ГЕОЛОГИЯ И УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СИРАТУРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

© А.В. Сначёв,

кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт геологии, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, эл. почта: SAVant@rambler.ru

В статье кратко рассмотрено геологическое строение Сиратурского рудного поля, расположенного на восточном склоне Южного Урала в зоне сочленения Башкирского мегантиклинория с Магнитогорским мегасинклинорием. Особое внимание уделено описанию широко развитых здесь углеродистых сланцев кураганской свиты. Углеродистые и углеродисто-хлорит-кварцевые сланцы имеют площадное распространение и образуют самостоятельные пачки и горизонты, переслаивающиеся с ортопородами, карбонатно-кремнистыми, слюдисто-кварцевыми и хлорит (гранат)-слюдисто-кварцевыми сланцами.

По результатам микроскопического изучения они имеют гранобластовую структуру и массивную, реже пятнистую текстуру. Породообразующим в них является кварц (до 90%), второстепенные минералы представлены кальцитом, слюдами и гранатом (до 15%). Сульфиды образуют тонко-, мелкозернистые агрегаты, развитые в виде субсогласных прожилков. Углеродистое вещество (до 2%), представлено прожилковидными и чешуйчатыми выделениями, а также тонкой пылевидной вкрапленностью в зернах кварца. Изотопный состав углерода δ13С к PDB укладывается в интервал (-24.84) – (-27.28), что указывает на его биогенную природу.

Углеродистые сланцы кураганской свиты претерпели метаморфизм в условиях высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации. Показано, что они относятся к низкоуглеродистому типу и попадают в поля терригенно-углеродистой и карбонатно-углеродистой формаций, что в совокупности с наличием карбонатов в разрезе говорит о формировании их в мелководной и прибрежно-мелководной области осадочного бассейна. Терригенный материал в процессе осадконакопления рассматриваемых отложений претерпел минимальный перенос, а его источником служили породы преимущественно основного и среднего состава, образованные предположительно в островодужной и коллизионной обстановках.

Ключевые слова: Сиратурское рудное поле, условия осадконакопления, углеродистые отложения, палеогеография

© A.V. Snachev

GEOLOGY AND ACCUMULATION CONDITIONS OF CARBONACEOUS SHALE OF THE SIRATUR ORE FIELD

Institute of Geology, Federal Ufa Research Centre, Institute of Geology, Federal Ufa Research Centre, Russian Academy of Sciences, 16/2, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation, e-mail: SAVant@rambler.ru The article considers briefly the geological structure of the Siratur ore field located on the eastern slope of the South Urals in the junction zone between the Bashkir Meganticlinorium and the Magnitogorsk Megasynclinorium. Particular attention is paid to the description of the carbonaceous shale developed widely in the Kuragan Formation. Carbonaceous and carbon-chlorite-quartz shales have the areal distribution and form independent units and horizons.

According to the results of microscopic analysis, they have a granoblastic structure and massive or less frequent spotty texture. Their predominant component is quartz (90%), while minor minerals are represented by calcite, micas and garnet (15%). Sulfides form fine-grained aggregates developed in the form of sub-concordant veinlets. Carbonaceous matter (2%) is represented by vein-like and flake-like segregations as well as fine dust-like inclusions in quartz grains. The δ 13C isotope ratio of PDB varies in the range from (-24.84) to (-27.28) indicating its biogenic nature.

The carbonaceous shales of the Kuragan Formation underwent metamorphism under the conditions of high-temperature subfacies of the greenschist facies. As is shown, they belong to the low carbon type and fall into the fields of carbonaceous terrigenous and carbonate rocks. Alongside the presence of carbonates in the section, this fact indicates their formation in the shallow and coastal areas of the sedimentary basin. The terrigenous material underwent minimum transfer in the process of sedimentation of the deposits in question, and its source was mainly basic and intermediate rocks formed presumably in island-arc and collisional environments.

Key words: Siratur ore field, sedimentation conditions, carbonaceous shale, paleogeography

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ. В ходе поисковых работ на коренное золото, проведенных сотрудниками ОАО «Башкиргеология», было установлено, что на территории Сиратурского рудного поля (рис. 1) наибольшее распространение имеют углеродистые, углеродисто-хлорит-кварцевые и хлорит-кварцевые сланцы, прорванные небольшими телами гранитного состава балбукского комплекса (γР₁b) [1].

С востока отложения кураганской свиты граничат с Нуралинским ультрамафитовым массивом. Непосредственно в зоне контакта

с серпентинитами в них наблюдается полоса тектонически и гидротермально проработанных пород шириной от 100 до 200 м. Здесь расположена серия золоторудных объектов золото-сульфидного штокверкового типа (Сиратурское, Фельдшерское, Кузьма-Демьяновское, Камышакское и др.), пространственно ассоциирующих с углеродистыми сланцами, что и определило повышенный интерес к изучению данных отложений [2].

Район работ расположен на восточном склоне Южного Урала в зоне сочленения Башкирского мегантиклинория с северным

16



Рис. 1. Схема геологического строения Нуралинского массива и его обрамления (составлена по материалам Б.Н. Аулова [1] с упрощениями автора)

Условные обозначения: 1 – вулканогенно-осадочные отложения Западно-Магнитогорской зоны, 2 – базальты поляковской свиты, 3 – углеродистые сланцы и метавулканиты кураганской свиты, 4 – песчаники и кварциты зильмердакской свиты, 5 – углеродистые сланцы зигазино-комаровской свиты, 6-8 – Нуралинский офиолитовый комплекс: 6 – перидотиты, 7 – габбро, 8 – серпентинитовый меланж. Пунктирной линией показан контур Сиратурской площади

замыканием Магнитогорской мегазоны. Геологическое строение территории сложное и дискуссионное, породы здесь интенсивно смяты и представляют серию тектонических пластин шириной первые километры, протягивающиеся на 30 километров в северо-восточном направлении (рис. 1).

Вулканогенно-осадочные отложения Сиратурского рудного поля сильно метаморфизованы и достаточно условно отнесены к кураганской свите (O₁₋₂kr). Впервые она была выделена А.В. Ждановым при проведении

ГДП-200 на соседней с юга Учалинской площади (N-40-XVIII). Ранее эти отложения относились к комплексам Уралтауского мегантиклинория, позже были переведены в зону Главного Уральского разлома [1].

Углеродистые и углеродисто-хлориткварцевые сланцы имеют площадное распространение и образуют самостоятельные пачки и горизонты, переслаивающиеся с ортопородами, карбонатно-кремнистыми, слюдисто-кварцевыми и хлорит (гранат)-слюдисто-кварцевыми сланцами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Описание шлифов пород кураганской свита проводилось на поляризационно-оптическом микроскопе AxioObserver с цифровой видеокамерой AxioCam HRc (1300×1030) в ЦКП «Спектр» (Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа). Термогравиметрический анализ выполнен на дериватографе Q-1500 (Венгрия) (аналитик Т.И. Черникова, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа). Нагрев осуществлялся на воздухе от 20 до 1000 °С со скоростью 10 °С/мин. Изотопный состав углерода изучался с использованием масс-спектрометра Delta V Advantage, сопряженного с элементным анализатором Flash ЕА в ЦКП «Геонаука» (аналитик И.В. Смолева, Институт геологии Коми НЦ Уро РАН, г. Сыктывкар). Точность определения изотопного состава углерода равна ±0.15‰. Силикатный анализ 80 проб выполнен в химической лаборатории Института геологии УФИЦ РАН (г. Уфа, аналитик С.А. Ягудина).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИС-СЛЕДОВАНИЯ. По результатам микроскопического изучения углеродистые сланцы кураганской свиты имеют преимущественно гранобластовую структуру и массивную, реже пятнистую текстуру. Породообразующим в них является кварц (до 90%), представленный разнозернистыми агрегатами, состоящими из зубчатых зерен, размером 0.03–2 мм. Мусковит и хлорит (до 15%) встречаются в виде тонких чешуек и сростков, расположенных субпараллельно и ориентированных по сланцеватости породы. Идиоморфные зерна граната (до 5%) размером от 0.1 до 0.4 мм содержат включения мелкозернистого кварца. Кальцит образует тонкозернистые агрегаты, состоящие преимущественно из идиоморфных кристаллов размером 0.01–0.04 мм (рис. 2).



Рис. 2. Микроскопическое строение карбонатноуглеродистых сланцев кураганской свиты

Образцы: а – СТ-33-102, б – СТ-33-53

Сульфиды, представленные главным образом пиритом и пирротином, составляют обычно 5% (реже до 10%) объема пород. Они образуют тонко-, мелкозернистые агрегаты, развитые в виде субсогласных сланцеватости и реликтовой слоистости тонких прожилков (рис. 3).



Рис. 3 Пирит-пирротиновая вкрапленная минерализация в углеродистых сланцах Сиратурского рудного поля

Примечание: образец СТ-58-87, а – в проходящем, б – отраженном свете

Углеродистое вещество преимущественно развито в виде крупных прожилковидных и чешуйчатых выделений (до 40%) между агрегатами кварца и кальцита, ориентированных параллельно полосчатости и рассланцеванию (рис. 3а), а также тонкой пылевидной вкрапленности в зернах кварца (до 5%).

Известно, что содержания Сорг в типичных черносланцевых отложениях составляют от 1% и более. В них выделяются три группы пород [3]: низкоуглеродистые – 1–3 %, углеродистые – 3–10 %, высокоуглеродистые – > 10 % Сорг. В углеродсодержащих отложениях Южного Урала отчетливо распознаются два типа углеродистого вещества: седиментационно-диагенетический, присущий недеформированным, слабометаморфизованным осадочным толщам и метаморфогенный, свойственный углеродистым отложениям, подвергнутым интенсивному метаморфизму [4].

Углеродистые породы представляют собой благоприятный объект для определения степени прогрессивного регионального метаморфизма. Это связано с тем, что углерод реагирует на метаморфические преобразования лишь изменением агрегатного и структурного состояния. Температура экзотермического эффекта, соответствующая началу выгорания графита, скачкообразно изменяется по мере усиления метаморфизма примерно на 100°С в породах каждой последующей фации и предполагается, что процесс графитизации необратим [5; 6].

Для анализа отбирались образцы наименее измененных углеродистых отложений за пределами зон интрузивных экзоконтактов и интенсивной тектонической переработки, что позволило исключить их влияние на породы и реконструировать степень именно регионального метаморфизма. Результаты анализа 44 образцов сланцев Сиратурской площади показывают, что среднее содержание Сорг в них составляет 2.0% (максимум 4%), это позволяет относить их к углеродистому типу. Практически во всех пробах отмечаются пики разложения сульфидов (450-480°С), а также следы хлорита и карбонатов. Максимальная температура экзотермического эффекта углерода укладывается в интервал

650-715°С (температура метаморфизма 550-620 °С), что соответствует высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации [5].

Изотопный состав углерода 613С по сравнению со стандартом PDB укладывается в интервал (-24.84) – (-27.28), что указывает на его биогенную природу. Положительная корреляция изотопного состава углерода к общему его содержанию в породе свидетельствует о специфичности условий накопления осадка, появлении сероводорода в его поровых водах, что приводит к возрастанию эффективности сохранения исходного органического вещества за счет осернения [7; 8].

Углеродистые отложения представляют собой весьма информативные породы для реконструкции палеогеографических и физико-химических условий их накопления. Невысокий уровень преобразования (зеленосланцевая фация регионального метаморфизма) пород кураганской свиты не мог внести изменения в их химический состав (таблица).

| N⁰ | N⁰ | SiO ₂ | TiO ₂ | Al_2O_3 | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P_2O_5 | ппп | Σ |
|-----|-----------|------------------|------------------|-----------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|----------|------|--------|
| П/П | образцов | - | - | | | | | | | - | - | | | |
| 1 | СТ-4-32 | 60.00 | 0.67 | 14.70 | 5.21 | | 0.12 | 5.60 | 3.97 | 4.10 | 0.60 | 0.46 | 4.54 | 99.97 |
| 2 | CT-4-50 | 62.00 | 0.69 | 14.10 | 5.90 | | 0.07 | 3.00 | 4.26 | 4.10 | 0.60 | 0.40 | 4.10 | 100.12 |
| 3 | CT-4-70 | 66.00 | 0.70 | 13.50 | 2.76 | 4.31 | 0.09 | 3.40 | 1.42 | 1.35 | 2.55 | 0.40 | 3.70 | 100.18 |
| 4 | CT-4-80 | 60.00 | 0.87 | 15.00 | 2.30 | 5.71 | 0.30 | 3.00 | 4.26 | 4.10 | 0.50 | 0.34 | 3.25 | 100.13 |
| 5 | CT-7-79 | 60.00 | 1.33 | 17.50 | 0.86 | 5.76 | 0.09 | 2.40 | 0.80 | 5.70 | 3.75 | 0.17 | 1.58 | 99.80 |
| 6 | CT-12-37 | 92.00 | 0.29 | 2.25 | 1.05 | 0.80 | 0.02 | 0.40 | 0.28 | 0.25 | 0.50 | 0.14 | 1.26 | 99.24 |
| 7 | CT-28-72 | 70.00 | 0.60 | 13.50 | 3.70 | | 0.12 | 2.20 | 1.40 | 1.00 | 3.75 | 0.22 | 3.10 | 99.55 |
| 8 | CT-29-56 | 69.00 | 0.60 | 12.00 | 5.00 | | 0.10 | 4.00 | 2.84 | 1.35 | 1.10 | 0.72 | 3.29 | 100.00 |
| 9 | CT-31-28 | 70.00 | 0.60 | 12.00 | 4.00 | | 0.09 | 2.20 | 1.40 | 1.00 | 3.75 | 0.51 | 4.36 | 99.91 |
| 10 | CT-31-33 | 70.00 | 0.60 | 13.00 | 4.00 | | 0.10 | 2.40 | 1.40 | 1.00 | 2.80 | 0.58 | 4.10 | 100.08 |
| 11 | CT-32-52 | 58.00 | 0.78 | 14.20 | 9.24 | | 0.13 | 4.00 | 4.26 | 2.50 | 2.30 | 0.46 | 3.96 | 99.74 |
| 12 | CT-33-33 | 80.00 | 0.46 | 6.00 | 1.60 | | 0.02 | 1.00 | 2.84 | 0.50 | 1.90 | 0.96 | 4.81 | 100.11 |
| 13 | CT-33-58 | 64.00 | 0.70 | 15.50 | 6.60 | | 0.11 | 2.00 | 2.80 | 2.70 | 1.95 | 0.30 | 3.32 | 99.98 |
| 14 | CT-33-77 | 59.00 | 1.16 | 16.50 | 1.50 | 5.90 | 0.12 | 4.00 | 4.20 | 2.70 | 1.25 | 0.34 | 3.56 | 100.23 |
| 15 | CT-33-82 | 59.00 | 1.45 | 15.50 | 7.90 | | 0.16 | 4.20 | 4.68 | 2.70 | 1.05 | 0.27 | 3.09 | 100.00 |
| 16 | CT-33-102 | 60.00 | 1.00 | 16.80 | 2.40 | 5.00 | 0.14 | 4.00 | 4.20 | 2.10 | 1.55 | 0.27 | 2.47 | 99.93 |
| 17 | CT-33-128 | 64.00 | 0.86 | 15.00 | 6.00 | | 0.06 | 2.60 | 2.80 | 4.00 | 1.00 | 0.35 | 3.25 | 99.82 |
| 18 | CT-33-136 | 63.50 | 0.58 | 15.50 | 2.20 | 4.00 | 0.09 | 2.60 | 2.60 | 4.00 | 1.20 | 0.27 | 3.57 | 100.07 |
| 19 | CT-33-160 | 71.00 | 0.75 | 10.50 | 4.00 | | 0.09 | 3.00 | 2.80 | 1.00 | 1.80 | 0.43 | 4.44 | 99.81 |
| 20 | СТ-33-178 | 71.00 | 0.75 | 10.00 | 4.30 | | 0.09 | 3.00 | 2.80 | 1.20 | 1.80 | 0.34 | 4.44 | 99.72 |
| 21 | CT-33-200 | 76.00 | 0.46 | 8.00 | 4.00 | | 0.05 | 1.80 | 1.70 | 0.40 | 1.25 | 0.47 | 5.39 | 99.52 |
| 22 | CT-33-208 | 60.00 | 0.87 | 16.60 | 5.60 | | 0.07 | 4.80 | 1.70 | 0.60 | 4.10 | 0.43 | 5.49 | 100.26 |
| 23 | СТ-33-246 | 64.00 | 0.69 | 14.00 | 6.10 | | 0.09 | 4.00 | 2.80 | 1.35 | 2.50 | 0.34 | 4.34 | 100.21 |
| 24 | CT-33-260 | 55.00 | 1.27 | 16.50 | 9.00 | | 0.12 | 4.00 | 2.80 | 2.70 | 2.00 | 0.34 | 6.07 | 99.81 |

ТАБЛИЦА – Химический состав (мас. %) углеродсодержащих отложений

| № п/п | № образцов | SiO ₂ | TiO ₂ | Al_2O_3 | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P_2O_5 | ппп | Σ |
|----------|---------------|------------------|------------------|-----------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|----------|------|--------|
| 25 | СТ-33-274 | 63.00 | 1.00 | 13.00 | 8.00 | | 0.11 | 4.00 | 3.40 | 1.90 | 1.25 | 0.43 | 4.50 | 100.51 |
| 26 | СТ-33-294 | 66.00 | 0.69 | 13.00 | 5.50 | | 0.08 | 4.00 | 2.80 | 1.35 | 3.80 | 0.34 | 3.23 | 100.79 |
| 27 | CT-37-40 | 66.00 | 0.75 | 14.00 | 6.00 | | 0.08 | 1.80 | 2.92 | 0.85 | 2.50 | 0.24 | 4.55 | 99.59 |
| 28 | CT-37-47 | 66.00 | 0.75 | 13.00 | 6.00 | | 0.13 | 3.00 | 3.20 | 1.05 | 2.50 | 0.50 | 3.87 | 100.50 |
| 29 | CT-37-77 | 61.00 | 0.67 | 16.00 | 5.80 | | 0.11 | 3.20 | 3.90 | 3.20 | 2.50 | 0.64 | 3.17 | 100.19 |
| 30 | CT-37-81 | 60.00 | 0.65 | 17.00 | 5.80 | | 0.09 | 5.00 | 2.80 | 1.10 | 2.57 | 1.07 | 4.40 | 100.51 |
| 31 | CT-37-99 | 58.00 | 0.80 | 16.50 | 1.00 | 6.25 | 0.13 | 3.00 | 5.10 | 4.00 | 1.25 | 0.64 | 3.00 | 99.67 |
| 32 | CT-38-15 | 67.00 | 0.80 | 15.60 | 7.60 | | 0.09 | 2.40 | 0.80 | 1.07 | 1.08 | 0.77 | 2.04 | 99.37 |
| 33 | CT-38-21 | 63.00 | 0.87 | 15.00 | 2.36 | 4.74 | 0.08 | 4.20 | 2.80 | 2.40 | 0.84 | 0.75 | 3.38 | 100.42 |
| 34 | CT-38-36 | 64.50 | 1.25 | 14.50 | 1.65 | 3.14 | 0.12 | 3.40 | 3.69 | 2.40 | 1.80 | 0.34 | 3.36 | 100.25 |
| 35 | CT-38-49 | 68.00 | 0.70 | 13.00 | 1.20 | 2.87 | 0.10 | 2.00 | 2.00 | 1.20 | 3.15 | 0.48 | 5.15 | 99.85 |
| 36 | CT-38-88 | 64.00 | 0.60 | 12.50 | 3.40 | 2.87 | 0.07 | 5.20 | 3.40 | 1.20 | 3.10 | 0.27 | 2.98 | 99.59 |
| 37 | CT-38-108 | 57.00 | 1.00 | 17.00 | 7.90 | | 0.13 | 4.00 | 4.20 | 3.00 | 1.80 | 0.27 | 3.05 | 99.35 |
| 38 | CT-38-118 | 66.00 | 0.67 | 14.00 | 1.65 | 5.00 | 0.10 | 3.40 | 2.27 | 3.14 | 1.25 | 0.27 | 2.16 | 99.90 |
| 39 | CT-38-121 | 64.00 | 0.65 | 14.00 | 2.20 | 4.88 | 0.10 | 4.00 | 2.80 | 3.00 | 1.25 | 0.24 | 2.98 | 100.10 |
| 40 | CT-38-140 | 70.00 | 0.55 | 12.00 | 1.00 | 3.59 | 0.06 | 3.00 | 2.27 | 2.20 | 2.00 | 0.24 | 2.86 | 99.76 |
| 41 | CT-48-37 | 63.00 | 0.65 | 12.00 | 5.57 | | 0.07 | 4.00 | 2.84 | 1.20 | 3.75 | 0.77 | 5.60 | 99.45 |
| 42 | CT-48-54 | 73.00 | 0.29 | 9.00 | 4.00 | | 0.09 | 2.40 | 2.28 | 1.20 | 2.50 | 0.73 | 4.35 | 99.84 |
| 43 | CT-48-75 | 71.00 | 0.29 | 10.00 | 6.20 | | 0.06 | 2.60 | 2.28 | 1.00 | 2.50 | 0.60 | 3.84 | 100.37 |
| 44 | CT-48-82 | 72.00 | 0.30 | 10.00 | 6.20 | | 0.08 | 2.40 | 2.28 | 1.35 | 1.25 | 0.30 | 3.74 | 99.90 |
| 45 | CT-48-95 | 71.00 | 0.30 | 10.50 | 6.20 | | 0.08 | 3.00 | 1.70 | 2.00 | 1.80 | 0.30 | 3.72 | 100.58 |
| 46 | CT-48-119 | 70.00 | 0.60 | 11.00 | 6.20 | | 0.08 | 3.00 | 2.00 | 1.80 | 1.60 | 0.37 | 3.82 | 100.47 |
| 47 | CT-48-135 | 70.00 | 0.60 | 11.00 | 6.20 | | 0.11 | 2.40 | 2.20 | 2.00 | 2.00 | 0.37 | 3.83 | 100.71 |
| 48 | CT-48-144 | 70.00 | 0.50 | 11.00 | 6.20 | | 0.12 | 2.40 | 2.20 | 2.00 | 1.25 | 0.30 | 3.89 | 99.86 |
| 49 | CT-49-71 | 64.00 | 0.62 | 12.00 | 7.30 | | 0.09 | 2.00 | 5.68 | 2.70 | 1.00 | 0.20 | 4.07 | 99.66 |
| 50 | CT-54-67 | 58.00 | 0.75 | 14.00 | 9.10 | | 0.10 | 2.40 | 3.50 | 2.50 | 1.50 | 0.35 | 7.53 | 99.73 |
| 51 | CT-54-80 | 58.00 | 0.75 | 14.00 | 8.60 | | 0.09 | 2.60 | 3.40 | 2.50 | 1.50 | 0.35 | 8.04 | 99.83 |
| 52 | CT-54-97 | 62.00 | 0.75 | 11.00 | 7.70 | | 0.10 | 3.60 | 3.40 | 1.70 | 1.50 | 0.24 | 7.97 | 99.96 |
| 53 | CT-54-100 | 60.00 | 0.75 | 14.30 | 7.70 | | 0.11 | 3.20 | 4.30 | 3.35 | 1.25 | 0.27 | 4.24 | 99.44 |
| 54 | CT-54-128 | 62.00 | 0.62 | 12.00 | 7.70 | | 0.11 | 4.00 | 5.60 | 1.70 | 2.00 | 0.20 | 3.86 | 99.89 |
| 55 | CT-54-134 | 64.00 | 0.75 | 12.00 | 7.70 | | 0.12 | 2.00 | 5.10 | 1.70 | 1.60 | 0.10 | 4.75 | 99.72 |
| 56 | CT-54-142 | 63.00 | 0.75 | 13.00 | 7.20 | | 0.10 | 2.60 | 4.20 | 1.70 | 2.70 | 0.27 | 4.24 | 99.86 |
| 57 | CT-54-164 | 60.00 | 0.85 | 15.00 | 9.20 | | 0.10 | 1.60 | 4.20 | 2.70 | 1.90 | 0.63 | 3.60 | 99.78 |
| 58 | CT-54-177 | 68.00 | 0.62 | 12.00 | 6.80 | | 0.09 | 2.80 | 3.40 | 1.35 | 2.59 | 0.31 | 3.14 | 100.50 |
| 59 | CT-54-188 | 58.00 | 0.70 | 14.00 | 9.90 | | 0.11 | 3.00 | 5.60 | 3.85 | 1.90 | 0.34 | 2.67 | 100.07 |
| 60 | CT-56-37 | 60.00 | 0.80 | 12.00 | 7.10 | | 0.10 | 3.60 | 3.46 | 1.35 | 1.80 | 0.37 | 9.94 | 100.46 |

| No | N⁰ | SiO ₂ | TiO ₂ | $A1_2O_3$ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P_2O_5 | ппп | Σ |
|-----|-----------|------------------|------------------|-----------|--------------------------------|-------|------|------|-------|-------------------|------------------|----------|-------|--------|
| п/п | образцов | | | 2 0 3 | | | | | | 2 1002 0 | 2.0 | - 205 | | |
| 61 | CT-56-65 | 53.00 | 0.80 | 14.50 | 7.10 | | 0.12 | 2.20 | 6.80 | 0.40 | 1.80 | 0.17 | 13.15 | 99.92 |
| 62 | CT-58-87 | 81.00 | 0.27 | 7.00 | 3.70 | | 0.02 | 0.80 | 0.20 | 0.22 | 2.00 | 0.03 | 4.08 | 99.35 |
| 63 | CT-51-53 | 72.00 | 0.15 | 10.00 | 6.00 | | 0.09 | 4.00 | 1.40 | 1.15 | 2.15 | 0.34 | 2.80 | 100.05 |
| 64 | CT-54-41 | 70.00 | 0.29 | 8.50 | 5.70 | | 0.09 | 2.80 | 3.40 | 1.35 | 1.25 | 0.60 | 4.78 | 99.26 |
| 65 | CT-33-53 | 62.00 | 0.58 | 17.00 | 2.60 | 3.59 | 0.13 | 2.00 | 3.40 | 5.40 | 1.00 | 0.27 | 2.27 | 100.24 |
| 66 | CT-33-64 | 59.00 | 0.87 | 15.00 | 1.50 | 5.76 | 0.12 | 4.00 | 4.26 | 4.05 | 1.25 | 0.20 | 3.69 | 99.70 |
| 67 | CT-33-110 | 47.00 | 2.00 | 14.80 | 15.00 | | 0.23 | 6.20 | 6.80 | 2.70 | 0.85 | 0.27 | 4.21 | 100.12 |
| 68 | CT-33-150 | 58.00 | 0.75 | 15.00 | 6.10 | | 0.10 | 2.80 | 3.90 | 4.00 | 1.25 | 0.27 | 7.80 | 99.97 |
| 69 | СТ-33-220 | 51.00 | 1.16 | 16.50 | 9.00 | | 0.18 | 4.00 | 7.10 | 4.10 | 1.00 | 0.20 | 6.02 | 100.26 |
| 70 | CT-33-240 | 54.50 | 1.16 | 15.50 | 6.10 | | 0.18 | 3.00 | 8.52 | 2.70 | 0.80 | 0.17 | 6.96 | 99.53 |
| 71 | CT-37-35 | 38.00 | 1.80 | 18.00 | 8.00 | 5.40 | 0.17 | 3.60 | 10.22 | 2.70 | 0.50 | 0.14 | 11.95 | 100.43 |
| 72 | CT-38-82 | 49.50 | 1.90 | 15.50 | 6.08 | 6.46 | 0.18 | 6.00 | 7.10 | 3.14 | 1.50 | 0.10 | 2.71 | 99.99 |
| 73 | CT-48-17 | 63.00 | 0.63 | 12.00 | 5.57 | | 0.12 | 3.40 | 6.53 | 2.30 | 1.80 | 0.26 | 4.53 | 100.40 |
| 74 | CT-54-28 | 59.00 | 0.85 | 15.00 | 8.50 | | 0.10 | 3.80 | 3.42 | 2.70 | 1.25 | 0.37 | 4.61 | 99.60 |
| 75 | CT-37-68 | 50.00 | 0.80 | 16.50 | 10.00 | | 0.17 | 6.60 | 6.28 | 2.80 | 3.25 | 0.63 | 3.40 | 99.98 |
| 76 | CT-4-64 | 49.00 | 0.71 | 16.70 | 3.30 | 6.46 | 0.16 | 3.40 | 7.10 | 4.10 | 0.88 | 0.27 | 7.26 | 99.34 |
| 77 | CT-7-98 | 49.00 | 1.30 | 16.00 | 3.40 | 7.54 | 0.18 | 8.00 | 7.70 | 1.10 | 2.55 | 0.27 | 3.6 | 100.68 |
| 78 | CT-16-44 | 45.50 | 2.00 | 15.10 | 2.80 | 10.27 | 0.23 | 6.40 | 8.52 | 2.10 | 0.20 | 0.30 | 7.00 | 100.35 |
| 79 | CT-48-186 | 49.00 | 1.68 | 15.50 | 13.60 | | 0.17 | 4.00 | 8.22 | 2.70 | 0.80 | 0.10 | 5.00 | 100.41 |
| 80 | CT-56-23 | 46.00 | 2.12 | 14.00 | 5.40 | 11.10 | 0.18 | 6.20 | 9.00 | 2.70 | 0.45 | 0.17 | 2.47 | 99.87 |

Примечание: 1-64 – углеродистые сланцы, 65-80 – карбонатно-углеродистые сланцы

Фигуративные их точки на диаграмме A–S–C [9] образуют непрерывный ряд по оси S от 200 до 1200 ед. и относятся преимущественно либо к карбонатно-углеродистой, либо терригенно-углеродистой формациям. Лишь несколько проб попадают в левую часть поля кремнисто-углеродистой формации (рис. 4).

Наиболее информативным является параметр S, связанный обратнопропорциональной зависимостью с долей терригенной примеси в осадках, которая в свою очередь служит основным индикатором удаленности участка седиментации от береговой линии водного бассейна. Углеродистые отложения кураганской свиты имеют значительную долю терригенной примеси в их составе. Обратная корреляция между значениями параметров С и S в них указывает на независимые источники карбоната и кремнезема.

Интерпретация состава рассматриваемых черных сланцев проводилась по стандартным петрохимическим параметрам (модулям), рассчитываемым по силикатным анализам [10]. Согласно гидролизатному модулю (ГМ = (TiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ + FeO + MnO) / SiO₂) они, как и большинство глинистых и вулканогенно-осадочные пород, относятся к типу сиаллитов и сиферлитов (ГМ = 0.3-0.4), а по значениям алюмокремниевого модуля (AM = Al₂O₃ / SiO₂) (среднее 0.25) – к нормоглиноземистым (глинистым) породам. Наиболее информативным является отношение гидролизатного и алюмокремние-



Рис. 4. Типизация углеродистых отложений кураганской свиты с помощью диаграммы О.В. Горбачёва, Н.А. Созинова [9]

Поля формаций: I – карбонатно-углеродистая, II – терригенно-углеродистая, III – кремнисто-углеродистая. Параметры: A = $(Al_2O_3 - (CaO + K_2O + Na_2O)) \times 1000$ и S = $(SiO_2 - (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + CaO + MgO)) \times 1000$ выражены в молекулярных количествах, параметр C = (CaO + MgO) - в массовых долях оксидов

вого модулей. Нарушение положительной корреляции, типичной для этих двух модулей, указывает на наличие чуждых примесей в породе (например, низкие AM при высоких значениях ГМ возникают при появлении в осадках железистого вулканогенного материала). Рассматриваемые нами образования характеризуются повышенными значениями модулей AM и ГМ, а также значительным отклонением от линии тренда AM / ГМ = 1 в сторону гидролизатного модуля, что свидетельствует о привносе в осадок преимущественно вулканогенного материала.

На классификационной диаграмме log(SiO₂/Al₂O₃) – log(Fe₂O₃общ/K₂O) [11] (рис. 5) в основу разделения песчаников на разные группы положен геохимический подход, отражающий соотношение в породах кварца, полевых шпатов и глинистых мине-



Рис. 5. Положение точек состава углеродистых сланцев Сиратурского рудного поля на классификационных диаграммах

Условные обозначения: 1 – углеродистые сланцы, 2 – карбонатно-углеродистые сланцы.

а – log(SiO₂/Al₂O₃) – log(Fe₂O₃общ/K₂O) [11]. Поля: I – Fe-сланцы, II – Fe-песчаники, III – Сланцы, IV – Вакки, V – Литарениты, VI - Сублитарениты, VII – Аркозы, VIII – Субаркозы, IX – Кварцевые арсениты.

б – SiO₂ – K₂O/Na₂O [12]. Поля обстановок осадконакопления: I – океаническая островная дуга, II – активная континентальная окраина, III – пассивная континентальная окраина.

в – F1-F2 [13], где: F1 = $30.638(TiO_2/AI_2O_3)$ –12.541 (Fe₂O₃o6щ/AI₂O₃) + 7.329(MgO/AI₂O₃) + 12.031(Na₂O/AI₂O₃) + 35.402(K₂O/AI₂O₃) – 6.382, F2 = 56.5 (TiO₂/AI₂O₃) – 10.879(Fe₂O₃o6щ/AI₂O₃) + 30.875(MgO/AI₂O₃) – 5.404(Na₂O/AI₂O₃) + 11.112(K₂O/AI₂O₃) – 3.89. Поля источников обломочного материала: I – богатые кварцем осадочные породы, II – магматические породы среднего состава, IV – магматические породы кислого состава. Параметры:

г – DF1-DF2 [14], где: DF1 = -0.263ln(TiO₂/SiO₂)adj + 0.604ln(Al₂O₃/SiO₂)adj - 1.725ln(Fe₂O₃общ/SiO₂)adj + 0.66ln(MnO/SiO₂)adj + 2.191ln(MgO/SiO₂)adj 0.144ln(CaO/SiO₂)adj - 1.304ln(Na₂O/SiO₂)adj + 0.054ln(K₂O/SiO₂)adj - 0.33ln(P₂O₅/SiO₂)adj + 1.588; DF2 = -1.196ln(TiO₂/SiO₂)adj + [1.064ln(Al₂O₃/SiO₂)adj + 0.303ln(Fe₂O₃общ/SiO₂)adj + 0.436ln(MnO/SiO₂)adj + 0.838ln(MgO/SiO₂)adj - 0.407ln(CaO/SiO₂)adj + 1.021ln(Na₂O/SiO₂)adj - 1.706ln(K₂O/SiO₂)adj] 0.126ln(P2O5/SiO2)adj – 1.068 Нижний индекс «adj» показывает, что расчет ведется по содержаниям оксидов, приведенным к 100 % сухого вещества. В то же время ранее было показано, что значения DF можно определять и без такого пересчета [15]. Поля обстановок осадконакопления: І – островодужные, ІІ – коллизионные, III - рифтогенные.

22

ралов, – чем дольше основные компоненты каркаса песчаников подвергаются переносу (либо многократному переотложению) и чем дальше от источника сноса они накапливаются, тем больше выражена в них тенденция к обогащению кварцем по сравнению с другими минералами. Для незрелых песчаников характерны низкие (<1.3) значения $\log(SiO_2/Al_2O_3)$, тогда как для зрелых (кварцевые арениты) – высокие (>1.7) $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ [15]. Подавляющее число фигуративных точек углеродистых сланцев кураганской свиты сосредоточено в поле сланцев и вакков, что свидетельствует о минимальном переносе осадочного материала (рис. 5 а).

Использование стандартных палеогеодинамических диаграмм для восстановления условий осадконакопления отложений иногда позволяет отнести их к той или иной обстановке. Так, на диаграмме $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ [12] видно, что углеродистые отложения попадают преимущественно в поле океанических островных дуг (рис. 5 б). В то же время, на диаграмме DF1 – DF2 C. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина [14] эти же породы образуют уже более компактный рой в переходной зоне от островодужной обстановки осадконапления к коллизионной (рис. 5 г).

По данным химического состава осадочных пород можно в определенной мере судить и о составе пород-источников обломочного материала для них. Для этого обычно используется ряд различных диаграмм, из них наиболее широко – диаграмма F1 – F2 [13] (рис. 5 в). Распределение фигуративных точек состава углеродистых сланцев Сиратурского рудного поля показывает, что источником терригенного материала были преимущественно породы основного и среднего состава.

ВЫВОДЫ. Таким образом, изучение углеродистых отложений Сиратурского рудного поля показало, что:

1. Черносланцевые образования кураганской свиты относятся к низкоуглеродистому типу и попадают в поля терригенно-углеродистой и карбонатно-углеродистой формаций. Наличие в разрезе стратифицированных прослоев карбонатно-кремнистых сланцев говорит о формировании рассматриваемых отложений в мелководной и прибрежно-мелководной области осадочного бассейна.

 Углеродистое вещество, представленное прожилковидными и чешуйчатыми выделениями, имеет биогенную природу и совместно с вмещающими их породами испытало метаморфизм в условиях высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации.

3. Терригенный материал в процессе осадконакопления претерпел минимальный перенос, а его источником служили породы преимущественно основного и среднего состава, образованные предположительно в островодужной и коллизионной обстановках.

ЛИТЕРАТУРА

- Аулов Б.Н., Владимирцева Ю.А., Гвоздик Н.И., Королькова З.Г., Левин Ф.Д., Липаева А.В., Поташова М.Н., Самозванцев В.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XII – Златоуст. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕ-ГЕИ, 2015. 365 с.
- Сначёв В.И., Сначёв А.В. Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Южный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2014. № 2. С. 79-87.

- 3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 271 с.
- Крупенин М.Т., Маслов А.В., Рыкус М.В., Сначев В.И. Новые данные о содержании Сорг в сланцах нижнего и среднего рифея Южного Урала // Ежегодник ИГиГ УНЦ РАН, Екатеринбург. 1993. С. 19–20.
- Блюман Б.А. Дьяконов Ю.С., Красавина Т.Н., Павлов М.Г. Использование термо- и рентгенографических характеристик графита для определения уровня и типа метаморфизма // Записки Всесоюзного Минералогического общества. 1974. Ч. 103. Вып. 1. С. 95–103.
- Buseck P.R., Beyssac O. From organic matter to graphite: Graphitization. Elements. 2014. V. 10. P. 421–426.

- Van Kaam-Peters H.M.E., Schouten S., Koster J., Sinninghe Damste J.S. Controls on the molecular and carbon isotopic composition of organic matter deposited in a Kimmeridgian euxinic shelf sea: Evidence for preservation of carbohydrates through sulfurisation // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998. V 62. P 3259–3284. DOI: 10.1016/S0016-7037(98)00231-2
- Бушнев Д.А., Смолева И.В. Изотопы углерода органического вещества позднеюрских горючих сланцев Волго-Печорской сланцевой провинции и механизмы его накопления // Доклады АН. 2011. Т. 441. № 2. С. 227–229.
- Горбачёв О.В., Созинов Н.А. Некоторые петрохимические и геохимические аспекты типизации углеродистых отложений докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука. 1985. С. 46–57.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Химическая классификация осадочных горных пород. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР. 1986. 34 с.
- 11. Herron, M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log

data // Journal of Sedimentary Petrology. 1988. V. 58. P. 820–829.

- Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO2 content and K2O/Na2O ratio // Journal of Geology. 1986. V. 94. P. 635–650.
- Roser, B.P., Korsch, R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // Chemical Geology, 1988. V. 67. P. 119– 139.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multidimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chemical Geology. 2013. V. 355. P. 117–133.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Котова Л.Н. Валовый химический состав песчаников и палеогеодинамические реконструкции // Литосфера. 2016. № 6. С. 33–55.

REFERENCES

- Aulov B.N., Vladimirtseva Yu.A., Gvozdik N.I., Korolkova Z.G., Levin F.D., Lipaeva A.V., Potashova M.N., Samozvantsev V.A. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:200 000] Second edition. South Ural series. Sheet N-40-XII - Zlatoust. Explanatory note. Moscow, MF VSEGEI, 2015. 365 p. (In Russian).
- Snachev V.I., Snachev A.V. Zakonomernosti razmeshcheniya zolotorudnykh proyavleniy v uglerodistykh otlozheniyakh Beloretskogo metamorficheskogo kompleksa (Yuzhnyy Ural) [Patterns of gold occurrences in the carbon deposits of the Beloretsk metamorphic complex (South Urals)]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Bulletin of the Voronezh State University. Ser. Geology, 2014, no. 2, pp. 79–87. (In Russian).
- 3. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Geokhimiya chernykh slantsev [Geochemistryof black shales]. Leningrad, Nauka, 1988. 271 p. (In Russian).
- 4. Krupenin M.T., Maslov A.V., Rykus M.V., Snachev V.I. Novye dannye o soderzhanii Sorg v slantsakh nizhnego i srednego rifeya Yuzhnogo Urala [New data on the content of Corg in the Lower

and Middle Riphean shales of the South Urals]. Ezhegodnik IGiG UNTs RAN – Yearbook of the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Research Centre, Russian Academy of Sciences. Ekaterinburg, 1993, pp. 19–20. (In Russian).

- Blyuman B.A. Dyakonov Yu.S., Krasavina T.N., Pavlov M.G. Ispolzovanie termo- i rentgenograficheskikh kharakteristik grafita dlya opredeleniya urovnya i tipa metamorfizma [Using the thermal and radiographic characteristics of graphite to determine the level and type of metamorphism]. Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo obshchestva – Proceedings of the All-Union Mineralogical Society, 1974, vol. 103, no. 1, pp. 95–103. (In Russian).
- Buseck P.R., Beyssac O. From organic matter to graphite: Graphitization. Elements, 2014, vol. 10, pp. 421–426.
- Van Kaam-Peters H.M.E., Schouten S., Koster J., Sinninghe Damste J.S. Controls on the molecular and carbon isotopic composition of organic matter deposited in a Kimmeridgian euxinic shelf sea: Evidence for preservation of carbohydrates through sulfurisation. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998, vol. 62, pp. 3259–3284. DOI: 10.1016/S0016-7037(98)00231-2.

24

- Bushnev D.A., Smoleva I.V. Izotopy ugleroda organicheskogo veshchestva pozdneyurskikh goryuchikh slantsev Volgo-Pechorskoy slantsevoy provintsii i mekhanizmy ego nakopleniya [Carbon isotopes of organic matter of the Late Jurassic combustible shale of the Volga-Pechora shale province and the mechanisms of its accumulation]. Doklady Earth Sciences, 2011, vol. 441, no. 2, pp. 227–229. (In Russian).
- Gorbachev O.V., Sozinov N.A. Nekotorye petrokhimicheskie i geokhimicheskie aspekty tipizatsii uglerodistykh otlozheniy dokembriya [Some petrochemical and geochemical aspects of the typization of Precambrian carbon deposits]. Problemy osadochnoy geologii dokembriya [Problems of of Precanbrian sedimentary geology]. Moscow, Nauka, 1985, pp. 46–57. (In Russian).
- 10. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Khimicheskaya klassifikatsiya osadochnykh gornykh porod [Chemical classification of sedimentary rocks]. Syktyvkar, Komi filial AN SSSR, 1986. 34 p. (In Russian).
- 11. Herron, M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data.

Journal of Sedimentary Petrology, 1988, vol. 58, p. 820-829.

- Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO2 content and K2O/Na2O ratio. Journal of Geology, 1986, vol. 94, pp. 635–650.
- Roser, B.P., Korsch, R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. Chemical Geology, 1988, vol. 67, pp. 119–139.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. Chemical Geology, 2013, vol. 355, pp. 117–133.
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Kotova L.N. Valovyy khimicheskiy sostav peschanikov i paleogeodinamicheskie rekonstruktsii [Gross chemical composition of sandstones and paleogeodynamic reconstructions]. Litosfera – Lithosphere, 2016, no. 6, pp. 33–55. (In Russian).

Автор благодарит сотрудников ОАО «Башкиргеология» Н.В. Осикова, В.А. Крылатова, Ф.Ф. Латыпова за предоставленную возможность описать и опробовать керн, а также аналитиков И.В. Смолеву, Т.И. Черникову, С.А. Ягудину за проведенные исследования.

Работа выполнена в рамках Государственного задания, темы № 0246-2019-0078.

УДК 551.435.88

DOI: 10.244111728-5283/-2019-10303

РАВНИННЫЙ КАРСТ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

© А.И. Смирнов,

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии, Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, эл. почта: smalil@mail.ru

Определены типы карста по характеру рельефа, составу карстующихся пород и условиям их залегания. В районе исследований развит равнинный карбонатный и сульфидный карст на складчато-глыбовой основе Зауралья. Охарактеризованы пространственные закономерности распространения карстовых форм и активность их развития. Установлено, что в Башкирском Зауралье доминирует карбонатный карст, сульфидный карст имеет подчиненное значение и развит локально. Наибольшее распространение карбонатный карст получил на Кизило-Уртазымской равнине в известняках кизильской свиты нижнего карбона, наименьшее – на Сакмаро-Таналыкской равнине, где он связан с карбонатными прослоями зилаирской свиты верхнедевонского-нижнекаменноугольного возраста. Наибольшая закарстованнсть приурочена к тектоническим нарушениям и литологическим контактам, то есть к зонам, где целостность карстующегося массива нарушена, которая выступает определяю-

..... ВЕСТНИК АКАДЕМИИ НАУК РБ