

УДК552.11:550.42

И.Р. Рахимов¹, Е.Л. Кунаккузин²

¹Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

²Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОНОСНОГО МАССИВА ТАШЛЫ-ТАУ (ХУДОЛАЗОВСКИЙ КОМПЛЕКС, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Проведены петрографические и петролого-геохимические исследования пород рудоносного массива Ташлы-Тау худолазовского комплекса. Выявлено, что породы богаты роговой обманкой и могут быть названы оливиновыми плагиогорнблендитами. Они характеризуются повышенными концентрациями крупноионных литофильных элементов (Cs, Rb, Sr, Ba) и пониженными – высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, REE). Методом геохимической термометрии установлено, что исходная магма представляла собой водонасыщенный умеренномагнезиальный расплав, содержащий вкрапленники оливина в количестве 16–18 мас. %. Изотопные Sr-Nd данные ($\epsilon_{Nd}(T) = +5.2...+10.3$, $\epsilon_{Sr_{UR}}(T) = 0...+3.72$) свидетельствуют о низкой роли коровой контаминации родоначального расплава в верхнекоровых условиях. Источником родоначального расплава мог служить мантийный резервуар типа PREMA.

Ключевые слова: худолазовский комплекс, магма, моделирование, геохимия.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.197

Введение. Худолазовский дифференцированный комплекс локализован в центральной части Южного Урала и специализирован на сульфидное Cu-Ni-платинометальное оруденение [3]. Он датирован U-Pb методом по циркону и бадделейту возрастом 325–329 млн лет [5]. Комплекс представлен множеством интрузивных тел, среди которых выделено три типа: 1) мелкие однородные штоки ультраосновного состава, 2) относительно крупные дифференцированные хонолиты, 3) небольшие относительно однородные хонолиты основного–среднего состава. Штоки расположены в западной части мульды и представляют собой первую фазу внедрения [3]. Среди них одним из наиболее изученных является массив Ташлы-Тау [4]. На примере таких компактных массивов удобно решать различные проблемы петрогенезиса и рудообразования всего худолазовского комплекса.

Геологическая характеристика. Массив Ташлы-Тау расположен в западном борту Худолазовской мульды, его координаты: 53.006° с.ш., 58.4310° в.д. Размеры в плане составляют 100×150 м. Через массив

пробурена лишь одна скважина, в результате чего магмоподводящий канал не был выявлен. Глубина залегания подошвы не менее 112.5 м. Контакты имеют падение под углом 70–80°. Предполагается, что интрузия продолжается на глубину в юго-восточном направлении. Вмещающими породами являются туфопесчаники биягодинской свиты (D_3f). В экзо-контактной зоне вмещающие породы ороговикованы. Вкрапленное сульфидное оруденение (пентландит-халькопирит-пирротин) вскрыто на глубине 89.2–112.5 м, т.е. рядом с подошвой интрузии (рис. 1), при этом последние 0.3 м интервала скважины представлены густовкрапленными и прожилково-вкрапленными пирротин-халькопиритовыми рудами, локализованными близ контакта габброидов с вмещающими породами.

Массив сложен, большей частью, оливин-роговообманковыми габбро с пойкилоофитовой структурой. Роговая обманка является самым распространённым минералом, составляя до 50 мас. % пород. Поэтому габброиды могут называться оливиновыми плагиогорнблендитами. Текстура пород массивная, но иногда встречаются признаки такситовой (шлировой) текстуры, характеризующаяся наличием скоплений-сростков зёрен оливина.

Петрогеохимическая характеристика. Содержания MgO и FeO_t в породах варьируют в пределах 9.9–20.2 и 11.2–18.2 мас. % соответственно, $SiO_2 = 40.5–48.8$ мас. %. Для габброидов характерны довольно умеренные вариации $Mg\#$ ($100 \times MgO / (MgO + FeO_t + Mn)$) = 42–57. Они низкоглинозёмистые с широкими вариациями значений коэффициента глинозёмистости al' ($Al_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$) – 0.28–0.61, в среднем

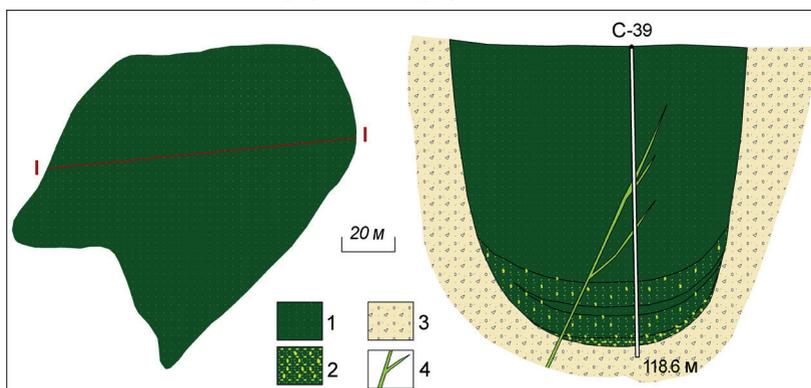


Рис. 1. план обнажения массива Ташлы-Тау с геологическим разрезом через линию I-I (b) по [4]: 1 – габбро с редкой сульфидной вкрапленностью, 2 – вкрапленные сульфидные руды, 3 – вмещающие туфопесчаники (D_3f bg), 4 – дайки долеритов.

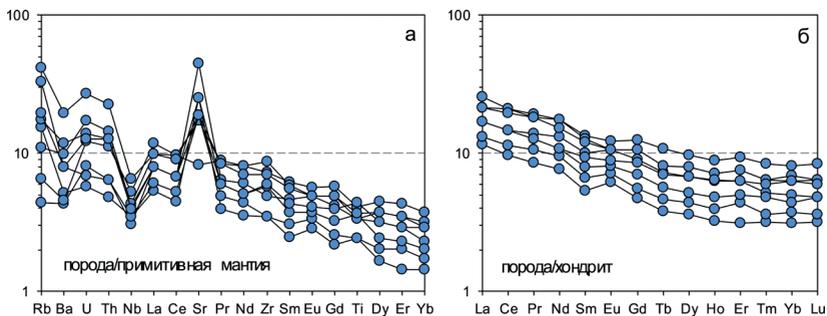


Рис. 2. Мультиэлементные спайдер-диаграммы для пород массива Ташлы-Тау по данным табл. 1: а) нормировано на состав примитивной мантии [6], б) нормировано на состав хондрита [7].

0.44. По содержанию TiO_2 (0.4–0.7 мас. %) габброиды классифицируются как низкотитанистые и имеют стабильно повышенные содержания P_2O_5 (~ 0.33 мас. %). Они отвечают ряду нормальнощелочных ультрабазит-базитов с калий-натровым типом щёлочности ($Na/K \sim 3.9$).

Микроэлементный состав пород массива Ташлы-Тау характеризуется относительно высокими концентрациями крупноионных литофильных элементов (Cs, Rb, Sr, U, Th) и относительно пониженными содержаниями таких высокозарядных элементов, как Nb, Ta, Zr, Hf, Sc, Y, REE. Первой группе присущи значительные количественные вариации, на спайдердиаграмме наблюдается резкая положительная аномалия Sr и достаточно чёткий минимум Nb (рис. 2а). Спектры распределения редкоземельных элементов в целом единообразны (рис. 2б), отмечается их незначительное фракционирование ($La_n/Yb_n \sim 3.4$).

Sm-Nd и Rb-Sr изотопная систематика. Первичный изотопный состав Nd характеризуется высоким значением величины $\epsilon Nd(325)$ (+5.2...+10.3) (табл. 1). Высокорадиогенный состав Nd свидетельствует о ювенильной природе деплетированных мантийных расплавов, материнских для массива Ташлы-Тау. Для расчёта начальных изотопных отношений были приняты значения абсолютного возраста массива по датировке соседних интрузий худолазовского комплекса – 325 млн лет [5]. Изотопный состав Nd вмещающих песчаников отличается более низким значением величины $\epsilon Nd(380)$ (+2.06), вероятно отражая специфику изотопного состава пород источника сноса – бугодакских базальтоидов. Возраст отложения туфопесчаников бугодакской свиты, сформировавшихся за счёт разрушения изверженного материала франских вулканических построек [2] и являющихся вмещающими породами массива Ташлы-Тау, был принят как 380 млн лет.

Таблица 1

Sm-Nd изотопные данные для габброидов (1–3) массива Ташлы-Тау и вмещающих песчаников (4)

№	№ пробы	Sm, г/т	Nd, г/т	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2σ	εNd(T)
1	3775	2.10	8.53	0.14800	0.512846	0.000021	+6.20
2	3780	2.82	11.50	0.14810	0.513055	0.000015	+10.28
3	3780 ^А	2.17	8.70	0.15012	0.512800	0.000020	+5.25
4	K ₁₈ -97	3.69	16.67	0.13390	0.512581	0.000009	+2.06

Величины первичных отношений изотопов стронция ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(T) в габброидах весьма однородны (табл. 2) и характеризуются около нулевыми или слабоположительными значениями εSr_{UR}(325) (0...+3.72), отражая близость к составу модельного резервуара UR (uniform reservoir). Напротив, вмещающие песчаники обогащены радиогенным стронцием, εSr_{UR}(380) = +30.92, что вполне характерно для терригенных осадочных пород.

Таблица 2

Rb-Sr изотопные данные для габброидов (1–3) массива Ташлы-Тау и вмещающих песчаников (4)

№	№ пробы	Rb, г/т	Sr, г/т	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	±2σ	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(T)	εSr(T)
1	3775	3.41	139.4	0.06904	0.70421	0.00021	0.70390	+0.28
2	3780	10.01	339.7	0.08362	0.70452	0.00025	0.70410	+3.72
3	3780 ^А	11.35	400.4	0.08199	0.70425	0.00001	0.70387	0
4	K ₁₈ -97	13.71	356.59	0.10850	0.70660	0.00015	0.70598	+30.92

Численное моделирование. В программе COMAGMAT 3.73 было проведено моделирование параметров кристаллизации исходной магмы. Заданные параметры моделирования: равновесная кристаллизация, кислородный буфер QFM, давление 2 кбар, содержание воды 1.5 мас. %. Состав расплава был оценён с помощью метода геохимической термометрии, в основе которого лежит моделирование наиболее контрастных по составу проб [1]. Сложность моделирования параметров кристаллизации пород массива Ташлы-Тау заключается в их обогащённости роговой обманкой, являющейся позднемагматическим минералом. Существующие программы-симуляторы не предусматривают воспроизведение составов водосодержащих силикатов. Поэтому моделирование было проведено до уровня 50 % кристаллизации расплава, поскольку содержание роговой обманки составляет ~ 50 мас. %. Состав

исходного расплава, согласно этому методу, оценивался по точкам пересечения и узлам сближения модельных кривых для каждого петрогенного элемента. Нормали, проведённые от оси ординат к узлам пересечения, фиксируют температуру ликвидуса на уровне 1148°C. В результате был получен модельный состав расплава (мас. %): SiO₂ – 46.01, TiO₂ – 0.72, Al₂O₃ – 17.69, FeOт – 14.33, MnO – 0.20, MgO – 7.47, CaO – 10.75, Na₂O – 2.10, K₂O – 0.28, P₂O₅ – 0.47, H₂O – 1.7. Полученные составы породообразующих минералов (оливина, плагиоклаза, клинопироксена) оказались близки к природным.

Обсуждение. Внутреннее строение массива Ташлы-Тау характеризуется относительной однородностью, а породообразующие минералы (в первую очередь – плагиоклаз) имеют равномерную концентрическую зональность химического состава, исходя из чего возникновение массива связывается с однократным внедрением магмы (закрытая система). Различия среднего состава пород с модельным расплавом связаны с наличием в магме фенокристов оливина, находящихся в равновесии с расплавом. Это подтверждается присутствием зёрен оливина в приконтактных породах. В момент внедрения *in situ* магма состояла из расплава и твёрдой фазы – вкрапленников оливина и возможно, шпинели. Руководствуясь данными о составе оливина (Fo77–73) можно рассчитать, что для компенсации недостающей разницы в содержаниях MgO между модельным расплавом и средним составом изучаемых пород нужно около 16–18 мас. % вкрапленников оливина в магме.

Изотопно-геохимические данные свидетельствуют о несущественной роли коровой контаминации родоначального расплава, как минимум в верхнекоровых условиях. По соотношениям εSr(T) и εNd(T) породы массива Ташлы-Тау очень близки к мантийной компоненте PREMA. Изучаемые габброиды характеризуются более высоким отношением ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, в целом отвечая по Sr-Nd изотопному составу внутриплитным океаническим базальтам с высоким отношением ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd.

Заключение. Массив Ташлы-Тау худолазовского дифференцированного комплекса сложен богатыми роговой обманкой оливиновыми габброидами и в целом обладает однородным внутренним строением. Породы характеризуются повышенными содержаниями MgO и FeOт, низкой глинозёмистостью, а также повышенными концентрациями крупноионных литофильных элементов (Cs, Rb, Sr, Ba) и пониженными – высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, REE). Согласно методу геохимической термометрии и численному моделированию параметров кристаллизации исходная магма состояла из водонасыщенного (~1,7

мас. % H₂O), умеренномагнезиального, высокоглинозёмистого и высокожелезистого базальтового расплава и 16–18 мас. % вкрапленников оливина (Fo76). Температура ликвидуса – 1148 °С.

Изотопные Sr-Nd данные свидетельствуют о низкой роли коровой контаминации родоначального расплава ($\epsilon\text{Nd}(T) = +5.2\dots+10.3$, $\epsilon\text{Sr}_{\text{UR}}(T) = 0\dots+3.72$), как минимум в верхнекоровых условиях. В качестве источника родоначального расплава мог служить мантийный резервуар типа ПРЕМА (ювенильная дебетированная мантия).

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-35-00391) в рамках Госзадания ИГ УФИЦ РАН № 0246-2019-0080.

Библиографический список

1. Арискин А.А., Бармина Г.С. Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука, 2000. 363 с.
2. Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 288 с.
3. Рахимов И.Р. Геология, петрология и рудоносность позднедевонско-карбонowego интрузивного магматизма Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Уфа, 2017. 181 с.
4. Рахимов И.Р., Вишнеvский А.В., Зайлямов Ш.Р., Михеева А.В. Минералогия пород и руд интрузии Ташлы-Тау худолазовского комплекса // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2018. № 25. С. 77–85.
5. Салхов Д.Н., Беликова Г.И., Пучков В.Н., Эрст Р., Сёдерlund У., Камо С., Рахимов И.Р., Холоднов В.В. Никеленосный интрузивный комплекс на Южном Урале // Литосфера. 2012. № 6. С. 66–72.
6. Lyubetskaya T., Korenaga J. Chemical composition of earth's primitive mantle and its variance // Journal of geophysical research. 2007. Vol. 112. P. 1–21.
7. Lodders K., B. Fegley. The Planetary Scientist's Companion. Oxford University Press, New York, 1998. 400 p.

PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE TASHLY-TAU ORE-BEARING MASSIF (KHUDOLAZ COMPLEX, SOUTH URALS)

I.R. Rakhimov, E.L. Kunakuzin

Petrographic and petrological-geochemical studies of the Tashly-Tau ore-bearing massif rocks of the Khudolaz complex have been carried out. It was revealed that the rocks are rich in hornblende and can be called olivine plagiogornblendites. They are characterized by high concentrations of LILE (Cs, Rb, Sr, Ba) and low concentrations of HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf, REE). It was established by geochemical thermometry that the parental magma was a water-saturated, moderate magnesian melt containing olivine phenocrysts in an amount of 16–18 wt.%. Sr-Nd isotopic data ($\epsilon\text{Nd}(T) = +5.2\dots+10.3$, $\epsilon\text{Sr}_{\text{UR}}(T) = 0\dots+3.72$) indicate a weak crustal contamination of the parental melt by upper crust. The source of the parental melt could be a PREMA-type mantle reservoir.

Keywords: Khudolazovsky complex, magma, modeling, geochemistry.