

О ПРИРОДЕ РУДОНОСНОГО ГАББРО ВОЛКОВСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Ю. А. Полтавец, Г. С. Нечкин, З. И. Полтавец

При решении многих генетических проблем внутриинтрузивного базальтоидного оруденения исследователи обычно обращаются к рудам двух типов: титаномагнетитовым в габброидах и пироксенитах (уральский тип) и сульфидным в долеритах (норильский тип), оставляя в стороне переходные случаи совмещения в одном массиве этих двух типов оруденения. На Урале такой случай представляет Волковский габбровый массив, расположенный в Тагило-Кушвинском габбро-сиенитовом комплексе. Массив (рис. 1) в северной своей части представлен разнообразными по составу габбро, сменяющимися к восточной периферии габбро-диоритами и пироксен-роговообманковыми диоритами, к югу – кварцевыми, кварцсодержащими пироксеновыми

и биотит-роговообманковыми диоритами Черно-вского массива, имеющими интрузивные контакты с габбро и сформировавшимися после полной консолидации габбро и габбро-диоритов [12].

Зона перехода от габбро к диоритам насыщена мелкозернистыми меланократовыми автолитами состава габбро [17]. Предполагается, что все вышеперечисленные породы Волковского массива являются, судя по имеющимся петрохимическим данным, дифференциатами единой магмы, внедрение которых происходило поэтапно с небольшими перерывами в следующей последовательности: габбро – пироксен-роговообманковые диориты – кварцевые и кварцсодержащие пироксен- и биотит-роговообманковые диориты. По гравимагнитным

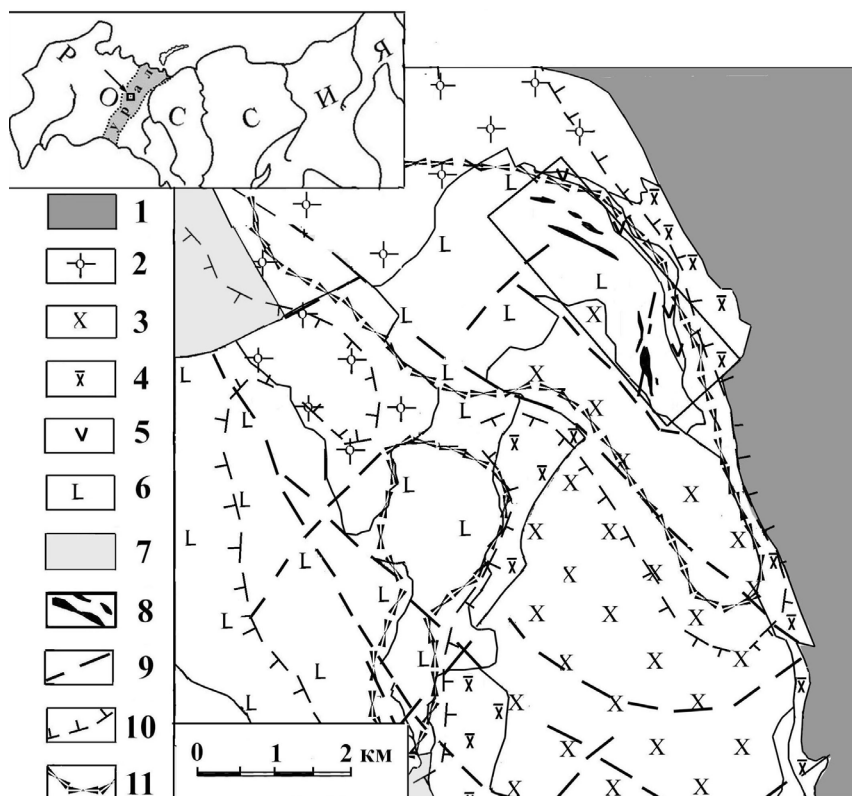


Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Волковского габбрового массива (по материалам Красноуральской ГРП).

1 – вулканогенно-осадочные породы ($S_{2p}-D_1^2$); 2 – диорит-сиенитовый комплекс, диориты кварцевые и кварцсодержащие (Кушвинский массив); 3 – диориты кварцевые и кварцсодержащие (Черновский массив); 4 – диориты пироксен-роговообманковые; 5 – габбро-диориты; 6 – габбро оливинсодержащее, преимущественно лабрадорное; 7 – роговики; 8 – рудные зоны Волковского месторождения; 9 – разрывные нарушения; 10 – контур массива на глубине 500 м (по данным гравиметрии); 11 – контур массива на глубине 2500 м (по данным гравиметрии).

данным для габбро Волковского массива рассчитаны два его контура – малоглубинный (глубина 500 м) и глубинный (глубина 2500 м). Соотношение глубинных контуров показывает: 1) габброидный массив прослеживается на севере и северо-западе под сиенитами и диоритами Кушвинского массива на значительное расстояние, до 3 км; 2) на глубину массив погружается несколькими “корнями”, причем наиболее мощный из них (на глубине около 2.5 км его сечение 9×3 км) находится в северо-восточной части массива, где размещается Волковское месторождение. Восточный контакт массива с вулканитами подобен зоне взброса. Здесь и в других местах геологический возраст массива установить не удается. Геохронологические данные [11], определенные U-Pb методом по циркону, соответствующие основному этапу кристаллизации габбро Волковского массива, дают возраст, близкий к границе ордовика и силура ($445 \pm 40 \div 435 \pm 10$ млн. лет). Это, в общем, совпадает с определениями, полученными Sm-Nd методом (460 ± 50 млн. лет) для силурийских вулканитов Уральской сверхглубокой скважины [20]. В принципе, волковские габбро могут считаться изохронными островодужным вулканитам Тагильской зоны.

Волковский массив по своему геологическому положению несколько смещен к востоку от осевой линии главного габбро-пироксенит-дунитового (Платиноносного) пояса, т.е. занимает в общем геологическом разрезе более высокое место. Тем не менее, роговики его западного контакта, рассматриваемые как кытлымиты [1] – одна из составляющих Платиноносного пояса – не позволяют непосредственно оторвать от пояса волковские габбро, и, в то же время, расширяют круг вероятных генетических различий среди его габбровых членов.

Сопоставление петрохимических черт габброидов, традиционно включаемых в Платиноносный пояс, и волковских [18] указывает на их вероятную принадлежность к различным формационным типам и производным различных геодинамических обстановок, тем не менее, однозначно не определяющих. Попытка прямого сопоставления рудных (меденосных) волковских габбро и встречающихся в Платиноносном поясе (Серебрянская площадь) [15] показала отсутствие сходства. Серебрянские рудные габбро и пироксениты не идентичны меденосным волковским.

Высказываются предположения, что в Платиноносном поясе волковские габбро принадлежат его верхней островодужной части [6]. Тем самым подчеркивается, что концепция островодужной природы рудоносного волковского габбро заслуживает дальнейшей проработки.

Здесь необходимо заметить: в металлогеническом отношении рудоносные габброиды Волковского массива и ассоциирующие с ними титаномагнетитовые и медносulfидные руды, по мнению

некоторых исследователей [2], являются рудно-формационным аналогом раннепротерозойского Чинейского плутона на юге Сибирской платформы. Однако, по нашим данным [19], Волковский массив в большей степени сопоставим не с Чинейским массивом, для которого характерен преимущественно пирит-пирротин-халькопиритовый тип оруденения с незначительным развитием борнита и с преобладанием в рудах платины над палладием ($Pd/Pt \leq 1$) [4], а с Номгонским троктолит-анортозит-габбровым массивом нижнепалеозойского возраста (Монголия) [8]. Последний обнаруживает в целом большое сходство с Волковским массивом по составу габброидов и сульфидной минерализации (преимущественно развитию борнита и халькопирита с очень высоким отношением $Cu/(Cu + Ni) = 90 \div 97$ и по преобладанию в рудах палладия над платиной ($Pd/Pt = 1.9 \div 3.4$)).

Ведущими чертами химизма габброидов Волковского массива являются повышенная глинозелистость, фосфористость и умеренная магнезиальность при относительно низкой титанистости и щелочности (табл. 1).

Таблица 1. Средний химический состав (мас. %) и нормы по CIPW габброидов Волковского массива.

Компоненты	Габброиды				
	1 (15)	2 (93)	3 (30)	4 (8)	5 (24)
SiO ₂	46.73	38.80	37.49	48.63	60.64
TiO ₂	0.98	1.02	1.14	1.26	0.51
Al ₂ O ₃	16.87	17.28	18.88	17.77	17.26
Fe ₂ O ₃	4.42	6.09	6.33	не опр.	0.56
FeO	6.90	7.66	7.89	9.98*	3.72
MnO	0.12	0.21	0.14	0.25	0.17
MgO	5.59	6.94	7.06	5.12	2.55
CaO	10.98	14.98	16.04	9.50	4.55
Na ₂ O	3.08	1.08	1.08	3.18	4.48
K ₂ O	0.49	0.27	0.23	0.94	0.85
P ₂ O ₅	0.56	1.82	1.24	1.16	0.30
	Нормы по CIPW				
Q	–	–	–	–	15.96
C	1.15	7.78	–	–	1.42
Or	2.61	1.46	1.19	5.56	5.02
Ab	24.04	7.09	1.80	26.41	37.90
An	28.00	36.99	38.93	31.46	20.61
Ne, Lc	4.42	3.05	7.60	0.26	–
Di	18.44	19.21	16.64	6.77	–
Hu	9.70	5.26	10.63	15.09	12.19
Ol	7.76	16.05	18.18	10.94	–
Mt	7.34	9.89	8.89	–	0.81
Hm	–	0.69	–	–	–
Pl	3.10	3.10	3.33	2.39	0.97
Ap	0.67	2.13	1.32	2.75	0.71
Pl ^{an}	0.52	0.81	0.97	0.49	0.32

Примечание. 1 – габбро лабрадорное, порода содержит также S = 0.12% и Cu = 0.14%; 2 – габбро битовнитовое, S = 0.29% и Cu = 0.55%; 3 – габбро анортозитовое, S = 0.20% и Cu = 0.27%; 4 – габбро-диориты, по данным [12]; 5 – кварцевые диориты Черновского массива; в скобках количество анализов.

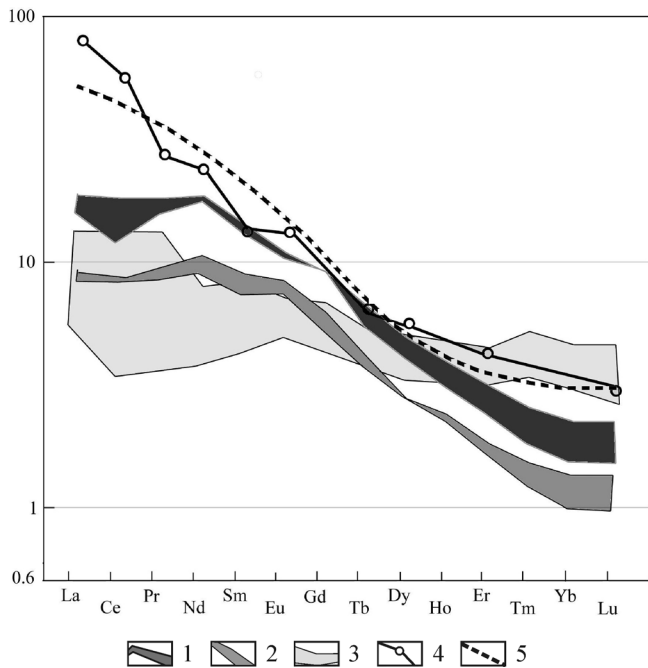


Рис. 2. Нормированное к составу примитивной мантии [22] распределение РЗЭ в габброидах Волковского массива в сравнении с типовыми составами пород различных геодинамических обстановок.

1 – в рудных габброидах (9 анализов); 2 – в безрудных габброидах (2 анализа); 3 – в расплавленных включениях основного состава в породах островных дуг и континентальных активных окраин, а также в базальтах южной части Курильской гряды; 4 – в базальтах континентальных рифтов (KR); 5 – то же океанических островов (ОИВ).

Кроме того, особенности химического состава габброидов Волковского массива отчетливо проявляются при анализе средних содержаний ряда петрогенных и рудообразующих элементов (полученных методом ICP-MS) и их сопоставлении с базальтами или их интрузивными аналогами из разных геодинамических обстановок. Для оценки возможных источников магматических пород и палеогеодинамических обстановок их формирования обычно используются как редкоземельные (РЗЭ), так и целый ряд несовместимых высокозарядных (Th, Ta, Nb, Zr, Hf) элементов и элементов с крупным ионным радиусом (Rb, Ba, Sr и др.). На диаграмме (рис. 2) дано нормированное к составу примитивной мантии [22] распределение РЗЭ в габброидах массива в сравнении с базальтами южной части Курильской островной гряды [13] и океанических островов (ОИВ), которые по составу РЗЭ наиболее близки к базальтам континентальных рифтов [14]. Такой выбор обусловлен тем, что в настоящее время на природу Платиноносного пояса Урала, в том числе и Волковского массива габброидов, помимо островодужной точки зрения [6, 7 и др.] существует и континентально-рифтогенная [10].

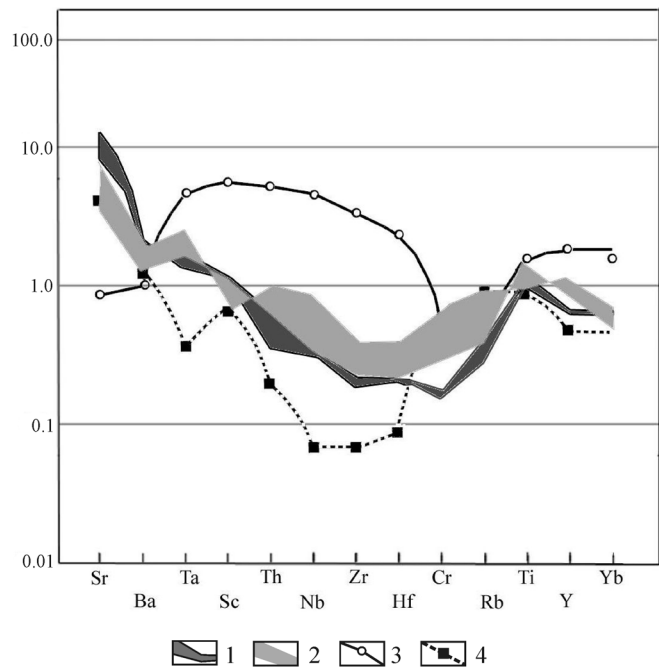


Рис. 3. Распределение некоторых элементов в габброидах Волковского массива в сравнении с толеитами низкокальциевой серии континентальных платобазальтов.

1–3 – нормированное к среднему составу расплавленных включений в базальтах островных дуг и активных окраин распределение элементов в рудных габброидах (1), безрудных габброидах (2) и толеитах низкокальциевой серии континентальных платобазальтов (3); 4 – распределение элементов в габброидах массива, нормированное к среднему составу толеита низкокальциевой серии континентальных платобазальтов.

Как видно из рис. 2, габброиды массива в области легких и средних РЗЭ имеют в целом островодужный характер распределения.

По концентрации же тяжелых РЗЭ породы близки к примитивной мантии. По сравнению с островодужным распределением они отличаются более крутым трендом, сходным с трендами ОИВ и KR. Судя по имеющимся экспериментальным данным по коэффициентам распределения РЗЭ между минералами и расплавами основного состава [9], более крутой тренд может быть обусловлен фракционированием ликвидусных ассоциаций с участием граната, а также, в значительной меньшей степени, оливина и магнетита. Таким образом, спектр РЗЭ в габброидах массива, скорее всего, свидетельствует о генерации базальтоидной магмы на относительно больших глубинах по сравнению с островодужными толеитами. В зависимости от флюидного давления распределение РЗЭ во флюидсодержащем базальтовом расплаве имеет сложный характер, обусловленный проявлением экстремальной зависимости растворимости РЗЭ в расплаве в области 5–8 кбар [5]. Обеднение образующегося расплава тяжелыми РЗЭ должно происходить при вза-

имодействии водно-хлоридного флюида с базальтовым расплавом в условиях повышенного и высокого флюидного давления: либо в гипабиссальных (1–3 кбар), либо в мезоабиссальных (≈ 12 кбар) условиях. Ранее [16] было показано, что фракционирование и кристаллизация габброидного расплава могли происходить в условиях повышенного флюидного (водного) давления или фракционирования расплава на весьма значительной глубине. Таким образом, в формировании геохимического облика рассматриваемых пород Волковского массива и одноименного месторождения, вероятнее всего, играли разные факторы, обусловленные процессами флюидно-магматической и кристаллизационной дифференциации, протекающими на разных уровнях глубинности при продвижении магматической колонны исходных расплавов в верхние горизонты земной коры.

В пользу островодужного характера магматизма Волковского массива свидетельствуют также рассмотренные нами ранее закономерности распределения в габброидах массива высокозарядных элементов в координатах Th/Yb – Ta/Yb, La-Y-Nb и др. [18]. В продолжение этих исследований на диаграмме (рис. 3) показано распределение ряда элементов с крупным ионным радиусом (Ba, Sr, Rb) и высокозарядных (Th, Ta, Nb, Zr, Hf и др.) элементов в сопоставлении с континентальными траппами, нормированными к среднему составу расплавных включений основного расплава в базальтах островных дуг и активных континентальных окраин, отражающих начальные стадии дифференциации базальтоидных расплавов [14].

Как видно из диаграммы (рис. 3), габброиды массива по сравнению со средним составом толеита низкокальциевой серии континентальных плато-базальтов [3] резко обеднены Ta, Th, Nb, Zr и Hf. Обеднены они Zr, Hf и Sr и по отношению к среднему составу расплавных включений основного расплава в островодужных магматитах (соответствуя в целом их нижней границе доверительных интервалов). В этой связи можно предположить, что аномально низкие концентрации Zr, Hf, Ta, Nb в рассматриваемых породах могли быть связаны также с выплавлением габброидной магмы из гидратированной океанической литосферы в высокобарических условиях, сопровождаемым концентрацией этих элементов в таких реститогенных минералах, как например, рутил [23, цит. по 21]. Таким образом, приведенные геохимические данные с учетом вариаций содержаний рассматриваемых элементов в целом не противоречат представлению об островодужной надсубдукционной природе рудоносных габброидов Волковского массива.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 09-05-12035-офи_м и Программы № 2 фундаментальных исследований ОНЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникина Е.В., Русин И.А., Филиппов В.Н., Пушкарёв Е.В., Берсенев С.Я. Благороднометальное оруденение в ультрамафитах Волковской интрузии на Среднем Урале: минералы и минеральные парагенезисы // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 250–260.
2. Богнибов В.И., Павлов А.А. Элементы платиновой группы в титаноносных ультрабазит-базитовых ассоциациях и механизм их концентрирования // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 2. С. 33–49.
3. Геологическое картирование вулканоплутонических поясов. М., 1994. 301.
4. Гонгальский Б.И., Криволицкая Н.А. О платиноносности Чинейского расслоенного массива // Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М.: Наука. 1994. С. 144–154.
5. Жариков В.А., Горбачев Н.С. Поведение редкоземельных элементов в флюидно магматических системах (по экспериментальным данным) // Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий. Т. 2. М.: Наука, 2004. С. 21–37.
6. Золов К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: Департамент природных ресурсов по Уральскому региону, 2001. 199 с.
7. Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд. лет) и строения Урала докторская диссертация). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 252 с.
8. Изох А.Э., Поляков Г.В., Аношин Г.Н., Голованова Н.П. Геохимия платиновых металлов, золота и серебра в Номгонском троктолит-анортозит-габбровом массиве (МНР) // Геохимия. 1991. № 10. С. 1398–1405.
9. Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие. М., 2001. 288 с.
10. Каретин Ю.С. Геология и вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2000. 276 с.
11. Краснобаев А.А., Феритатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро М. Цирконы из магматитов Тагильской и Магнитогорской зон как основа их возрастных и корреляционных соотношений // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 276–283.
12. Маегов В.И. К петрологии Волковского месторождения медносульфидных и апатит-титаномagnetитовых руд (Средний Урал) // Уральский геологический журнал. 1999. № 5 (11). С. 57–73.
13. Мартынов Ю.А., Дриль С.И., Чащин А.А. и др. Геохимия базальтов островов Кунашир и Итуруп – роль несубдукционных факторов в магмогенезисе Курильской островной дуги // Геохимия. 2005. № 4. С. 369–383.
14. Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А., Ярмолюк В.В. Средние содержания петрогенных, летучих и редких элементов в магматических расплавах различных геодинамических обстановок // Геохимия. 2004, № 10. С. 1113–1124.
15. Нечкин Г.С., Полтавец Ю.А. К происхождению медносульфидных руд серебрянской зоны Кытлымского массива (Северный Урал) // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 351–353.

16. *Полтавец Ю.А.* Возможные физико-химические параметры формирования габброидов Волковского массива (Средний Урал) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 187–189.
17. *Полтавец Ю.А., Нечкин Г.С.* К вопросу о генезисе включений в диоритах Волковского месторождения (Средний Урал) // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 81–84.
18. *Полтавец Ю.А., Нечкин Г.С., Полтавец З.И., Клевцов Е.И.* Петро-геохимические особенности габброидов Волковского массива (Средний Урал) // Ежегодник-1998. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. С. 187–189.
19. *Полтавец Ю.А., Сазонов В.Н., Полтавец З.И., Нечкин Г.С.* Закономерности распределения благородных металлов в рудных парагенезисах Волковского габбрового массива (Средний Урал) // Геохимия. 2006. № 2. С. 167–190.
20. *Розен О.М., Журавлев Д.З.* Изотопно-геохимическое исследование силура Тагильской синформы: рифейское океаническое плато в нижней коре Уральского орогена // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: мат-лы XXXVII тект. совещ. Т. 2. Новосибирск: СО РАН, 2004. С. 111–114.
21. *Шарков Е.В., Бортников Н.С., Богатиков О.А. и др.* Третий слой океанической коры в осевой части Срединно-атлантического хребта (полигон Сьерра-Леоне, 6° с.ш.) // Петрология. 2005. Т. 13. № 6. С. 592–625.
22. *McDonough W.F., Sun S-s.* The composition of the Earth // Chem. Geology. 1995. 120. P. 223–253.
23. *Peacock S. M., Rushmer T., Thompson A.B.* Partial melts subducting oceanic crust // Earth Planet. Sci. Lett. 1994. V. 121. P. 227–244.