

ПЕТРОЛОГИЯ

О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ АМФИБОЛИТОВ ВОСТОЧНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ХАБАРНИНСКОГО МАССИВА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

А.П. Бирюзова, Е.В. Пушкарев

В составе офиолитовых аллохтонов Урала широко развиты метаморфические породы, преимущественно представленные амфиболитами [Ефимов, 1984; Ефимов, Потапова, 2000; Соболев, Панеях, 1983, 1992, и др]. Субстратом этих пород, как правило, являются разнообразны габброиды или вулканогенные породы основного состава. Не является исключением из этого правила и Хабаровинский мафит-ультрамафитовый массив, расположенный на Южном Урале примерно в 30 км к западу от Орска. Метаморфические породы развиты в его восточном и северо-западном обрамлении. Амфиболиты северо-западного блока (балка Сучково), были детально изучены С.Ф. Соболевым и А.Н. Панеях [1983, 1992]. Авторы привели подробную петро-, геохимическую характеристику этих пород и показали, что субстратом амфиболитов являются океанические субщелочные базальты.

Целенаправленного изучения метаморфических пород восточного блока до нас не проводилось. В работах А.С. Варлакова, А.Т. Зверева, Г.М. Лобановой и других исследователей [Варлаков, 1978; Зверев, Лобанова, 1973] приведена лишь краткая информация о геологическом положении и петрографии пород, но отсутствуют данные о их составе, что затрудняет интерпретацию первичного состава субстрата амфиболитов и их генезиса. Проведенное нами исследование показало, что амфиболитовая толща в восточном экзоконтакте Хабаровинского массива, вытянутая в меридиональном направлении более чем на 20 км при средней видимой мощности около 1 км, имеет двухчленное строение [Пушкарев и др., 2004]. В восточной, преобладающей по объему, части зоны, с видимой мощностью до 700-800 м, залегают рассланцованные мелкозернистые амфиболиты. Они смя-

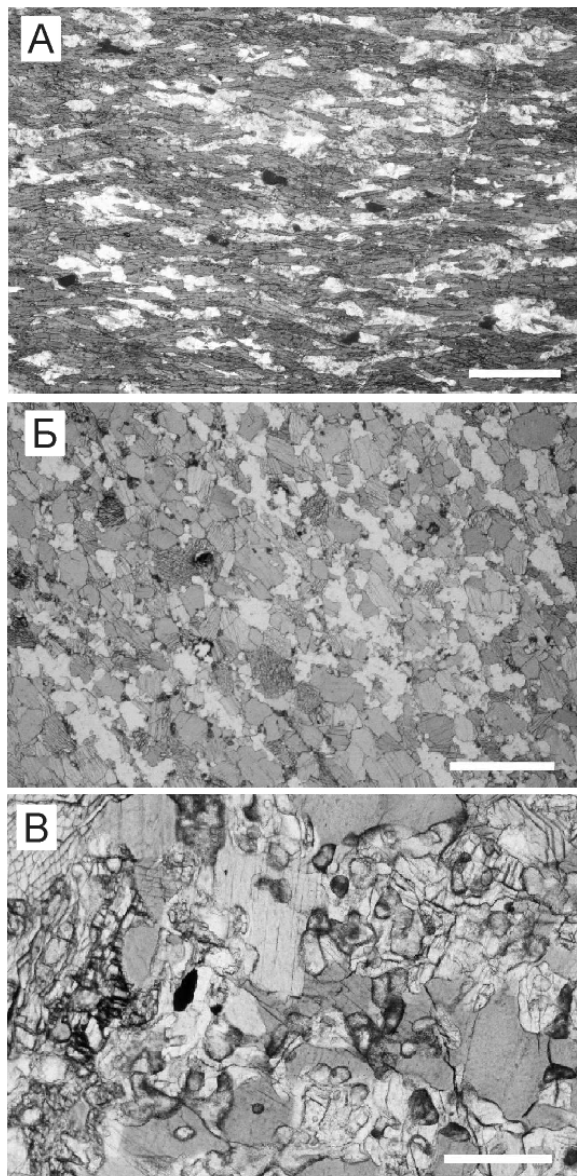
ты в крупные, сравнительно пологие складки, осложненные интенсивной складчатостью более высокого порядка. К западу они резко сменяются массивными или тонкополосчатыми амфиболитами, с многочисленными согласными прослоями и линзами гранатовых амфиболитов, мелкозернистых кварцитов и кварцито-гнейсов. Видимая мощность этой зоны составляет 100-200 метров. На западе амфиболиты подстилают габбро-нориты восточно-хабарнинского комплекса (ВХК) [Петрология постгарцбургитовых..., 1991], в контакте с которыми развиваются амфибол-клинопироксеновые роговики.

Несколько ранее нами показано, что гранатовые амфиболиты, кварциты, и кварцито-гнейсы, залегающие среди амфиболитов всяческого бока, скорее всего, имеют терригенно-осадочное происхождение [Бирюзова, Пушкарев, 2004], поэтому в данной статье они не рассматриваются. Целью данной работы является сравнительная петрогеохимическая характеристика двух выделенных нами типов амфиболитов восточного экзоконтакта Хабаровинского массива, интерпретация природы их первичного субстрата и сравнение с типовыми составами базальтов разных геодинамических обстановок.

Мелкозернистые сланцеватые амфиболиты в лежащем боку метаморфической толщи характеризуются нематогранобластовой структурой. Главными породообразующими минералами являются эденит, плагиоклаз (An_{20-40}) и клиноцоизит. Амфибол образует тонкопризматические кристаллы, ориентированные субпараллельно друг другу (рис. 1 а). Массивные среднезернистые амфиболиты в висячем боку толщи обладают гранобластовой структурой (рис. 1 б). Главными породообразующими минералами являются зеленовато-бурый или темно-коричневый высокоглиноземистый (9-13% Al_2O_3) эде-

Рис. 1. Микроструктуры амфиболитов и роговиков восточного экзоконтакта Хабарнинского массива.

а) Проба Х61856. Нематогранобластовая структура рассланцованных амфиболитов лежачего бока. Темно-серое – амфибол, светлое – плагиоклаз, клиноцоизит, кварц, черное – рудный минерал. Длина масштабной линейки 1 мм. Ник. II; б) Проба Х61767. Гранобластовая структура массивных амфиболитов висячего бока. Темно-серое – амфибол, светлое – плагиоклаз. Длина масштабной линейки 2 мм. Ник. II; в) Проба Х61800. Амфибол-клинопироксеновый роговик из контакта с габбро-норитами восточно-хабарнинского комплекса. Темно-серое – амфибол, светлое – клинопироксен с округлыми включениями измененного плагиоклаза. Длина масштабной линейки 0.5 мм. Ник. II.



нит с переменным (иногда высоким) количеством титана (до 1,97 мас.%) и плагиоклаз (An_{25-40}). Роговики, развитые по амфиболитам в контакте с габбро-норитами восточно-хабарнинского комплекса, характеризуются тонкозернистой, аллотриаморфнозернистой структурой и более поздним развитием клинопироксена по отношению к амфиболу (рис. 1 в).

Отмеченная смена текстурно-структурных особенностей амфиболитов по направлению к контакту с габбро-норитами в свое время была интерпретирована как прогрессивная зональность, связанная с контактовым воздействием габброидов на монотонную толщу метавулканитов [Эвгеосинклинальные..., 1984; Петрология постгарцбургитовых..., 1991]. Несомненно, что пироксеновые роговики являются результатом высокотемпературного контактового процесса. Другое дело амфиболиты. Смена сланцеватых нематогранобластовых амфиболитов лежачего бока массивными гранобластовыми амфиболитами висячего бока происходит резко, без видимого градиента. Кроме того, во многих частях разреза они разделены зоной апогаббровых амфиболитов с высокими содержаниями стронция (до 700-900 г/т) и калия (до 1-1.5 % K_2O), что более характерно для габбро-норитов ВХК. Таким образом, весьма затруднительно интерпретировать смену двух типов амфиболитов в разрезе как результат единого контактово-метаморфического процесса.

Скорее всего, наблюдаемая гетерогенность – это первичная особенность разреза.

Проведенное нами опробование амфиболитов из выделенных двух зон показало, что они обладают невыдержанным составом. Рядом расположенные пробы могут существенно отличаться друг от друга по железистости, содержанию титана, щелочей и других компонентов. Расчеты нормативного состава (метод CIPW) также отражают эту сложную ситуацию и показывают, что в амфиболитовом разрезе одновременно присутствуют и кварц-нормативные, и оливин-нормативные, и оливин-нефелин-нормативные породы. Однако в массивных и деформированных амфиболитах висячего бока толщи кварц нормативные составы не отмечены.

На классификационной диаграмме $\text{SiO}_2\text{-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)}$ химические составы обоих типов амфиболитов и роговинов (рис. 2, табл.) не разделяются и лежат в поле базальтов нормального ряда, за исключением единичных проб, попадающих в поле пикробазальтов. В целом все амфиболиты характеризуются сравнительно низкими концентрациями кремнезема (44-48 % SiO_2), пониженными содержаниями глинозема (<13 % Al_2O_3), рубидия (<15 г/т) и стронция (100-350 г/т). Сравнение химического состава амфиболитов между собой показало, что, несмотря на имеющееся сходство, они все же отличаются друг от друга, как минимум по уровню трех элементов: кальция, натрия и стронция. Амфиболиты лежачего бока характеризуются более высокими содержаниями кальция, более низкими концентрациями натрия и стронция (табл., рис. 3), что действительно делает их сходными с базальтами MORB типа, как это предполагалось раньше, на основе единичных анализов пород [Петрология постгарцбургитовых..., 1991]. Однако отдельные пробы этих амфиболитов обладают повышенной железистостью, высокими уровнями титана, превышающими 2% TiO_2 и, также как и массивные амфиболиты, все они характеризуются низким глиноземом, уровень которого не соответствует составам типичных базальтов, практически любых геодинамических обстановок (рис. 3). По этому параметру, а также по количеству суммарного железа, амфиболиты восточного экзоконтакта Хабарнинского массива отлича-

ются как от базальтов MORB и габбро-норитов ВХК, так и от амфиболитов северо-западного экзоконтакта массива (балка Сучково), подробно описанных ранее [Соболев, Панеях, 1983; 1992], хотя по содержанию титана и щелочей они к ним близки.

Содержание натрия в массивных амфиболитах достигает 3-3.5%, что несколько выше, чем в базальтах нормальной щелочности. Для этих пород также характерны отдельные разновидности с высоким содержанием титана, превышающим 2% TiO_2 . Уровень стронция достигает 300-350 г/т, что соответствует островодужным вулканитам. Все амфиболиты относятся к умеренно-, низкокалийевым породам с содержаниями K_2O , не превышающими 0.4%, хотя статистически массивные амфиболиты немного богаче калием по сравнению с расланцованными амфиболитами. В целом можно констатировать, что амфиболиты обладают слабо выраженными признаками повышенной натровой щелочности (частое присутствие нефелина в CIPW норме, иногда вместе с оливином).

Большинство проанализированных методом ICP-MS амфиболитов характеризуются очень пологим, субгоризонтальным распределением РЗЭ на уровне 10-20 хондритовых стандартов (рис. 4). La_N/Yb_N отношение близко к единице. В породах очень слабо проявлено обеднение легкими редкоземельными элементами, характерное для базальтов MORB типа, хотя слабая отрицательная аномалия европия, типичная для этих пород, почти всегда присутствует.

По суммарным содержаниям РЗЭ и характеру их распределения и массивные, и расланцованные амфиболиты полностью перекрываются. Довольно трудно провести какие-либо аналогии, но следует отметить,

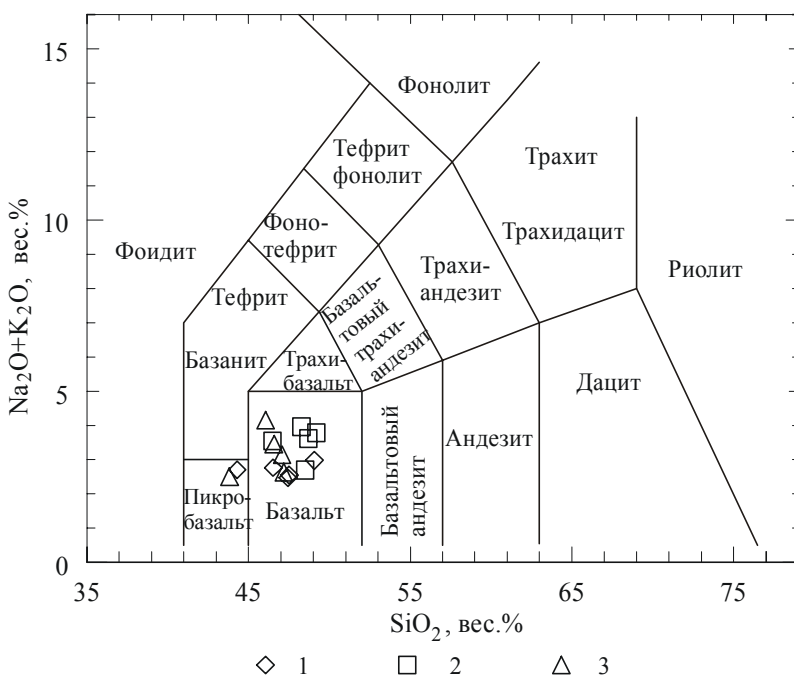


Рис. 2 Классификационная диаграмма $\text{Na}_2\text{O+K}_2\text{O-SiO}_2$ для метаморфических пород восточного обрамления Хабарнинского массива.

1 – расланцованные амфиболиты; 2 – массивные амфиболиты; 3 – роговики.

ПЕТРОЛОГИЯ

Содержание петрогенных (мас.%) и редких (г/т) элементов в амфиболитах
из восточного обрамления Хабаровинского массива

Проба	X61760	X61853	X61854	X640e	X61767	X61768	X61800	X61610	X61662
Порода	Рассланцованные амфиболиты			Массивные амфиболиты			Роговики		
SiO ₂	46.53	47.43	44.29	48.50	48.26	48.68	47.09	43.82	46.56
TiO ₂	1.00	2.03	1.24	1.56	0.78	0.76	1.69	1.00	2.17
Al ₂ O ₃	12.15	10.77	12.90	10.68	12.15	11.90	10.77	13.32	12.21
Fe ₂ O ₃	2.68	5.70	2.54	1.67	2.47	2.62	4.28	1.84	4.23
FeO	7.6	8.8	8.7	10.37	8.3	7.55	9.5	10.06	9.35
MnO	0.16	0.19	0.17	0.21	0.18	0.17	0.204	0.19	0.17
MgO	8.43	5.70	7.72	10.22	8.39	8.28	8.75	9.78	4.67
CaO	12.23	11.69	12.32	10.62	10.01	9.92	10.90	13.52	12.58
Na ₂ O	2.4	2.4	2.6	2.48	3.7	3.4	2.4	1.71	2.9
K ₂ O	0.37	0.07	0.11	0.22	0.26	0.22	0.74	0.79	0.56
P ₂ O ₅	0.09	0.24	0.12	0.09	0.08	0.09	0.15	0.03	0.23
Сумма	96.07	96.79	95.19	99.83	96.55	95.36	98.87	98.23	97.62
Fe/(Fe+Mg)	0.40	0.58	0.44	0.39	0.41	0.40	0.46	0.40	0.61
La	2.66		3.40	2.57		2.76	4.10	0.88	6.78
Ce	7.08		8.87	8.71		7.48	11.53	3.61	18.70
Pr	1.11		1.36	1.65		1.20	1.84	0.75	2.99
Nd	5.67		6.93	8.98		6.26	9.68	4.71	15.84
Sm	1.99		2.48	3.18		2.00	3.56	1.76	5.69
Eu	0.73		0.94	1.09		0.67	1.26	0.76	1.91
Gd	2.47		3.21	4.18		2.27	4.66	2.33	7.39
Tb	0.50		0.60	0.74		0.45	0.92	0.41	1.43
Dy	3.43		4.12	5.63		3.11	6.23	2.74	9.64
Ho	0.76		0.88	1.25		0.72	1.36	0.59	2.04
Er	2.17		2.50	3.26		1.97	3.84	1.65	5.84
Tm	0.32		0.37	0.53		0.29	0.58	0.24	0.87
Yb	1.94		2.43	3.10		1.78	3.68	1.47	5.58
Lu	0.29		0.37	0.48		0.28	0.54	0.21	0.83
Rb	8.96	Не обн.*	2.51	6.61	Не обн.*	3.03	10.28	8.86	13.17
Sr	164.85	90.0*	147.53	141.9	233.0*	373.93	314.32	294.18	279.78

Примечание. Силикатные анализы пород выполнены рентгено-флюоресцентным методом на VRA-30, а определения Rb* и Sr* на СРМ-18 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (Руководитель группы Н.П.Горбунова). Редкоземельные элементы определены методом индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS) на приборе Element-2, Новоуральск.

что близкими моделями распределения иногда обладают толеиты океанических островов и внутриплитные континентальные толеиты. Ситуацию осложняет еще и геохимия гранатовых амфиболитов, переслаивающихся с амфиболитами висячего бока. Хотя мы и не рассматриваем их в этой статье, но они характеризуются сходным субгоризонтальным распределением

РЗЭ на уровне 50-60 хондритовых стандартов, что однозначно противоречит их MORB природе (рис. 4). В амфиболитах обоих типов отсутствуют отрицательные аномалии Ti, Nb, Zr, Hf, характерные обычно для островодужных базальтов. В качестве предварительного заключения, можно предположить, что амфиболиты соответствуют внутриплитным базальтам, воз-

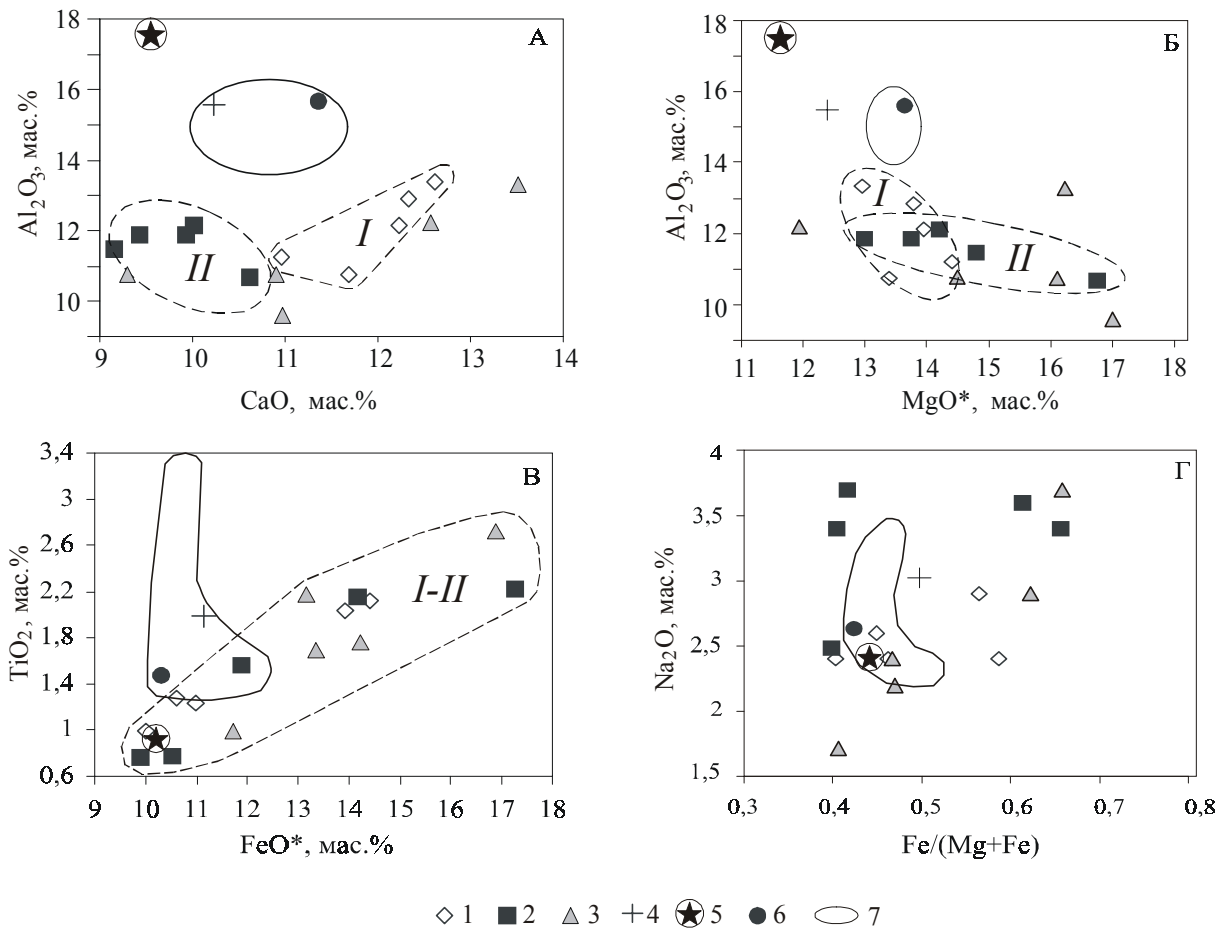


Рис. 3. Вариации химического состава амфиболитов восточного обрамления Хабаровинского массива.

1 – расланцованные амфиболиты лежачего бока, 2 – массивные амфиболиты висячего бока, 3 – роговики; 4 – средний состав амфиболитов северо-западного экзоконтакта (Сучковский блок) [Соболев, Панеях, 1983, 1992]; 5 – средний состав габбро-норитов восточно-хабаринской ассоциации [Эвгеосинклинальные..., 1984]; 6 – средний состав базальтов N-MORB; 7 – поле средних составов базальтов из разных геодинамических обстановок. I-II – поля составов амфиболитов: I – расланцованные амфиболиты; II – массивные амфиболиты.

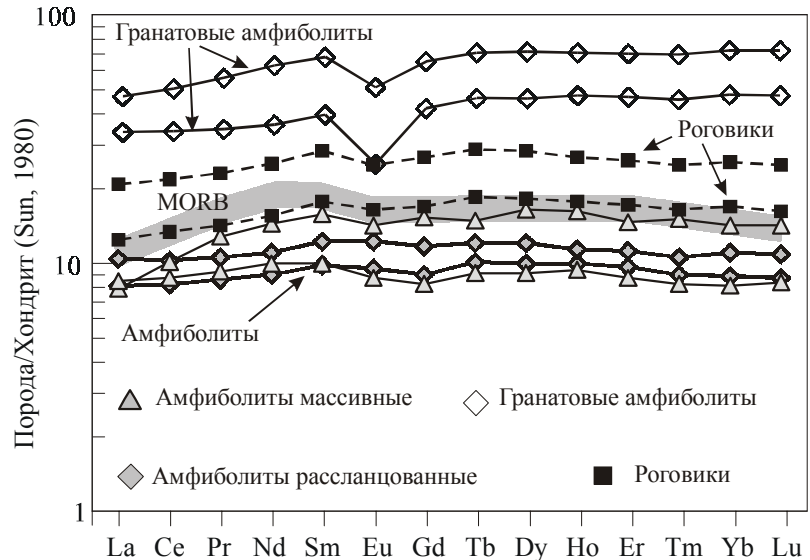
можно переходного типа между континентальными и океаническими. Не исключено, что они могут быть метаморфизованными аналогами базальтов куагашской свиты нижнего ордовика, для которых отмечается повышенная железистость, титанистость, щелочность и низкие содержания глинозема [Абдулин, Авдеев, Сеитов, 1977].

Еще одним важным результатом, полученным при анализе петро-геохимических данных, является вывод, что среди пироксеновых роговиков в контакте с габбро-норитами ВХК встречаются разновидности, которые могут

быть сопоставлены как с амфиболитами лежачего, так и с амфиболитами висячего бока. Действительно, фигуративные точки роговиков на диаграммах четко распадаются на две группы, тяготеющие к двум выделенным типам амфиболитов (рис. 3). Следовательно, несмотря на описанную нами стратификацию метаморфического разреза, в соприкосновение с габброидами приходят и массивные, и расланцованные амфиболиты, что может свидетельствовать о более сложном в тектоническом отношении строении толщи. Необходимо отметить также, что роговики всегда обогащены калием по срав-

Рис. 4. Распределения РЗЭ в амфиболитах и роговиках восточного экзоконтакта Хабаровинского массива, нормированные на хондрит.

Серая линия – средний состав базальтов срединно-океанических хребтов (MORB).



нению с амфиболитами сходного состава. Возможно, что калий привносится в процессе контактового метаморфизма при взаимодействии с высококальциевыми габбро-норитами ВХК.

Из приведенного выше материала можно сделать ряд выводов. Во-первых, есть все основания предполагать, что субстратом для двух выделенных типов амфиболитов послужили вулканогенные, или скорее вулканогенно-осадочные, породы (туфы) изначально несколько различного состава, хотя и имеющие определенную генетическую общность. Эта общность подчеркивается необычными особенностями состава пород: низкими содержаниями глинозема, не соответствующими средним базальтам, повышенными количествами суммарного железа, одинаковым характером распределения РЗЭ. Во-вторых, можно утверждать, что особенности состава амфиболитов не соответствуют ни океаническим базальтам MORB-типа, ни островодужным базальтам. Возможно, что субстратом для амфиболитов послужили внутриплитные базальтоиды переходного типа между континентальными и океаническими. В-третьих, состав амфиболитов восточного экзоконтакта Хабаровинского массива обладает как чертами сходства, так и различия с амфиболитами северо-западного контакта массива (балка Сучково), что затрудняет проведение между ними полной аналогии. И наконец, в-четвертых, можно утверждать, что пироксеновые роговики в контакте с габбро-норитами ВХК образуются и по массивным (висячий бок) и по рассланцованным (лежащий бок) амфиболитам, следовательно нет основания связывать наблюдаемые различия в Р-Т параметрах равновесия метаморфических пород только с влиянием контактового метаморфизма. Вероятно, контактовый метаморфизм лишь накладывается на уже су-

ществующие метаморфические парагенезисы, нарушая и усложняя их.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Поддержка ведущих научных школ» НШ-85.2003.5 и гранта Президиума УрО РАН 2003 по поддержке исследований молодых ученых и аспирантов.

Список литературы

Абдулин А.А., Авдеев А.В., Сеитов Н.С. Тектоника Сакмарской и Орь-Илекской зон Мугоджар. Алма-Ата: Наука, 1977. 241 с.
 Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В. Высокометаморфизованные метаосадочные породы в обрамлении и в составе восточно-хабаровинского ультрамафит-мафитового комплекса (Южный Урал) // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 99-103.
 Варлаков А.С. Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. М.: Наука, 1978. 238 с.
 Ефимов А.А. Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М.: Наука, 1984. 232 с.
 Ефимов А.А., Потапова Т.А. Высокобарические метагабброидные комплексы в офиолитах Полярного Урала: Метаморфизм «против часовой стрелки» в связи с зоной палеозойской субдукции // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 233-268.
 Ефимов А.А., Царицын Е.П. Образование пироксеновых амфиболитов по оливиновым габброидам в контактовой зоне Кемпирсайского гипербазитового

массива // Геология метаморфических комплексов Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. С. 26-36.

Зверев А.Т., Лобанова Г.М. Природа габбро-амфиболитов Главного гипербазитового пояса Урала (на примере Кемпирсайского и Хабарнинского массивов) // Известия АН СССР. Сер. геол. 1973. № 9. С. 53-67.

Пушкарев Е.В., Готтман И.А., Бирюзова А.П. Особенности геологического строения комплекса метаморфических пород в восточном экзоконтакте Хабарнинского массива на Южном Урале // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2004. С. 189-193.

Соболев С.Ф., Панях Н.А. Природа зеленосланцево-амфиболитовых ассоциаций экзоконтак-

товых зон Хабарнинского офиолитового массива // Известия АН СССР. Сер. геол. 1983. № 9. С. 53-68.

Соболев С.Ф., Панях Н.А. Приконтактный метаморфизм офиолитовых массивов Южного Урала // Известия АН СССР. Сер. геол. 1992. № 1. С. 22-42.

Петрология постгарцбургитовых интрузивов Кемпирсайско-Хабарнинской офиолитовой ассоциации (Южный Урал) / Балыкин П.А., Конников Э.Г., Кривенко А.П. и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 160 с.

Эвгеосинклиналильные габбро-гранитоидные серии / Ферштатер Г.Б., Малахова Л.В., Бородин Н.С. и др. М.: Наука, 1984. 264 с.