

© 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 Megasyntinorium. 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 $\delta^{13}\text{C}$ 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 sub-facies 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 ($\gamma\text{P}_1\text{b}$) [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

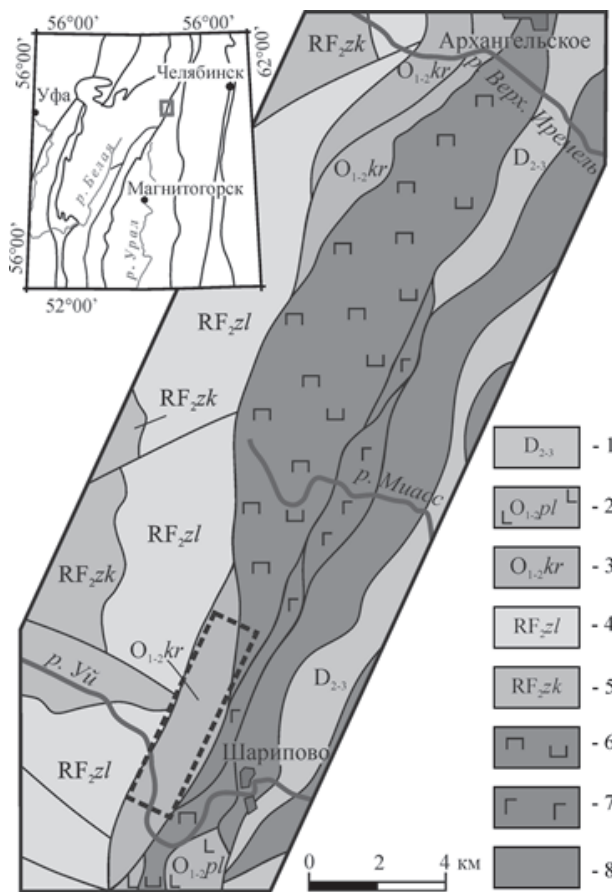


Рис. 1. Схема геологического строения Нуралинского массива и его обрамления (составлена по материалам Б.Н. Аулова [1] с упрощениями автора)

Условные обозначения: 1 – вулканогенно-осадочные отложения Западно-Магнитогорской зоны, 2 – базальты поляковской свиты, 3 – углеродистые сланцы и метавулканиды 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 ($O_{1-2}kr$). 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-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.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Описание шлифов пород кураганской свиты 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 °C со скоростью 10 °C/мин. Изотопный состав углерода изучался с использованием масс-спектрометра Delta V Advantage, сопряженного с элементным анализатором Flash EA 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 ИССЛЕДОВАНИЯ. 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%) разме-

ром 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).

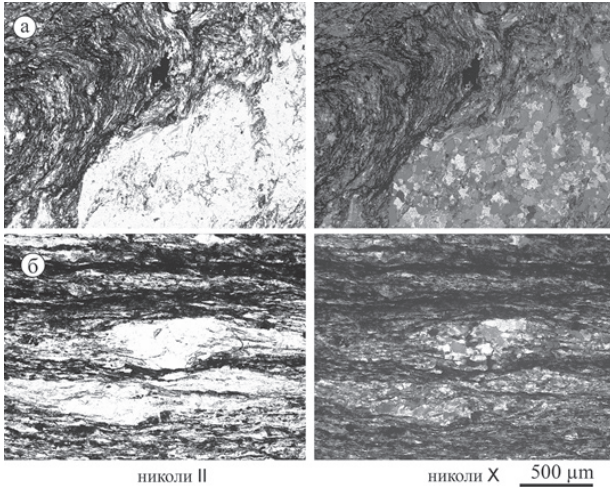


Рис. 2. Микроскопическое строение карбонатно-углеродистых сланцев кураганской свиты

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 субогласных сланцеватости и реликтовой слоистости тонких прожилков (рис. 3).

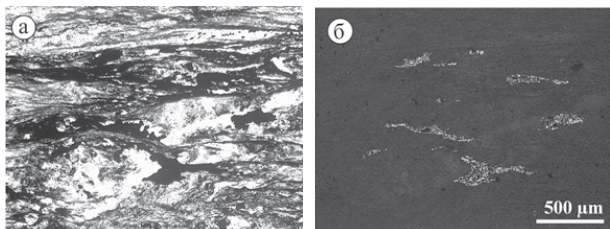


Рис. 3 Пирит-пирротиновая вкрапленная минерализация в углеродистых сланцах Сиратурского рудного поля

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 рассланце-

ванию (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, присутствующий 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°C 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°C), а также следы хлорита и карбонатов. Максимальная температура экзотермического эффекта углерода укладывается в интервал

№ п/п	№ образцов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O 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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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	СТ-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

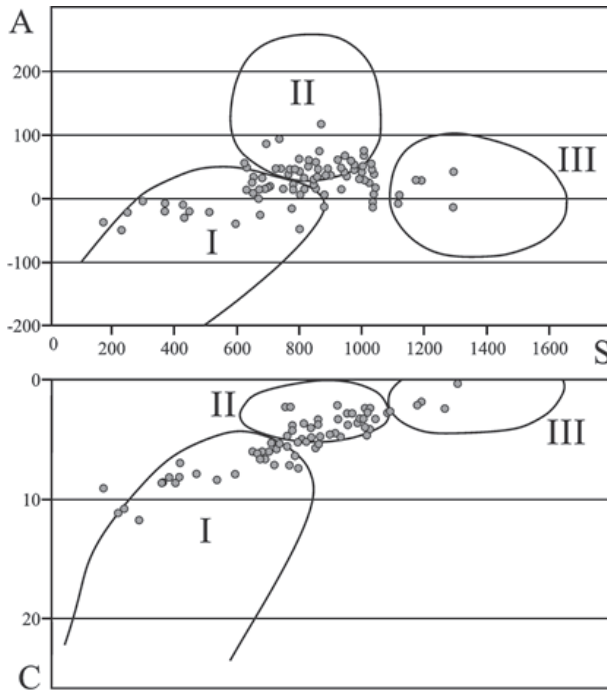


Рис. 4. Типизация углеродистых отложений кураганской свиты с помощью диаграммы О.В. Горбачёва, Н.А. Созинова [9]

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 АМ при высоких значениях ГМ возникают при появлении в осадках железистого вулканогенного материала). Рассматриваемые нами образования характеризуются повышенными значениями модулей АМ и ГМ, а также значительным отклонением от линии тренда $AM / GM = 1$ в сторону гидролизатного модуля, что свидетельствует о привносе в осадок преимущественно вулканогенного материала.

На классификационной диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Fe_2O_3_{общ}/K_2O)$ [11] (рис. 5) в основу разделения песчаников на разные группы положен геохимический подход, отражающий соотношение в породах кварца, полевых шпатов и глинистых мине-

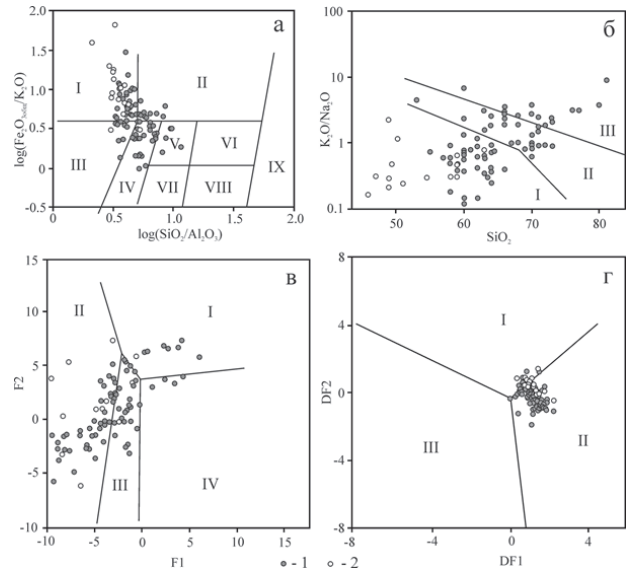


Рис. 5. Положение точек состава углеродистых сланцев Сиратурского рудного поля на классификационных диаграммах

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

а – $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Fe_2O_3_{общ}/K_2O)$ [11]. Поля: I – Fe-сланцы, II – Fe-песчаники, III – Сланцы, IV – Вакки, V – Литарениты, VI – Сублитарениты, VII – Аркозы, VIII – Субаркозы, IX – Кварцевые арсениты.

б – $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ [12]. Поля обстановок осадконакопления: I – океаническая островная дуга, II – активная континентальная окраина, III – пассивная континентальная окраина.

в – F1-F2 [13], где: $F1 = 30.638(TiO_2/Al_2O_3) - 12.541(Fe_2O_3_{общ}/Al_2O_3) + 7.329(MgO/Al_2O_3) + 12.031(Na_2O/Al_2O_3) + 35.402(K_2O/Al_2O_3) - 6.382$, $F2 = 56.5(TiO_2/Al_2O_3) - 10.879(Fe_2O_3_{общ}/Al_2O_3) + 30.875(MgO/Al_2O_3) - 5.404(Na_2O/Al_2O_3) + 11.112(K_2O/Al_2O_3) - 3.89$. Поля источников обломочного материала: I – богатые кварцем осадочные породы, II – магматические породы основного состава, III – магматические породы среднего состава, IV – магматические породы кислого состава.

Параметры: г – DF1-DF2 [14], где: $DF1 = -0.263\ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} + 0.604\ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} - 1.725\ln(Fe_2O_3_{общ}/SiO_2)_{adj} + 0.66\ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 2.191\ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.144\ln(CaO/SiO_2)_{adj} - 1.304\ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} + 0.054\ln(K_2O/SiO_2)_{adj} - 0.33\ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} + 1.588$; $DF2 = -1.196\ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} + [1.064\ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 0.303\ln(Fe_2O_3_{общ}/SiO_2)_{adj} + 0.436\ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 0.838\ln(MgO/SiO_2)_{adj} - 0.407\ln(CaO/SiO_2)_{adj} + 1.021\ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} - 1.706\ln(K_2O/SiO_2)_{adj}] - 0.126\ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} - 1.068$. 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: I – островодужные, II – коллизионные, III – рифтогенные.

