

УДК 553.41

А.В. Сначёв¹, Ф.Ф. Латыпов², В.И. Сначёв³, М.А. Рассомахин⁴,
Д.Г. Кошчуг⁵, С.В. Вяткин⁶

СИРАТУРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЗОЛОТА В УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОФИОЛИТОВОЙ АССОЦИАЦИИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

ФГБУН Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
450077, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2
ОАО «Башкиргеология», 450059, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Крайняя, 2
Институт минералогии Южно-Уральского ФНЦ МиГ УрО РАН,
456317, Челябинская область, Миасс, Ильменский заповедник
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

*Institute of Geology Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences;
450077, Ufa, Karl Marx st., 16/2*

Open Joint Stock Company «Bashkirgeologiya»; 450059, Ufa, Kraynyaya st., 2

*Institute of Mineralogy — a division of the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geo-ecology
of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences; 456317, Miass, Ilmenskiy Zapovednik*

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Сиратурское золоторудное месторождение расположено в северной части южноуральского сегмента Главного Уральского разлома. Его рудная зона приурочена к области тектонического сочленения серпентинитов Нуралинского массива и субмеридиональной полосы углеродистых сланцев ордовикской поляковской свиты. В ее составе широко представлены базальты с петрогеохимическими характеристиками основных эффузивов срединно-океанических хребтов.

В черносланцевых отложениях Сиратурского месторождения золоторудная минерализация представлена преимущественно золото-сульфидным прожилково-вкрапленным типом, а в лиственит-березитовом комплексе — золото-кварц-малосульфидным жильно-прожилковым. Микронзондовые исследования золотин показали, что золото в рудах первого типа имеет пробность 670–820, а второго — 940–970. Месторождение можно отнести к полигенному и полихронному типу.

Ключевые слова: Сиратурское месторождение, золото, офиолитовая ассоциация, углеродистые сланцы, базальты, петрогеохимия, лиственит-березитовый комплекс, рудное тело, пирит.

The Siratur gold deposit is located in the northern part of the South Ural segment of the Main Ural Fault. Its ore zone is confined to the area of the tectonic junction of the serpentinite of the Nurali massif and the submeridional strip of carbonaceous schists of the Ordovician Polyakovka Formation. Its composition is widely represented basalts with chemical characteristics of the main effusive rocks of the mid-ocean ridges.

In the black shale deposits of the Siratur deposit, gold ore mineralization is mainly represented by the gold-sulfide vein-disseminated type, and in the listwanite-beresite complex, gold-quartz-low-sulfide vein-streaked type. Microprobe studies of zolotins showed that gold in ores of the first type has a low-quality of 670–820, and in the second — 940–970. The deposit can be attributed to the polygenic and polychronous type.

Key words: Siratur gold deposit, gold, ophiolite association, carbonaceous schists, basalts, petrogeochemistry, listwanite-beresite complex, ore body, pyrite.

Введение. В последние годы в пределах Южного Урала в углеродистых отложениях открыта серия золоторудных месторождений и проявлений (Отнурок, Осиповское, Амурское, Светлинское, Увельское, Тетечное, Каменское, Черноозерское, Сиратурское) [Рыкус и др., 2009; Сначёв и др.,

2010], среди которых лишь Сиратурское залегает в черных сланцах, пространственно ассоциирующих с гипербазитами и габбро меланократового основания, а также с продуктами вулканизма океанического типа, представляющими собой единую раннепалеозойскую офиолитовую ассоциацию. Из

¹ Институт геологии Уфимского ФИЦ РАН, вед. науч. с., заведующий лабораторией, канд. геол.-минер. н.; e-mail: SAVant@rambler.ru

² Открытое акционерное общество «Башкиргеология», начальник отряда; e-mail: fan908@yandex.ru

³ Институт геологии Уфимского ФИЦ РАН, гл. науч. с., докт. геол.-минер. н.; e-mail: SAVant@inbox.ru

⁴ Институт минералогии Южно-Уральского ФНЦ МиГ УрО РАН, мл. науч. с.; e-mail: Miha_Rassomahin@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, докт. геол.-минер. н., профессор; e-mail: koshchug@geol.msu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, науч. с.; e-mail: vyt_box@mail.ru

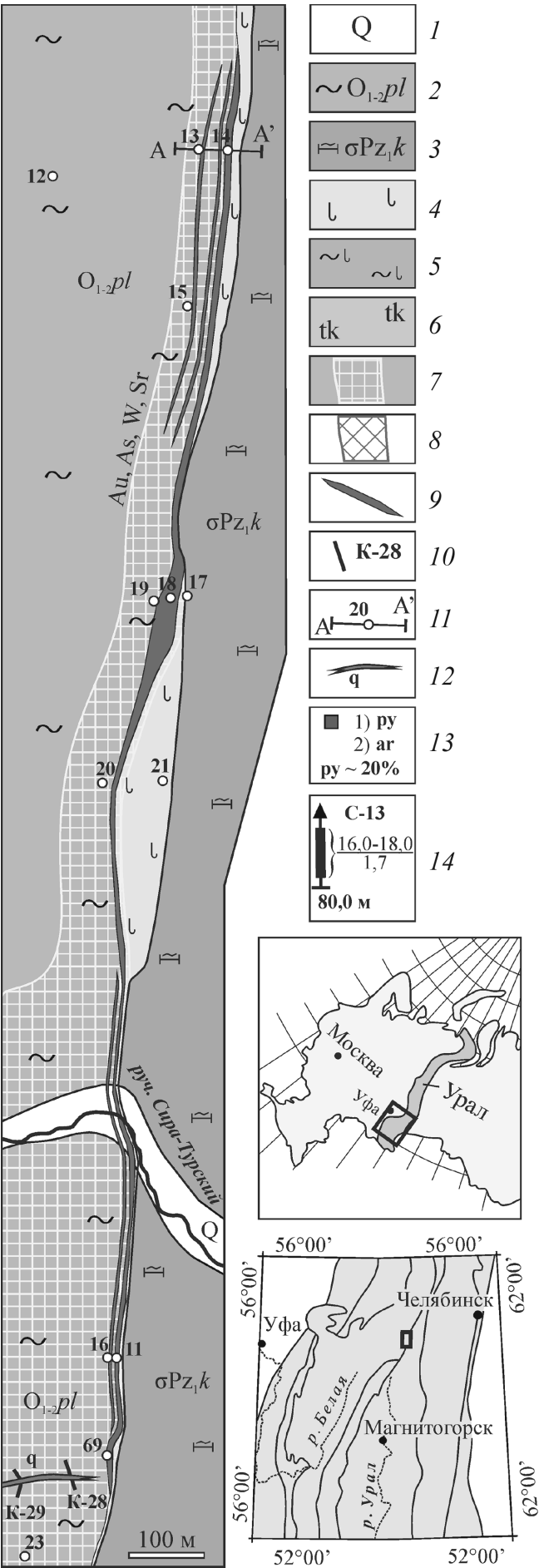
перечисленных объектов именно оно и Светлинское оказались наиболее интересны с научной и практической точек зрения.

Геологическое строение. Сиратурское рудное поле находится в северной части южноуральского сегмента Главного Уральского разлома (рис. 1). В его пределах известны три коренных золоторудных месторождения (Сиратурское, Кузьма-Демьяновское и Камышакское) и несколько проявлений (Барсучий Лог, Бугор, Голенькие Горки, Раздольное). Все они приурочены к крайней восточной части субмеридиональной полосы углеродистых, углеродисто-хлорит-кварцевых и хлорит-кварцевых сланцев поляковской свиты, надежно датированной ордовиком по находкам конодонтов [Маслов, Артющкова, 2000], а также к зоне ее тектонического сочленения с серпентинитами и гипербазитами Нуралинского массива, возраст которого по последним данным составляет 450 ± 4 млн лет [Краснобаев и др., 2018]. Севернее Сиратурского месторождения (Кузьма-Демьяновский участок) широко развиты малые тела гранитоидов балбукского комплекса (C_2b), Rb–Sr датирование которых показало возраст 311 ± 9 млн лет [Салихов и др., 2013].

Геологоразведочные, геохимические, минералогические и петрологические исследования, выполненные авторами на рассматриваемой территории в 2009–2018 гг., позволили установить, что в черносланцевых отложениях золоторудная минерализация представлена преимущественно золото-сульфидным прожилково-вкрапленным типом, а в листовит-березитовом комплексе — золото-кварц-малосульфидным жильно-прожилковым.

Собственно Сиратурское месторождение включает Фельдшерский (на севере), Центрально-Сиратурский (в центре) и Южно-Сиратурский (на юге) золоторудные участки и протягивается на 3,7 км при ширине от 100 до 400 м (рис. 1). В ее пределах установлено 4 рудных тела, первое из которых (восточное) — главное (рис. 2), оно

Рис. 1. Геологическая карта и положение (внизу справа) Сиратурского золоторудного месторождения: 1 — четвертичная система (аллювиальные отложения); 2 — ордовикская система, поляковская (кураганская) свита (серицит-хлорит-кварцевые, углеродисто-хлорит-кварцевые сланцы); 3 — кемпирсайско-войкарский габбро-гипербазитовый комплекс (Нуралинский массив); 4 — листовиты по углеродистым сланцам и гипербазитам; 5 — метасоматиты по листовитам и хлорит-углеродисто-кварцевым сланцам; 6 — тальк-карбонатные породы; 7 — зона тектонической переработки углеродистых сланцев с интенсивной сульфидизацией, к которой приурочена комплексная геохимическая аномалия Au, As, W, Sr; рудное тело: 8 — на разрезе, 9 — на плане; 10 — каналы, 11 — положение скважин и их номера на плане и в разрезе, 12 — кварцевые жилы и прожилки, 13 — сульфидная минерализация и ее процентное соотношение к общей массе породы (1 — пирит; 2 — арсенопирит игольчатый); 14 — скважины на разрезе, их глубина, номер и результаты опробования (над чертой — интервал, м; под чертой — среднее содержание Au, г/т)



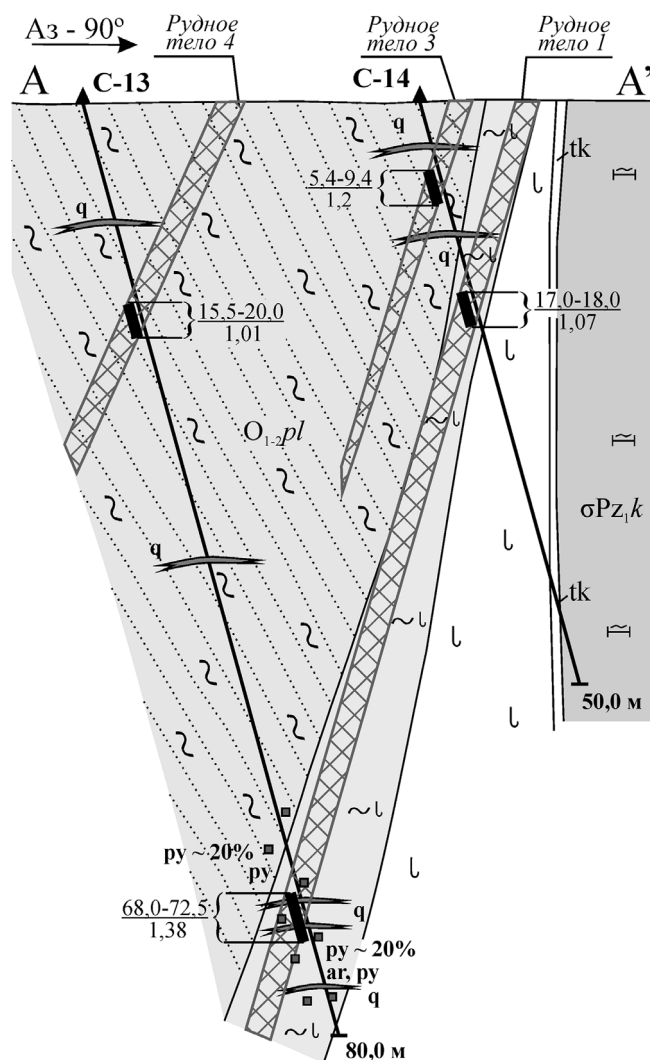


Рис. 2. Разрез по линии А—А'. Положение разреза и условные обозначения см. на рис. 1

прослежено на расстоянии 2,1 км, его средние параметры: мощность 3,0 м, содержание золота 2,12 г/т. Это рудное тело приурочено к лежащему контакту черносланцевой толщи с лиственитами и имеет крутое (85°) западное падение. Сульфидная минерализация в породах рудной зоны занимает до 10% и представлена пиритом, халькопиритом и арсенопиритом. В углеродистых сланцах кроме них отмечены пирротин и сфалерит. Три других рудных тела расположены среди черных сланцев параллельно первому, по простиранию и падению они не оконтурены. В пределах рудной зоны отчетливо выражена закономерность — наиболее высокое содержание золота фиксируется на участках с прожилково-жильным («сетчатым») окварцеванием и высокой степенью сульфидизации, особенно в зоне развития пород кварц-альбитового состава. При этом кварц-сульфидная минерализация сопровождается ореолами повышенной концентрации As, W, Mo, Ag, Sr и Sc.

Кроме перечисленных выше рудных тел в крайней южной части Сиратурского месторождения отмечена и так называемая Широкая жила,

расположенная под углом 75° к ним (рис. 1) и прослеженная в западном направлении в скв. 69 и в трех канавах (к-28, к-29 и к-30). Она приурочена к зоне трещиноватости, оперяющей Главный Уральский разлом. Руды ограничены зоной дробления углеродистых сланцев и представлены кварц-малосульфидным жильно-прожилковым типом. Распределение золота в них неравномерное. На участках, густо пронизанных кварцевыми жилами, его содержание достигает 25 г/т.

Материалы и методы исследований. Микрозондовый анализ золотин Сиратурского рудного поля выполнен на растровом электронном микроскопе «Tescan Vega 3sbu» с энерго-дисперсионным спектрометром «Oxford Instruments X-act» (ускоряющее напряжение 20 кВ, ИМин ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, аналитик М.А. Рассомахин). Термогравиметрический анализ проведен на дериватографе Q-1500 (Венгрия) (аналитик Т.И. Черникова, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа). Нагрев осуществлялся на воздухе при температуре от 20 до 1000 °С со скоростью 10 °С/мин. Изотопный состав углерода изучали 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 углеродистых пород и 36 проб базальтов, а также атомно-абсорбционный анализ 27 проб черных сланцев и 39 проб кварца на Au и Ag выполнены в химической лаборатории Института геологии УФИЦ РАН (г. Уфа, аналитики С.А. Ягудина и Н.Г. Христофорова). Содержание редкоземельных элементов в основных эффузивах изучено нейтронно-активационным методом в ЦЛАВ ГЕОХИ (г. Москва, аналитик Д.Ю. Сапожников). Измерение концентрации Al-, Ti- и Ge-центров проводилось после γ-облучения образцов (источник ⁶⁰Co) дозой 10⁵ Гр для Al-центров, дозой 2·10⁴ Гр для Ti-центров, дозой 2·10³ Гр для Ge-центров. Al-центры регистрировали в форме [AlO₄⁻/h⁺]⁰, Ti-центры — в формах [TiO₄⁻/Li⁺]⁰, [TiO₄⁻/H⁺]⁰ и (редко) [TiO₄⁻/Na⁺]⁰, Ge-центры — в форме [GeO₄⁻/Li⁺]⁰. Регистрация спектров Al и Ti парамагнитных центров осуществлялась на ЭПР спектрометре СМС-8400 в X-диапазоне (~9,4 ГГц) при амплитуде модуляции 0,1 мТл, частоте модуляции 100 кГц и мощности СВЧ излучения 10 мВт при температуре жидкого азота (77 °К) с использованием кварцевого криостата. Спектр Ge парамагнитных центров измеряли при мощности СВЧ излучения 50 мВт при комнатной температуре (аналитик С.В. Вяткин, кафедра минералогии МГУ имени Ломоносова). Концентрация парамагнитных центров рассчитана с использованием эталонных образцов по интенсивности аналитических линий. В качестве

аналитических линий использовались высокополевые линии сверхтонкой структуры с $g_{\text{эфф}}=1,993$ для Al-центра, с $g_{\text{эфф}}=1,913$ для Ti-центра и с $g_{\text{эфф}}=1,997$ для Ge-центра.

Результаты исследований и их обсуждение.

Известно, что черносланцевые отложения представляют собой благоприятный объект для их типизации [Парада, 2002], определения степени регионального метаморфизма [Блюман и др., 1974], реконструкции палеогеографических условий накопления осадков [Юдович, Кетрис, 2015]. Результаты термогравиметрического анализа 44 образцов сланцев Сиратурской площади показывают [Сначёв, 2019], что среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в них составляет 0,8–3,5% (низкоуглеродистый тип по классификации Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2015]), а максимальная температура экзотермического эффекта углерода укладывается в интервал 650–715 °С (температура метаморфизма 550–620 °С) и соответствует эпидот-амфиболитовой фации [Блюман и др., 1974]. Изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$ в черных сланцах, сопоставленный со стандартом PDB, находится в пределах (–24,84)–(–27,28) [Сначёв, 2019], что указывает на его биогенную природу [Бушнев, Смолева, 2011].

Фигуративные точки 80 проб углеродистых пород на диаграмме А–S–С [Горбачев, Созинов, 1985] образуют непрерывный ряд по оси S от 200 до 1200 ед. (более 85% точек находится в интервале 650–1000 ед.) и относятся, как правило, либо к карбонатно-углеродистой, либо к терригенно-углеродистой формациям (рис. 3). В соответствии с параметром S, связанным обратно пропорциональной зависимостью с долей терригенной примеси в осадках, рассматриваемые углеродистые отложения имеют значительную долю терригенной примеси и накапливались, по-видимому, вблизи размываемого источника. По данным атомно-абсорбционного анализа они первоначально содержали 0,045–0,055 г/т золота, что соответствует границе между сильной и рудогенной аномалиями [Юдович, Кетрис, 2015].

Примечательно, что черносланцевые отложения Сиратурского месторождения, вмещающие для 2, 3 и 4 рудных тел и золото-сульфидного оруденения первого типа, содержат (%) Na_2O 1,84; K_2O 1,95 (средние значения по 21 пробе) и относятся, согласно классификации, предложенной С.Г. Парадой [Парада, 2002], к нормальнокалиевому литохимическому типу ($\text{Na}_2\text{O} = 1,74\%$, $\text{K}_2\text{O} = 3,39\%$). Жильно-прожилковое кварц-малосульфидное оруденение, развитое преимущественно в первом (главном) рудном теле и Широкой жиле, залегает в терригенно-углеродистых породах, заметно обогащенных Na_2O ($\text{Na}_2\text{O} = 3,27\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1,30\%$, средние значения по 59 пробам) и принадлежащих к более позднему по времени аномальнонатриево-му типу ($\text{Na}_2\text{O} = 3,31\%$, $\text{K}_2\text{O} = 3,30\%$).

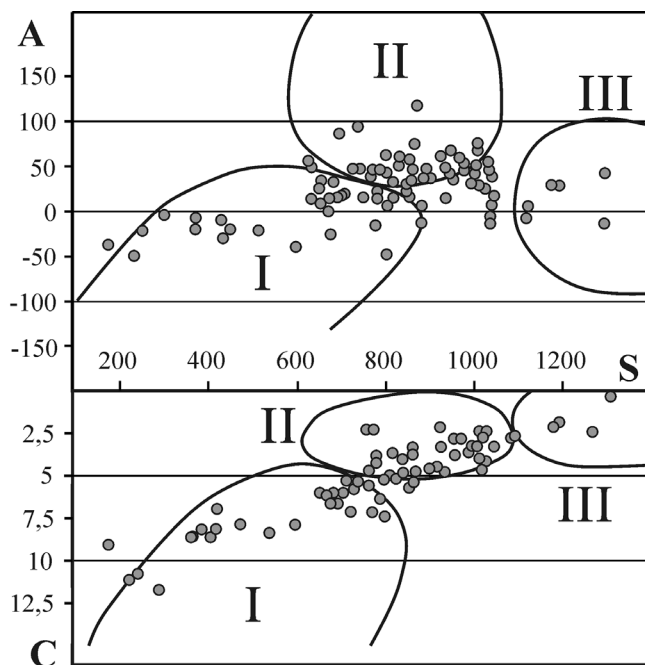


Рис. 3. Типизация углеродистых отложений поляковской свиты с помощью диаграммы О.В. Горбачева, Н.А. Созинова [1985]. Поля формаций: I — карбонатно-углеродистая, II — терригенно-углеродистая, III — кремнисто-углеродистая. Параметры $A = (\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})) \cdot 1000$ и $S = (\text{SiO}_2 - (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{CaO} + \text{MgO})) \cdot 1000$ выражены в молекулярных количествах, параметр $C = (\text{CaO} + \text{MgO})$ — в массовых долях оксидов

С целью реконструкции геодинамической обстановки формирования ордовикских основных эффузивов поляковской свиты нами изучен химический состав 36 проб, 12 из которых принадлежат метабазальтам Сиратурского рудного поля, а 24 пробы — ее стратотипическому разрезу, обнаженному вблизи д. Поляковка и расположенному в 9 км юго-восточнее месторождения [Сначёв и др., 2019].

Анализ диаграмм $\text{TiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (рис. 4) и $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ показал, что субщелочные высокотитанистые базальты западного фланга (низы стратотипического разреза) поляковской свиты, а также сиратурские образуют компактную область в пределах поля эпиплатформенных континентальных рифтов [Савельев и др., 2009]. Содержание редкоземельных элементов в них (г/т) по данным нейтронно-активационного анализа ($\text{La} = 18,2 \div 27,3$; $\text{Ce} = 40,3 \div 51,3$; $\text{Sm} = 4,2 \div 5,4$; $\text{Yb} = 1,1 \div 2,2$; $\text{Lu} = 0,3 \div 0,5$) отвечает геодинамическим обстановкам континентальных рифтовых зон [Геодинамические..., 1989]. Несмотря на эти данные, основанием черносланцево-базальтовых толщ служат базит-гипербазитовые комплексы, что может говорить об их образовании при рифтогенном разрыве континентальной коры и переходе от рифтогенеза к спредингу. Действительно, низкотитанистые толеитовые основные эффузивы, развитые в пределах восточного фланга (центральная и верхняя части разреза) в районе

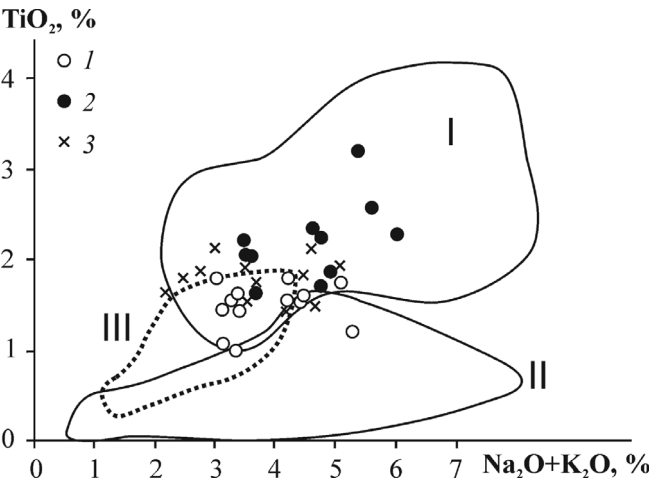


Рис. 4. Диаграмма $\text{TiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для базальтов Сиратурского рудного поля: 1–2 — базальты района д. Поляковка: 1 — низкотитанистые, 2 — высокотитанистые; 3 — базальты Сиратурского месторождения. Поля составов базальтов: I — эпиплатформенных континентальных рифтов, II — островных дуг, III — срединно-океанических хребтов. Поля составов базальтов — по [Савельев и др., 2009]

д. Поляковка, расположены в области срединно-океанических хребтов. Подтверждение тому находим и при рассмотрении содержания в них РЗЭ ($\text{La} = 2,2 \div 3,3$; $\text{Ce} = 6,3 \div 9,7$; $\text{Sm} = 2,1 \div 2,9$; $\text{Yb} = 2,3 \div 2,4$; $\text{Lu} = 0,5 \div 0,7$).

Обратимся к результатам изучения структурных парамагнитных Al, Ti и Ge примесных центров в кварце золото-сульфидных прожилково-вкрапленных (первый тип) и золото-кварц-малосульфидных жильно-прожилковых (второй тип) руд. Из данных табл. 1 хорошо видно, что содержание Al довольно низкое, что характерно для плутоногенных золоторудных объектов [Прудникова и др., 2017]. Концентрация Al-центров в кварце руд второго типа составляет от 8,8 до

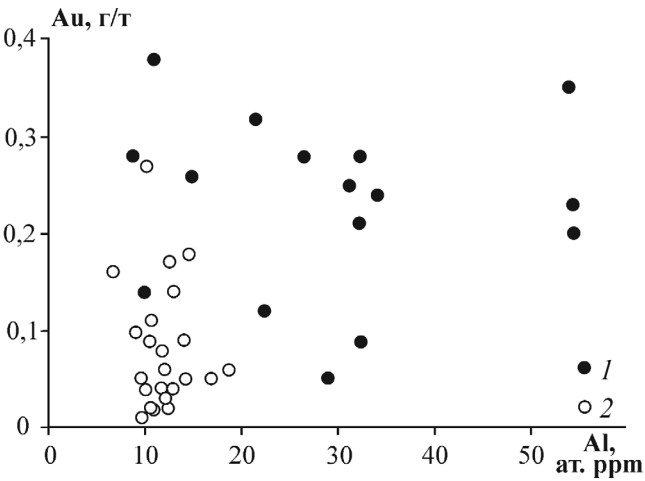


Рис. 5. Содержание Al-центров (ат. ppm) и Au (г/т) в кварце разных типов руд: 1 — золото-кварц-малосульфидный тип, 2 — золото-сульфидный тип

54,4 ат. ppm (в среднем 29,3 ат. ppm), а в кварце первого типа — она заметно меньше — от 6,7 до 18,7 ат. ppm (в среднем 12,0 ат. ppm). Примечательно, что содержание Au и Ag в кварце всех 39 выше указанных проб имеет довольно отчетливую связь с примесью Al (рис. 5). Так, в кварце золото-кварц-малосульфидных руд содержание Au и Ag составляет в среднем 0,23 и 0,12 г/т соответственно (по 16 пробам), а для золото-сульфидных руд — 0,08 и 0,08 г/т (по 23 пробам), что в 2,9 и в 1,5 раза меньше. Кроме того, последние образуют обособленное компактное поле в левой нижней части диаграммы, где концентрация Al-центров преимущественно составляет 9–17 ат. ppm, а Au — 0,01–0,08 г/т. Ge-центры установлены в 8 образцах кварца и, что особенно важно, только в золото-кварц-малосульфидных рудах. Содер-

Таблица 1

Содержание Al*, Ti**, Ge** парамагнитных центров в кварце Сиратурского рудного поля

№ п/п	Номер пробы	C(Al), ат. ppm*	№ п/п	Номер пробы	C(Al), ат. ppm	№ п/п	Номер пробы	C(Al), ат. ppm
1	СТ-3-97	34,1	14	Ф-4,1	32,3	27	СТ-43-29	10,6
2	СТ-12-38	32,2	15	Ф-4,6	54,3	28	СТ-44-80	12,3
3	СТ-15-73	53,9	16	Ф-4,7	26,5	29	СТ-47-85	12,6
4	СТ-16-54-58	54,4	17	СТ-4	10,6	30	СТ-53-33	10,4
5	СТ-23-31	14,9	18	СТ-13-68	18,7	31	СТ-53-98	9,1
6	СТ-28-46,6	8,8	19	СТ-23-34	6,7	32	СТ-53-99	10,7
7	СТ-28-66	10,8	20	СТ-33-22	12,0	33	СТ-54-152	9,8
8	СТ-28-70	21,6	21	СТ-33-92	16,9	34	СТ-62-14	13,0
9	СТ-45-99	29,0	22	СТ-33-139,5	14,3	35	СТ-ШТ/1	10,1
10	СТ-48-145	22,4	23	СТ-33-166	11,7	36	ГГ-5,2	10,1
11	СТ-48-199	9,9	24	СТ-37-10	9,9	37	Ф-КВ	12,1
12	ГГ-2,7	32,3	25	СТ-37-70	11,9	38	КАМ-2,2	14,6
13	ГГ-2,8	31,3	26	СТ-41-51	14,0	39	1226-107	12,7

Примечания. 1–16 — кварц, отобранный из золото-кварц-малосульфидных руд; 17–39 — кварц, отобранный из золото-сульфидных руд. Содержание Ti- и Ge- парамагнитных центров в пробах (ат. ppm): 1 — 0,25 (Ge); 2 — 0,10 (Ge), 0,10 (Ti-H); 3 — 0,16 (Ge); 5 — 0,02 (Ge), 0,05 (Ti-H), 0,27 (Ti-Li); 8 — 0,08 (Ti-H), 0,09 (Ti-Li); 0,24 (Ti-Na); 12 — 0,01 (Ge); 13 — 0,02 (Ge), 0,10 (Ti-H), 0,25 (Ti-Li); 14 — 0,02 (Ge); № 15 — 0,03 (Ge); 35 — 0,27 (Ti-Li). * ат. ppm — число атомов Al на 10^6 атомов Si.

жание Ge невелико — 0,01–0,25 ат. ppm. Во всех остальных пробах концентрация Ge-центров ниже чувствительности ЭПР спектрометра. Подобная закономерность отмечена и для Ti–H, Ti–Li и Ti–Na-центров — все они приурочены ко второму типу руд. Столь низкое содержание структурных примесей Al, Ti, Ge в кварце может указывать не только на их низкую концентрацию в гидротермальном растворе, но и на низкое значение pH среды минералообразования.

В пределах месторождения Сиратурское, проявлений Голенькие Горки и Фельдшерское при промывке дресвяно-щебнистых кор выветривания, развитых по углеродистым сланцам и листовникам, нами получено несколько десятков золотинок. Микрозондовый анализ (табл. 2) позволил разделить золотины на две группы, первая из которых (главное рудное тело и Широтная жила Сиратурского месторождения, проявление Фельдшерское) характеризуется высокой пробностью (900–980), а вторая (золото-сульфидные руды Сиратурского месторождения и проявление Голенькие Горки) — содержит значимую примесь серебра (вплоть до электрума) ($Au = 67 \div 82\%$, $Ag = 17 \div 33\%$ и до 0,36% Cu). При изучении аншлифов золото-сульфидных руд Сиратурского месторождения в пирите установлена мелкая золоти́на (3–5 мкм) (рис. 6), состав которой — 75,55% Au и 24,45% Ag (табл. 3). Кроме нее здесь отмечены теллурид серебра (гессит) и два никелевых сульфида (миллерит и герсдорфит). Последние часто встречаются в среднетемпературных гидротермальных месторождениях золота.

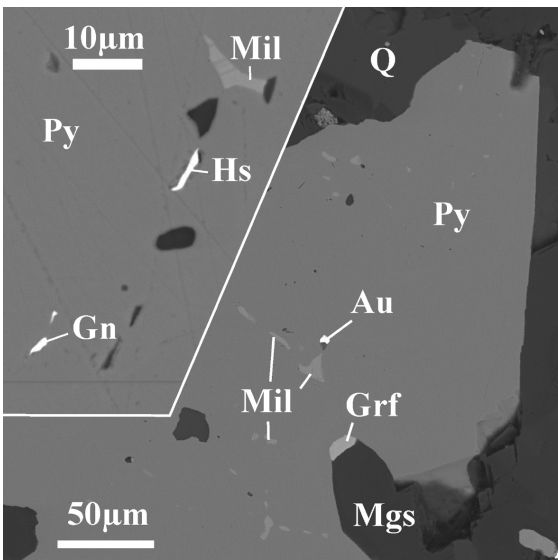


Рис. 6. Электронно-микроскопические фото минералов-включений в пирите Сиратурского месторождения. Py — пирит, Au — золото, Mil — миллерит, Hs — гессит, Q — кварц, Grf — герсдорфит, Gn — галенит, Mgs — магнетит

Закключение. Ордовикские черносланцевые отложения поляковской свиты, рудовмещающие для Сиратурского золоторудного месторождения, совместно с базальтами и базит-гипербазитовым основанием представляют собой единую офиолитовую ассоциацию. Они относятся к низкоуглеродистому типу, терригенно-углеродистой и карбонатно-углеродистой формациям. Образовались рассматриваемые вулканогенно-осадочные отложения в эпиконтинентально-рифтогенной

Таблица 2

Результаты микрозондового анализа золоти́н Сиратурского рудного поля

№	Ag	Au	Сумма	№	Ag	Au	Сумма	№	Ag	Au	Сумма
1	33,22	66,60	99,82	12	9,48	90,09	99,57	23	3,38	96,62	100,00
2	30,74	67,69	98,43	13	9,03	89,00	98,04	24	11,19	88,81	100,00
3	31,97	69,00	101,31	14	8,18	91,51	99,69	25	9,71	90,29	100,00
4	29,32	71,38	100,70	15	4,74	95,26	100,00	26	1,25	98,75	100,00
5	23,83	75,32	99,16	16	4,63	95,37	100,00	27	1,42	98,58	100,00
6	21,22	78,78	100,00	17	5,74	94,26	100,00	28	23,89	76,11	100,00
7	27,59	72,41	100,00	18	4,41	94,06	98,78	29	4,54	95,46	100,00
8	2,93	97,07	100,00	19	4,30	94,57	99,23	30	3,93	96,07	100,00
9	2,60	97,08	99,68	20	16,71	84,31	101,02	31	3,89	96,11	100,00
10	17,00	83,18	100,18	21	3,66	95,63	99,29	32	0,00	100,00	100,00
11	17,90	82,10	100,00	22	3,59	97,54	101,13				

Примечания. Проявления: 1–11 — Голенькие Горки, 12–23 — Сиратурское, 24–32 — Фельдшерское. В анализе 3 отмечена примесь Te (0,34%), в 18 и 19 — Cu (0,3% и 0,36% соответственно). В золоти́не 1 установлен сульфид железо-никелевого состава (Fe 25,3%, Ni 38,9%, Co 1,9%, S 32,7%).

Таблица 3

Состав минералов-включений в пирите Сиратурского месторождения

Минерал	S	Fe	Ni	As	Ag	Te	Au	Сумма	Формула
Au (a)					24,45		75,55	100	$Au_{0,63}Ag_{0,37}$
Mil (b)	35,34	4,26	60,40					100	$Ni_{0,93}Fe_{0,07}S_{1,00}$
Grf (c)	19,99	2,18	33,86	43,97				100	$Ni_{0,95}Fe_{0,06}As_{0,97}S_{1,03}$
Hs (m)					61,50	38,50		100	$Ag_{1,96}Te_{1,04}$

Примечания: золото (Au), миллерит (Mil), герсдорфит (Grf), гессит (Hs).

геодинамической обстановке, сменившейся затем океаническим спредингом. В составе углеродистых осадочных образований содержалась повышенная концентрация золота. В результате последующей длительной истории развития Магнитогорской мегазоны в раннем и среднем палеозое (океаническая и островодужная стадии) черносланцевые толщи испытали интенсивное погружение, катагенетические преобразования, зональный приразломный метаморфизм в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. В это время были сформированы прожилково-вкрапленные золото-сульфидные руды (пробность 670–820).

В коллизионный этап развития Южного Урала (C_2-P_1), по-видимому, в связи с гидротермальной деятельностью гранитоидов балбукского комплекса образовались жильно-прожилково-вкрапленные

золото-кварц-малосульфидные руды. Последние представлены высокопробным (940–970) золотом и залегают в породах, испытавших натриевый метасоматоз. Многочисленные различия в обоих типах руд заключаются в условиях формирования оруденения и, вероятно, в составе флюидных систем, эволюция которых и привела к их образованию. В целом Сиратурское месторождение можно отнести к полигенному и полихронному типу. Это пока единственный объект на Южном Урале, который расположен в черносланцевых отложениях офиолитовой ассоциации и представляет несомненный интерес для дальнейших оценочных и разведочных работ.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Госзадания по теме № 0246-2019-0078, микрозондовые исследования проведены в рамках государственной темы № АААА-А19-119072390050-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Блюман Б.А., Дьяконов Ю.С., Красавина Т.Н., Павлов М.Г. Использование термо- и рентгенографических характеристик графита для определения уровня и типа метаморфизма // Зап. ВМО. 1974. Т. 103, вып. 1. С. 95–103.

Бушнев Д.А., Смолева И.В. Изотопы углерода органического вещества позднелурских горючих сланцев Волго-Печорской сланцевой провинции и механизмы его накопления // Докл. РАН. 2011. Т. 441, № 2. С. 227–229.

Геодинамические реконструкции / Под ред. В.А. Унксова. Л.: Недра, 1989. 278 с.

Горбачев О.В., Созинов Н.А. Некоторые петрохимические и геохимические аспекты типизации углеродистых отложений докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука, 1985. С. 46–57.

Концентрационные измерения электронно-дырочных центров в кварце методом ЭПР // Инструкция. М.: ВИМС, 1986. 230 с.

Краснобаев А.А., Вализер П.М., Перчук А.Л. Ордовикский возраст дунит-верлит-клинопироксенитового полосчатого комплекса массива Нурали (Южный Урал, Россия) по данным SHRIMP U-Pb датирования цирконов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 1. С. 60–70.

Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. Уфа: ИГ УфНЦ РАН, 2000. 140 с.

Парада С.Г. О литогенной природе некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 3. С. 275–288.

Прудникова А.Д., Кошуг Д.Г., Вяткин С.В. и др. Оценка температуры кристаллизации жильного кварца

золото-молибден-медно-порфирового месторождения Песчанка (Западная Чукотка) по содержанию парамагнитных титановых центров в кварце // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2017. № 1. С. 13–21.

Рыкус М.В., Сначев В.И., Кузнецов Н.С. и др. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7, № 2. С. 17–27.

Савельев Д.Е., Пучков В.Н., Ардисламов Ф.Р., Сначев В.И. Вулканогенные породы машакской свиты среднего рифея: геология и петрогеохимия // Литосфера. 2009. № 4. С. 3–26.

Салихов Д.Н., Рахимов И.Р., Мосейчук В.М. Каменноугольный магматизм коллизионной эпохи на Южном Урале // Геол. сб. № 10. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2013. С. 176–199.

Сначев А.В. Геология и условия накопления углеродистых отложений Сиратурского рудного поля // Вестн. АН РБ. 2019. Т. 32, № 3. С. 15–25. DOI: 10.24411/1728-5283-2019-10302

Сначев А.В., Сначев В.И., Рыкус М.В. Перспективы рудоносности углеродистых отложений западного обрамления Суундукского гранитного массива // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8, № 2. С. 11–20.

Сначев В.И., Сначев А.В., Рыкус М.В. Петрохимические особенности и палеогеодинамические условия формирования ордовикских базальтов северной части Главного уральского разлома (Южный Урал) // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17, № 3. С. 15–24. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-3-15-24

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. М; Берлин: Директ-Медиа, 2015. 272 с. DOI: 10.23681/428042

Поступила в редакцию 29.04.2020

Поступила с доработки 30.06.2020

Принята к публикации 30.06.2020