

УДК 550.4:552.4(470.5)

ВЫСОКОЖЕЛЕЗИСТЫЕ ГРАНАТОВЫЕ ПАРААМФИБОЛИТЫ В ПОДОШВЕ ХАБАРНИНСКОГО ОФИОЛИТОВОГО АЛЛОХТОНА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

© 2007 г. А. П. Бирюзова, Е. В. Пушкарев

Представлено академиком В.В. Ревердатто 20.02.2006 г.

Поступило 13.03.2006 г.

Офиолитовые аллохтоны часто сопровождаются метаморфическими породами, изучение которых может дать дополнительную информацию о тектонической обстановке и условиях их формирования. Чаще всего породы метаморфического ореола представлены метабазами, преобразованными в зеленосланцевой и амфиболитовой фации [2, 7, 9, 12]. Иногда среди них встречаются гранатовые амфиболиты и эклогиты, которые маркируют пик метаморфических преобразований. На Урале хорошо изучены метаморфические комплексы в основании Войкаро-Сыньинского (Полярный Урал) и Кемпирсайского (Южный Урал) офиолитовых массивов. Так, по данным А.А. Ефимова с соавторами [2, 3], гранатовые амфиболиты этих массивов образовались в результате проявления высокобарического метаморфизма, эволюционный *PT*-тренд которых двигался “против часовой стрелки”, а максимальные *PT*-параметры соответствовали давлению 10–13 кбар и температуре 750–500°C. Субстратом для этих пород послужили разнообразные габбро, реже основные вулканогенные породы. Гранатовые амфиболиты необычного минерального и химического составов, которые, по нашему мнению, указывают на осадочную природу протолита, были обнаружены в составе комплекса метаморфических пород в подошве Хабаровинского офиолитового аллохтона.

Хабарнинский и Кемпирсайский офиолитовые массивы входят в структуру верхней тектонической пластины Сакмарской аллохтонной зоны на Южном Урале [4, 7] (рис. 1). По результатам глубокого бурения установлено, что мощность мафит-ультрамафитовой пластины Хабаровинского массива не превышает 1.5–2 км и она практически повсеместно подстилается метаморфически-

ми породами, которые, по данным Н.П. Хераскова [12], также входят в структуру аллохтона, образуя его подошву. Мощность метаморфических пород не превышает 1 км. На поверхности эти породы обнажаются вдоль западного, северо-западного и восточного экзоконтактов мафит-ультрамафитового тела. Амфиболиты северо-западного блока были изучены Н.А. Панеях и С.Ф. Соболевым [9], которые показали, что породы соответствуют эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма ($T = 400\text{--}450^\circ\text{C}$, $P = 3\text{--}4$ кбар) и сформировались по субщелочным океаническим базальтам в процессе обдукции на них офиолитовой пластины. Гранатовых амфиболитов в этом блоке отмечено не было.

Все обнаруженные нами выходы гранатовых амфиболитов приурочены исключительно к восточной полосе метаморфических пород, которая по геологическому строению и литологическому составу протолитов заметно отличается от северо-западного блока. В первом приближении эта толща имеет двучленное строение (рис. 1). В лежащем (восточном) боку залегают однородные рассланцованные эпидотовые амфиболиты видимой мощностью до 600–800 м, смятые в крупные пологие складки. По зоне тектонического нарушения они граничат на востоке с почти неметаморфизованными песчаниками и конгломератами кидрясовской свиты нижнего ордовика (автохтон). К западу рассланцованные амфиболиты резко сменяются более массивными тонкополосчатыми амфиболитами, переслаивающимися с кварцитами, кварцито-гнейсами, метапелитовыми кристаллическими сланцами. Эти породы смяты в напряженные мелкоамплитудные, дисгармоничные и изоклинальные складки, часто лежащие с субгоризонтальной ориентировкой осевых плоскостей. Нередко фиксируются зоны высокотемпературных бластомилонитов. Мощность толщи составляет 100–200 м. Эти породы подстилают габбро-нориты восточно-хабарнинского комплекса (рис. 1), в контакте с которыми амфиболиты превращаются в пироксеновые роговики.

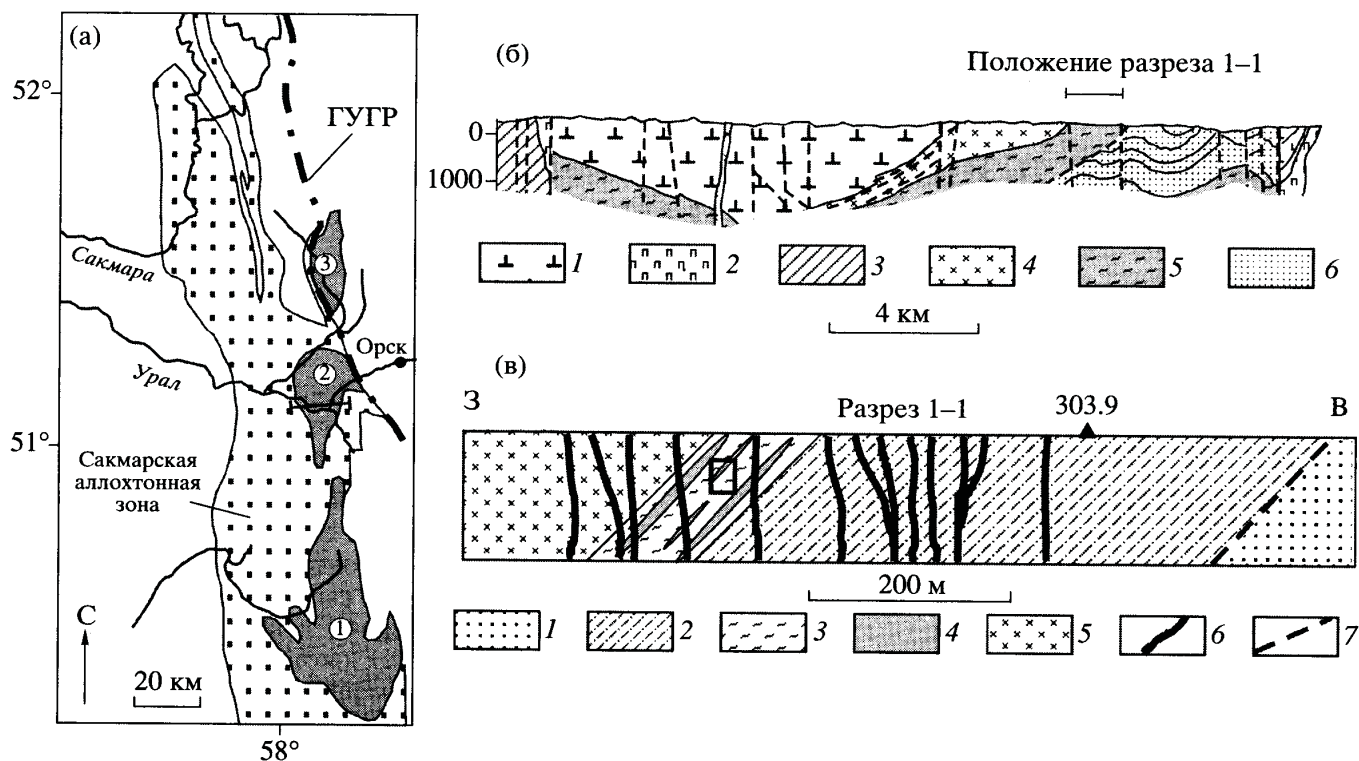


Рис. 1. Положение офиолитовых аллохтонов в Сакмарской зоне Южного Урала (а) по данным [4]: 1 – Кемпирсайский аллохтон, 2 – Хабаровинский аллохтон, 3 – Халиловский аллохтон, залегающий в зоне Главного уральского глубинного разлома (ГУГР). б – схематический широтный геологический разрез через Хабаровинский аллохтон по данным ПГО “Оренбурггеология”: 1 – офиолитовые перидотиты Хабаровинского массива, 2 – пироксениты, 3 – габброиды, 4 – восточно-хабарнинский дифференцированный дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитовый комплекс (ВХК), 5 – амфиболиты подошвы аллохтона, 6 – осадочно-вулканогенные породы нижнего палеозоя. в – геологический разрез 1–1, в районе высоты 303.9 м: 1 – аркозовые песчаники и конгломераты кидрясовской свиты, O_1 (автохтон), 2–4 – подошва аллохтона: 2 – эпидотовые амфиболиты рассланцованные, 3 – амфиболиты и гранатовые амфиболиты тонкополосчатые, деформированные, 4 – амфибол-гранатовые кварциты и кварцито-гнейсы, 5 – габбро-нориты ВХК, 6 – дайки габбро-диабазов, 7 – след надвига; прямоугольником на рис. 1в показано положение гранатовых амфиболитов.

Гранатовые амфиболиты обнаружены нами висячем боку метаморфической толщи, приблизительно в 20–50 м от контакта с габбро-норитами. Они переслаиваются с обычными амфиболитами, кварцитами, кварцито-гнейсами, куммингтонит-гранатовыми микрогнейсами, образующими слои мощностью до нескольких метров. Переход между гнейсами и гранатовыми амфиболитами осуществляется обычно через узкую зону тонкого переслаивания этих же пород, которая может быть интерпретирована как стратиграфический контакт. Отдельные тела и линзы гранатовых амфиболитов имеют мощность до 0.5 м. По простиранию зоны с севера на юг выходы гранатовых амфиболитов встречаются на протяжении нескольких километров. Во всех случаях амфиболиты сильно деформированы с образованием мелких лежащих складок, в замках которых обособляется кварц-полевошпатовый (гранитный) материал. Амфиболиты секутся редкими жилами амфиболовых плагиигранитов.

Гранатовые амфиболиты – это темные тонкополосчатые, преимущественно мелко-, среднезернистые породы. Полосчатость обусловлена неравномерным распределением светлых и темных минералов. Микроструктура пород порфириобластовая с нематогранобластовой структурой основной ткани. Главными породообразующими минералами являются: сине-зеленый гастингсит (35–60%), плагиоклаз An_{25-35} (10–30%), буровато-красный альмандин (5–20%) с повышенной долейgrossулярового компонента (до 25 мол. %) и кварц (5–15%). В виде включений в гастингситае отмечается реликтовый ферроавгит. Второстепенные минералы представлены грюнеритом и ильменитом (до 5%), а акцессорные – апатитом и цирконом. Химические составы минералов представлены в табл. 2. Главной характеристикой всех железо-магнезиальных силикатов является высокое $Fe/(Fe + Mg)$ отношение, варьирующее в интервале 0.6–0.95.

Изученные гранатовые амфиболиты обладают необычным химическим составом (табл. 1),

Таблица 1. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в гранатowych амфиболитах в подошве Хабаровинского аллохтона

Компонент	X6-1779	X6-1789	X6-1790	X6-1809	X6-1813	X6-1831	X6-1844	X6-1845
SiO ₂	46.35	51.39	52.52	54.56	52.50	59.50	55.28	61.11
TiO ₂	4.43	3.59	3.24	2.54	2.62	2.63	2.08	1.40
Al ₂ O ₃	8.37	9.08	9.00	8.82	9.28	9.35	11.86	12.27
Fe ₂ O ₃	8.70	5.54	7.29	7.21	5.27	7.81	3.52	7.84
FeO	13.50	14.30	12.80	13.80	15.20	8.50	10.40	5.80
MnO	0.39	0.31	0.33	0.33	0.32	0.37	0.25	0.32
MgO	3.73	2.99	2.92	2.07	2.06	2.42	3.14	1.76
CaO	8.76	8.57	7.86	7.58	7.41	5.87	7.45	6.14
Na ₂ O	1.80	2.50	2.20	2.50	3.20	1.70	3.70	2.70
K ₂ O	0.60	0.43	0.40	0.16	0.25	0.67	0.44	0.43
P ₂ O ₅	0.55	0.61	0.62	0.88	0.71	0.60	0.32	0.49
П.п.п.	1.77	0.00	0.00	0.00	1.70	1.20	1.57	0.71
Сумма	98.95	99.30	99.17	100.46	100.53	100.62	99.99	100.97
Fe/(Fe + Mg)	0.76	0.78	0.79	0.84	0.84	0.78	0.70	0.80
Rb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sr	35	91	58	88	350	104	156	168

Примечание. Силикатные анализы пород выполнены рентгено-флуоресцентным методом на VRA-30, а определения Rb и Sr – рентгено-флуоресцентным методом на CPM-18 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитики Г.М. Ятлук, В.П. Власов, Н.П. Горбунова).

отличающим их как от апогаббровых гранатowych амфиболитов известных офиолитовых комплексов Урала, так и от амфиболитов в составе Хабаровинского офиолитового аллохтона (рис. 2). Породы характеризуются широкими вариациями SiO₂ в интервале 46–63 мас. %. Несмотря на высокую среднюю кремнекислотность, содержание суммарного железа в гранатowych амфиболитах достигает 20 мас. % FeO, а TiO₂ до 4.5 мас. %. Когда SiO₂ в амфиболитах соответствует базальтовому уровню (46–53 мас. %), содержания Al₂O₃ и CaO в этих породах всегда ниже 10 мас. %, что не отвечает базальтовой котектике и противоречит ортомагматической природе протолита. Fe/(Fe + Mg)-отношение в амфиболитах, равное 0.7–0.8, является более высоким, чем такое же отношение, характерное для большинства известных магматических пород ($f < 0.7$). Гранатowe амфиболиты обладают низким уровнем калия и стронция, а концентрации рубидия находятся ниже порога обнаружения рентгено-флуоресцентным методом (<5 г/т) (табл. 1), но при этом они обогащены редкоземельными элементами, содержание которых в 70–80 раз превышает уровень РЗЭ в хондритах (рис. 3). Гранатowe амфиболиты характеризуются

повышенными содержаниями Y (130–180 г/т), Zr (160 г/т), Nb (7–9 г/т), Hf (4–5 г/т). Петрохимические особенности сближают изученные породы с гранатowymi параамфиболитами полмостундровской свиты докембрия (рис. 2) [8].

Пересчет химических анализов пород на нормативный состав (метод CIPW) показал, что они в зависимости от содержания SiO₂ содержат от 3 до 20% кварца и соответственно от 55 до 30% в сумме нормативного клинопироксена и ортопироксена, с преобладанием последнего, и от 35 до 45% полевых шпатов. Такой минеральный состав соответствует двупироксеновым кристаллическим сланцам [10]. Присутствие в амфиболитах реликтового ферроавгита и грюнерита, который мог образоваться по высокожелезистому ортопироксену, не исключает вероятности того, что протолитом для амфиболитов послужили высокожелезистые двупироксеновые кристаллические сланцы, аналогичные рассчитанной норме. Для реконструкции состава первичного субстрата гранатowych амфиболитов использовался петрохимический метод А.А. Предовского [6]. По соотношению главных химических компонентов гранатowe амфиболиты соответствуют мелановаккам или смешанным

Таблица 2. Химический состав минералов гранатовых амфиболитов в подошве Хабаровинского аллохтона, мас. %

Компонент	Проба Х6-1819						Проба Х6-1789					
	грюнерит		гастингсит*		ферроавгит		гастингсит		гранат		ферроавгит	
SiO ₂	48.19	47.92	40.73	41.73	48.16	48.09	40.97	40.26	36.25	37.11	49.84	47.82
TiO ₂	0.07	0.14	1.98	1.64	0.16	0.19	2.12	1.25	0.15	0.09	0.28	0.59
Al ₂ O ₃	0.69	1.23	10.82	11.42	1.02	1.00	11.51	12.76	20.18	21.51	1.22	1.08
FeO*	38.52	39.00	28.13	27.00	24.49	26.17	25.21	25.37	31.77	30.08	20.80	21.11
MnO	1.28	1.39	0.56	0.46	0.94	0.90	0.27	0.25	1.80	2.63	0.49	0.46
MgO	5.87	6.10	3.75	3.53	4.63	4.80	4.95	4.67	1.94	1.82	7.22	7.33
CaO	1.59	0.84	9.19	10.46	19.25	18.27	11.01	11.05	8.35	7.15	19.89	20.98
Na ₂ O	0.17	0.24	2.36	1.58	0.54	0.42	1.99	1.81	Не опр.	Не опр.	0.12	0.10
K ₂ O	0.0	0.02	0.18	0.62	0.02	0.02	0.64	0.81	»	»	0.03	0.02
Сумма	96.38	96.88	97.70	98.44	99.21	99.87	98.67	98.09	100.46	100.39	99.89	99.49
Fe/(Fe + Mg)	0.78	0.78	0.80	0.81	0.74	0.75	0.74	0.75	0.90	0.90	0.61	0.61

Компонент	Проба Х6-1790				Проба Х6-1844				Проба Х6-1831			
	гастингсит		гранат		гастингсит		гранат		гастинг-сит	гранат	биотит	
SiO ₂	42.39	42.87	37.19	37.69	46.74	46.67	37.14	36.78	43.02	37.33	33.28	33.28
TiO ₂	1.87	1.48	0.09	0.07	1.02	1.18	0.07	0.14	2.17	0.17	2.59	2.29
Al ₂ O ₃	9.86	10.64	21.36	20.82	9.45	9.43	21.82	21.52	10.58	19.83	15.7	16.51
FeO*	26.63	27.71	30.34	30.86	21.47	21.74	29.74	29.28	23.44	33.64	25.05	24.71
MnO	0.26	0.21	1.78	1.82	0.30	0.28	2.26	2.04	0.22	1.37	0.13	0.12
MgO	4.19	3.1	2.00	1.96	7.74	7.64	2.78	2.95	6.08	2.22	8.24	7.28
CaO	10.09	10.76	7.69	7.32	10.42	10.42	6.71	7.59	10.74	5.58	0.11	0.13
Na ₂ O	1.86	1.71	Не опр.	Не опр.	1.47	1.54	Не опр.	Не опр.	1.78	0.01	0.13	0.13
K ₂ O	0.35	0.78	»	»	0.54	0.49	»	»	1.06	0.04	7.75	8.94
Сумма	97.50	99.25	100.45	100.54	99.14	99.40	100.52	100.30	99.09	100.19	92.97	93.38
Fe/(Fe + Mg)	0.78	0.83	0.89	0.90	0.60	0.61	0.85	0.85	0.68	0.89	0.63	0.65

Примечание. Определения выполнены на рентгеновском микроанализаторе JXA-5 в Институте геологии и геохимии УрО РАН, аналитик В.Г.Гмыря. FeO* – в минералах все железо в виде FeO. Гастингсит* с большим содержанием TiO₂ коричневого цвета, с меньшим сине-зеленого цвета.

продуктам глубокого выветривания основных и ультраосновных пород и железистых песчаников.

РТ-условия главного этапа динамометаморфизма, когда произошло образование гастингсит-гранат-плагноклазового парагенезиса, были рассчитаны по амфибол-гранатовому геотермометрам [5, 13] и эмпирическому амфибол-плагноклазовому геобарометру [11] и соответствуют амфиболитовой фации, $T = 650\text{--}750^\circ\text{C}$, $P = 5\text{--}7$ кбар [10]. Можно предположить, что амфиболитовому ме-

таморфизму предшествовали преобразования более высокотемпературного уровня, когда произошло образование ферроавгита (реликты в гастингсите) и, предположительно, ортопироксена, замещившегося впоследствии грюнеритом.

Характер геологического залегания гранатовых амфиболитов, переслаивающихся с метатерригенными осадочными породами – кварцитами, куммингктонит-гранатовыми гнейсами (метаграувакками) и метапелитами, и особенности их хими-

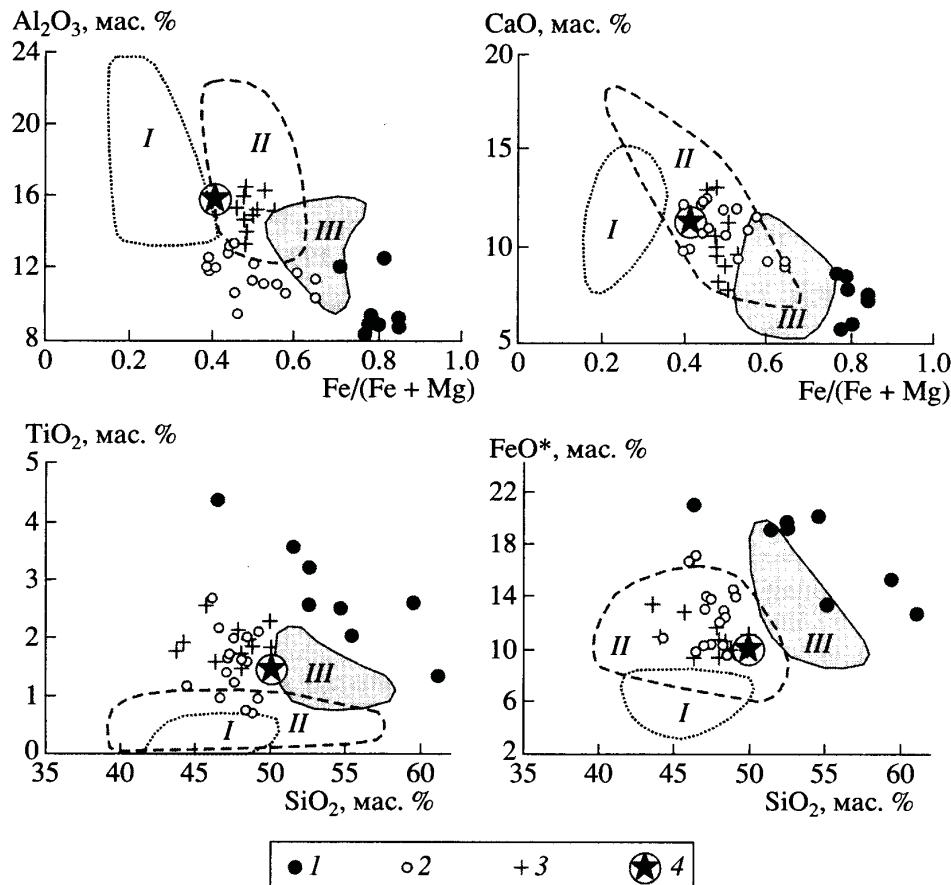


Рис. 2. Петрохимическая характеристика амфиболитов. 1–3 – из подошвы Хабаровинского аллохтона: 1, 2 – амфиболиты восточного блока (1 – гранатовые амфиболиты, 2 – нормальные амфиболиты), 3 – амфиболиты северо-западного блока [9]; 4 – средний состав базальтов СОХ. Поля: I – гранатовые амфиболиты в подошве Кемпирсайского офиолитового массива [2], II – гранатовые амфиболиты хордьюского комплекса, Войкаро-Сынынский офиолитовый массив, Полярный Урал [3], III – гранатовые параамфиболиты докембрия, Кольский полуостров [8].

ческого состава свидетельствуют об осадочной природе протолита амфиболитов. Это является первым указанием на присутствие высокомета-

морфизованных метаосадочных пород в подошве офиолитовых аллохтонов Урала [1]. Вероятным местом образования этой сложной толщи могла служить аккреционная призма островной дуги [7]. Динамотермальные преобразования вулканогенно-осадочных пород, соответствующие по PT -параметрам амфиболитовой фации, связаны с обдукцией офиолитов [7, 9] и, вероятно, с внедрением основных и ультраосновных пород восточно-хабарнинского комплекса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-05-64795а и 04-05-96009-р2004урал_a), целевой программы междисциплинарных проектов УрО РАН, СО РАН 2005 г., гранта “Фонда содействия отечественной науке” и гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ – НШ-4210.2006.5.

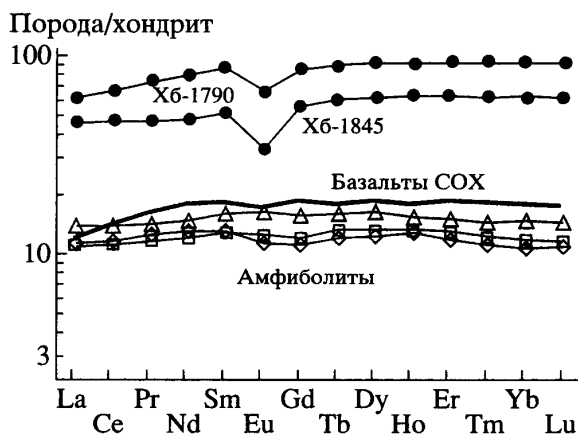


Рис. 3. Содержания РЗЭ в амфиболитах из восточного экзоконтакта Хабаровинского массива, нормированные на стандартный углистый хондрит. X6-1790 и X6-1845 – гранатовые амфиболиты. Анализ выполнен методом ICP-MS в ИМГРЭ (Москва) по типовой методике (аналитик Д.З. Журавлев).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюзова А.П., Пушкарёв Е.В. В кн.: Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых об-

- ластей. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2004. С. 99–103.
2. *Ефимов А.А.* Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М.: Наука, 1984. 232 с.
 3. *Ефимов А.А., Потапова Т.А.* В кн.: Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2000. С. 233–268.
 4. *Иванов К.С., Пучков В.Н.* Геология Сакмарской зоны Урала (новые данные). Свердловск: ИГиГ УНЦ АН СССР, 1984. 86 с.
 5. *Лаврентьева И.В., Перчук Л.Л.* // ДАН. 1989. Т. 306. № 1. С. 173–175.
 6. *Предовский А.А.* Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980. 152 с.
 7. *Руженцев С.В.* Краевые офиолитовые аллохтоны (Тектоническая природа и структурное положение). М.: ГИН АН СССР, 1976. 173 с.
 8. *Сидоренко А.В., Теняков В.А., Розен О.М. и др.* Пара- и ортоамфиболиты докембрия. М.: Наука, 1972. 210 с.
 9. *Соболев С.Ф., Панях Н.А.* // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1992. № 1. С. 22–42.
 10. *Добрецов Н.Л., Ревердатто В.В., Соболев В.С., Соболев Н.В.* Фации метаморфизма. М.: Недра, 1970. 432 с.
 11. *Ферштатер Г.Б.* // Геохимия. 1990. № 3. С. 328–335.
 12. *Херасков Н.П.* // Геотектоника. 1971. № 4. С. 26–30.
 13. *Ravna E.K.* // Lithos. 2000. V. 53. P. 265–277.