis of Paleozoic Oils of the Southeast of West Siberia]. Novosibirsk, Izd. Sib. Otd. Ross. Akad. Nauk, Geo, 2005. 183 p. (In Russian)
20. Shanina S.N., Golubev E.A., Burdelnaya N.S. Hydrocarbon biomarkers in shungites from Karelia. *Geochem. Int.*, 2013, vol. 51, no. 9, pp. 758–763. doi: 10.1134/S0016702913080041.
21. Filippov M.M. *Shungitonosnye porody Onezhskoi struktury* [Shungite-Bearing Rocks of the Onega Structure]. Petrozavodsk, Karel. NTsRAN, 2002. 280 p. (In Russian)
22. Burdelnaya N.S., Bushnev D.A., Mokeev M.V. Changes in the composition of bitumen extracts and chemical structure of kerogen during hydrous pyrolysis. *Geochem. Int.*, 2013, vol. 51, no. 9, pp. 738–750. doi: 10.1134/S0016702913060037.
23. Morgunova I.P., Ivanov V.N., Litvinenko I.V., Petrova V.I., Stepanova T.V., Cherkashov G.A. Geochemistry of organic matter in bottom sediments of the Ashadze hydrothermal field. *Oceanology*, 2012, vol. 52, no. 3, pp. 345–353. doi: 10.1134/S0001437012030083.
24. Shulga N.A., Peresykin V.I., Revelskii I.A. Composition research of *n*-alkanes in the samples of hydrothermal deposits of the Mid-Atlantic Ridge by means of gas chromatography-mass spectrometry. *Oceanology*, 2010, vol. 50, no. 4, pp. 479–487. doi: 10.1134/S0001437010040041.
25. Shulga N.A., Peresykin V.I. New data on the composition of organic matter in the hydrothermal deposits of the Mid-Atlantic Ridge (Broken Spur, Snake Pit, TAG). *Dokl. Earth Sci.*, 2012, vol. 444, no. 2, pp. 773–775. doi: 10.1134/S1028334X1206027X.
26. Safina N.P., Ankusheva N.N., Murzin V.V. Physicochemical conditions for barite formation from the ore facies of the SaFYanovka Cu-Zn-pyrite deposit (Middle Urals). *Litosfera*, 2012, no. 3, pp. 110–126. (In Russian)
27. Soroka E.I., Moloshag V.P., Filippov V.N., Galakhova O.L., Pritchkin M.E. Chlorite from volcanogenic wallrocks of the SaFYanovka deposit. *XIII Vserossiiskie nauchnye chteniya pamyati V.O. Plyakova* [Proc. All-Russ. Sci. Lectures in Memory of V.O. Polyakov]. Miass, 2012, pp. 67–73. (In Russian)

Для цитирования: Сорочка Е.И., Галеев А.А., Петрова В.И., Носова Ф.Ф., Лютоево В.П., Леонова Л.В., Закиров Т.Р. Органическое вещество в породах Сафьяновского медно-колчеданного месторождения (Средний Урал) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 2. – С. 307–324. – doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.307-324

For citation: Soroka E.I., Galeev A.A., Petrova V.I., Nosova F.F., Lyutoev V.P., Leonova L.V., Zakirov T.R. Organic matter in the SaFYanovka copper massive sulfide deposit (Middle Urals). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 2, pp. 307–324. doi: 10.26907/2542-064X.2019.2.307-324. (In Russian)