

циркона из габбро Нижне-Тагильского массива равен 420 ± 7 млн лет [Иванов, Наставко, 2014]. Таким образом, разница в возрасте дунитов и габбро в массивах Платиноносного пояса, для которых установлен возраст внедрения дунита во вмещающие породы, равный 430–440 млн лет, варьирует от 10 до 20 млн лет. Распределение значений абсолютного возраста гипербазитов Урала приведено на рисунке 2.

Приведенные выше определения возраста гипербазитов, трассирующих Главный Уральский разлом, и оценка этого возраста по возрасту ассоциирующихся с ними габброидов позволяют сделать вывод о том, что уникальная линейная структура, какой является Главный Уральский Разлом, на всем ее протяжении, от Полярного до Южного Урала образовалась за очень короткий промежуток времени в интервале 430–440 млн лет.

Литература

Аникина Е. В., Краснобаев А. А., Русин А. И., Бушарина С. В., Капитонов И. Н., Лохов К. И. Изотопно-геохимические характеристики циркона из дунитов, клинопироксенитов и габбро Платиноносного пояса Урала // Доклады Академии наук. 2012. Т. 443. № 6. С. 711–715.

Ефимов А. А., Чащухин И. С. Главный офиолитовый пояс Урала – зона аномальной эволюции мантийных габбро-ультрамафитовых комплексов // Геология, петрология, металлогения и геодинамика. Екатеринбург, 2006. С. 12–17.

Иванов К. С., Наставко Е. В. Новые данные о возрасте тагильского комплекса Платиноносного пояса Урала // Литосфера. 2014. № 6. С. 77–87.

Краснобаев А. А., Аникина Е. В., Русин А. И. Цирконология дунитов Нижнетагильского массива (Средний Урал) // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 6. С. 809–813.

Малич К. Н., Ефимов А. А., Ронкин Ю. Л. Архейский U-Pb изотопный возраст дунитов Нижнетагильского массива (Платиноносный пояс Урала) // Доклады Академии наук. 2009. Т. 427. № 1. С. 101–105.

Рыжков В. М., Анфилогов В. Н., Блинов И. А., Краснобаев А. А., Вализер П. М. Фазовые равновесия в системе $\text{SiO}_2\text{-MgO-ZrO}_2$ // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469. № 4. С. 475–479.

Bea F., Fershtater G. B., Montero P., Whitehous M., Levin V. Ya., Scharrow J. H., Austrheim H., Pushkarev E. V. Recycling of continental crust into mantle as revealed by Kytlym dunite zircons, Ural // Terra Nova. 2001. Vol. 13 (6). P. 407–412.

И. Р. Рахимов¹, А. В. Вишневский², Д. Е. Савельев¹, А. Г. Владимиров²

¹ – *Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа
rigel92@mail.ru*

² – *Новосибирский государственный университет*

Сульфидное Cu-Ni оруденение и связанная с ним Pt-Pd минерализация ультрамафит-мафитов худолазовского дифференцированного комплекса Южного Урала

Худолазовский интрузивный комплекс известен с середины прошлого столетия после геолого-съемочных работ Ф. П. Ковалева, Э. С. Бучковского, Г. Н. Засухина и др., которые отмечали сложность его петрологической истории формирования (многофазный характер магматизма, геохимическая неоднородность и т. п.), сульфидную медно-никелевую специализацию и каменноугольный возраст по геолого-

структурным данным. В последние годы интерес к худолазовскому комплексу возрождается благодаря усилиям Д. Н. Салихова и авторов данной публикации. Определен U-Pb возраст худолазовского комплекса (328–324 млн лет) по циркону и бадделеиту [Салихов и др., 2012], обосновано наличие нескольких петрогенетических фаз его формирования [Рахимов и др., 2016], изучены новые геологические разрезы, получены качественные анализы породообразующих минералов, обнаружена Pt-Pd минерализация в сульфидных рудах [Рахимов и др., 2018].

Худолазовский комплекс развит в центральной части Западно-Магнитогорской зоны. Большинство интрузий распространено внутри одноименной мульды согласно некоторой закономерности: небольшие штоки ультраосновных пород развиты в крайней западной части Худолазовской структуры, относительно крупные и многочисленные, в разной степени дифференцированные, хонолиты сконцентрированы в ее осевой части, хонолиты габбродиоритов распространены по всей площади мульды и за ее пределами, а мелкие единичные тела диоритов обнаружены в западной и центральной частях. Между последними тремя группами тел установлены интрузивные контакты, особенности которых свидетельствуют об омоложении магматитов в соответствии с порядком их перечисления в тексте. Общность петрографических и геохимических характеристик пород с ясно выраженной эволюционной направленностью в ряду «перидотиты–габбро–габбродиориты–диориты» определяет единую гомогенную последовательность. В истории формирования худолазовского комплекса выявлены четыре петрогенетические фазы – производные единого пикробазальтового расплава: I – перидотитовая, II – габбровая, III – габбродиоритовая, IV – диоритовая. Каждая фаза формирует самостоятельные интрузии, но практический интерес представляют только интрузии первых двух фаз – с ультрамафит-мафитами связано Cu-Ni сульфидное оруденение. Породы третьей и четвертой фаз магматизма несут лишь пиритовую вкрапленность.

Сульфидная Cu-Ni минерализация представлена ассоциацией «пентландит-халькопирит-пирротин» и рассредоточена внутри массивов, но в их придонных частях нередко формирует залежи прожилково-вкрапленных руд, которые располагаются на глубине 100–300 м. Сульфидная вкрапленность образует шлиры и реже – прожилки. Самые богатые скопления отмечаются в наиболее высокомагнезиальных породах – шрисгеймитах и оливин-роговообманковых габбро. Самый «продуктивный» парагенезис силикатов – это оливин-роговая обманка в малооливиновых габброидах, как и в малороговообманковых (троктолитах), сульфиды развиты слабо.

Магматическая фаза I представлена несколькими небольшими (до 100 м) штоками среднезернистых серпентинизированных роговообманковых перидотитов с пойкилитовой структурой (шрисгеймитов). Сульфиды в породах ассоциируют с роговой обманкой, образуют округлые и амёбовидные сростания размером до 1 см, облекающие кристаллы оливина и пироксена, а также рассеянную мелкодисперсную вкрапленность. Объемная доля этих выделений в породах обычно не превышает 5–7 %. Среди трех главных сульфидов резко превалирует пирротин (>70 об. %), а халькопирит и пентландит находятся в переменных соотношениях, но чаще преобладает халькопирит. Пирротину свойственна примесь Ni (0.6–1.1 мас. %), Cu (0–0.1 мас. %) и Co (0–0.1 мас. %). В агрегатах минерала нередко отмечаются ламели троилита и пентландита – индикаторы распада твердого раствора. В пентландите отмечается примесь Co (0.3–2.7 мас. %), в халькопирите примесь Ni и Co незначительна (<0.1 мас. %). Отношение Ni/Cu в рудах составляет 1.7–2.7.

Для изучения сульфидных руд и ЭПГ-минерализации шрисгеймитов исследовались образцы из обнаженных участков интрузий и керна разведочных скважин (РЭМ Tescan Mira 3 в ЦКП ИГМ СО РАН и Tescan Vega 3 в ИПСМ РАН с энергодисперсионными спектрометрами Oxford Instruments). В сульфидах из массивов Кусеево-2 (обр. Д4-11) и Кусеево-3 (обр. Д4-14) обнаружены единичные зерна минералов платины – мончеита и сперрилита, а также садбериит, электрум и алтаит (табл.). Размеры большинства зерен не превышают 1–5 мкм, поэтому получение качественных анализов без захвата матрицы практически невозможно. Зерна, приуроченные к трещинкам в минералах, имеют призматический габитус, а простые включения и кристаллы, приуроченные к ламелям троилита либо пентландита в структурах распада, – субидиоморфный или вытянутый вдоль ламели облик.

Т а б л и ц а

**Список Pt-Pd и ассоциирующих с ними редких Au-Ag-Pb минералов
в сульфидных рудах худозавского комплекса**

Порода	Минерал (формула)	Минерал-хозяин	Количество, шт.	Образец
1	2	3	4	5
Шрисгеймит	Мончеит (Pt(Te, Bi) ₂)	Пентландит	2	Д4-11
		Пирротин	1	
	Сперрилит (PtAs ₂)	Пирротин	1	
	Садбериит (PdSb)	Халькопирит	1	Д4-14
	Электрум (Au, Ag)	Магнетит/халькопирит	1	Д4-11
	Алтаит (PbTe)	Халькопирит	1	Д4-11
			3	Д4-14
		Пирротин	2	Д4-11
		1	Д4-14	
		Пентландит	1	Д4-14
Габбро	Майчнерит (PdBiTe)	Пирротин	3	3782
		Халькопирит	1	
		Эпидот/титаниит	2	
	Фрудит (PdBi ₂)	Пентландит	2	Д4-26
		Пирротин/магнетит	6	1432
		Пирротин/пентландит	2	
		Пирротин	1	
		Пентландит	1	
	Сперрилит (PtAs ₂)	Халькопирит	1	
	Паркерит (Ni ₃ (Bi, Pb) ₂ S ₂)	Пирротин	1	1432
	Фрудит+паркерит	Пирротин	1	1432
	Самородное золото (Au)	Пентландит	1	1432
	Гессит (Ag ₂ Te)	Пирротин	3	1432
			1	Д4-25
		Халькопирит	1	1432
1			3780	
1			Д4-25	
Кобальтин	1	2122		

Окончание табл.

1	2	3	4	5
Габбро	Ag-Hg-Te фаза	Халькопирит	1	3782
	Раклиджит (PbBi ₂ Te ₄)	Пирротин	3	3782
			1	1432
		Халькопирит	2	3782
			1	1432
	Пентландит	1	1432	
	Гессит+раклиджит	Пирротин	1	3782
	Аргентопентландит (Ag(Fe, Ni) ₈ S ₈)	Халькопирит	1	2122
	Ag-Pb-Te фаза	Пирротин	1	1432
	Цумоит (BiTe)	Пентландит/эпидот	1	1432
	Алтаит (PbTe)	Пирротин	7	1432
			1	3780
			5	3782
Халькопирит		2	1432	
		1	2122	
Пентландит	2	3780		
Самородный свинец (Pb)	Халькопирит	1	2122	

Примечание. Гессит+раклиджит и т. п. – сросток; магнетит/халькопирит и т. п. – зерно находится на границе двух минералов. Обр. 1432 – керн скв. 112/71; обр. 2122 – керн скв. 111/71; обр. Д4-25 из обн. – расслоенный хонолит Сев. Бускун-II; обр. 3780 и 3782 из керна скв. 39/71 – габброидный шток Ташлы-Тау; обр. Д4-26 из обн. – расслоенный хонолит Зап. Карасаз.

Магматическая фаза II представлена крупными (до 3.5 км в длину) дифференцированными интрузиями – хонолитами, в строении которых в вертикальном разрезе выделяются среднезернистые троктолиты, неравномернозернистые габбро и габбро-троктолиты, среднезернистые оливин-роговообманковые и биотит-роговообманковые габбро, габбродиориты и диориты. Высокомагнезиальные разновидности наиболее близки к составу расчетного родоначального расплава. Породы в разной степени хлоритизированы. Сульфидная минерализация, также как и в шрисгеймитах, представлена неправильными и каплевидными вкрапленниками-срастаниями пирротина с халькопиритом и пентландитом, однако доля пирротина здесь еще выше (до 95 об. %). В структуре последнего отмечаются разноориентированные ламели халькопирита и троилита. В пирротине присутствуют Ni (0.4–2.9 мас. %) и Co (до 0.4 мас. %), в пентландите примесь Co достигает 3 мас. %. Отношение Ni/Cu в рудах из габброидов заметно ниже, чем в рудах, локализованных в шрисгеймитах: 0.22–1.4. При помощи электронной микроскопии в них были обнаружены Pd-, Au-, Ag-содержащие и другие редкие минеральные фазы: майчнерит, фрудит, сперриллит, гессит, паркерит, раклиджит, цумоит, Ag-Hg-Te фаза, алтаит, самородный свинец, самородное золото (см. табл.). Большинство минералов размещается либо в трещинках (рис. а), либо вдоль ламелей (рис. б), либо на границе сульфидов. Размер зерен обычно составляет 1–4 мкм, реже до 12–14 мкм (кристаллы майчнерита). Майчнерит отличается экстремально высокосурьмянистым составом (до 12.35 мас. % Sb, 0.4 ф.е.). Он развит внутри

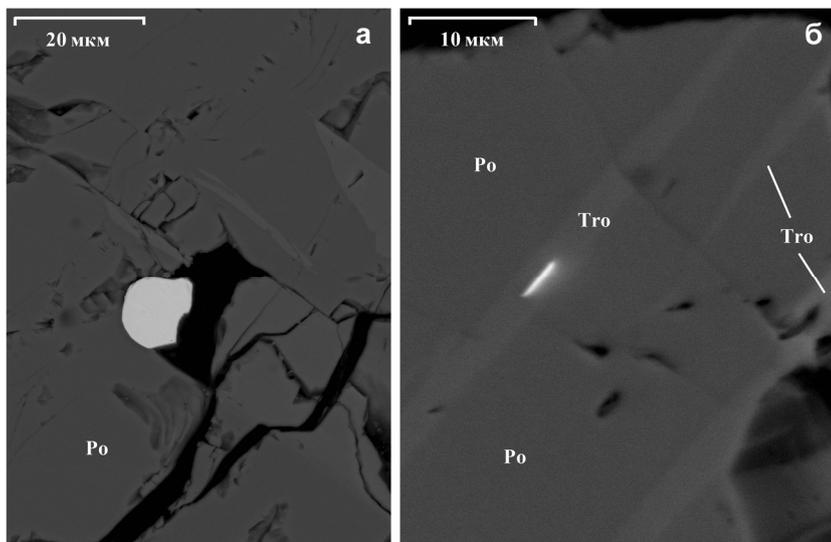


Рис. Кристаллы майчнерита в трещине в пирротине (а) и алтаита в ламели троилита (б). BSE режим.

крупных выделений пирротина либо в силикатной матрице на границе с сульфидными скоплениями. Большой интерес вызывает богатая теллуридная минерализация (раклиджит, цумоит и др.), приуроченная к пирротину.

Процессы формирования ЭПГ минерализации, приуроченной к сульфидным рудам ультрамафит-мафитовых интрузий, часто носят полигенный характер, что связано с различными постмагматическими явлениями [Субботин и др., 2012; Шарков, Чистяков, 2014; Спиридонов и др., 2015; и мн. др.]. В частности, распределение минералов Pt, Pd, Bi, Te, As может иметь как первичную (первично-магматическая кристаллизация, распад ISS и MSS), так и вторичную (постмагматические силикаты) структурную позицию. Исходя из некоторых выявленных различий в структурной позиции тех или иных Pt-Pd-Ag-Pb-минералов в рудах худолазовского комплекса, такую полигенность правомерно предположить и для этого объекта. Обоснованные выводы могут появиться лишь при более детальном исследовании данного вопроса.

Таким образом, проведенные исследования показали, что значимое сульфидное оруденение худолазовского дифференцированного комплекса связано только с ультрамафит-мафитовыми породами двух ранних фаз и представлено ассоциацией «пентландит– халькопирит–пирротин» при резком преобладании последнего. К сульфидам шрисгеймитов приурочена Pt-минерализация, а к сульфидам габброидов – Pd-Ag минерализация, представленная самостоятельными зернами висмутидов, теллуридов, арсенидов.

Литература

Рахимов И. Р., Салихов Д. Н., Владимиров А. Г., Холоднов В. В., Вишневский А. В., Бородин Е. В. Петрогенетическая модель и рудоносность базит-пикробазитового магматизма Худолазовской мульды (Южный Урал) // Мат. науч. сов. «Геодинамическая эволюция лито-

сферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск: ИЗК СО РАН, 2016. С. 236–240.

Рахимов И. Р., Вишневецкий А. В., Владимиров А. Г., Савельев Д. Е., Пучков В. Н., Салихов Д. Н. Первые находки минералов платины и палладия в сульфидных рудах худолазовского интрузивного комплекса (Южный Урал) // Доклады Академии наук. 2018. Т. 479. № 5. С. 542–545.

Салихов Д. Н., Беликова Г. И., Пучков В. Н., Эрнст Р., Седерлунд У., Камо С., Рахимов И. Р., Холоднов В. В. Никеленосный интрузивный комплекс на Южном Урале // Литосфера. 2012. № 6. С. 66–72.

Спирidonov Э. М., Кулагов Э. А., Серова А. А., Куликова И. М., Коротаева Н. Н., Серода Е. В., Тушенцова И. Н., Беляков С. Н., Жуков Н. Н. Генетическая минералогия Pd, Pt, Au, Ag, Rh в норильских сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. 2015. № 5. С. 445–476.

Субботин В. В., Корчагин А. У., Савченко Е. Э. Платинометаллическая минерализация Федорово-Панского рудного узла: типы оруденения, минеральный состав, особенности генезиса // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 1. С. 55–66.

Шарков Е. В., Чистяков А. В. Геолого-петрологические аспекты ЭПГ-Cu-Ni-оруденения в раннепалеопротерозойском Мончегорском расслоенном мафит-ультрамафитовом комплексе (Кольский полуостров) // Геология рудных месторождений. 2014. № 3. С. 171–194.

Я. Н. Нугуманова^{1, 2}, Р. А. Гатауллин^{1, 2}

¹ – *Башкирский государственный университет, г. Уфа*
jazgul-ice@yandex.ru

² – *Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа*

Петрографические и минералого-геохимические особенности ультрамафитов Узянского Крака (Южный Урал) (научный руководитель д.г.-м.н. Д. Е. Савельев)

Цель работы – выявление минералого-геохимических и структурных особенностей ультрамафитов массива Узянский Крак. Основными задачами исследования являются определение минерального состава пород, характера рудной минерализации и последовательности минералообразования. Актуальность работы обусловлена проблемой установления закономерностей размещения хромитовых руд внутри офиолитовых комплексов. Изучение состава пород и стадийности их образования позволит восстановить условия рудообразования, что облегчит поиски промышленных месторождений.

Наибольший интерес к ультраосновным породам на Южном Урале был проявлен в 20–30-е гг. XX века в связи с поисками хромитов, потребность в которых ощущалась особенно остро из-за бурного развития черной металлургии. В это время в регионе проводились широкомасштабные поиски хромитовых руд, сопровождавшиеся академическими исследованиями. Поисковые работы на хромиты в 1930-е гг. на массивах Крака проводились трестами «Башхромит» и «Союзхромит». Открытие и изучение большинства хромитовых месторождений и хромитопроявлений сделано именно в этот период и связано с именами И. С. Бурдюгова, Н. П. Спорова, С. Ф. Тиховидова, П. Г. Фарафонтьева. Позднее поисковые и геолого-съемочные работы на массивах предпринимались в 1970-е гг. (Е. А. Шумихин, В. В. Радченко и др.), а также в 1990–2000-е гг. (В. И. Сначев, Д. Е. Савельев и др.).