

Геологическое строение и состав ультрамафитов Аккаргинско-Буруктальского района (Южный Урал)

Д.Е.САВЕЛЬЕВ, Е.А.БАЖИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН); 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2),
С.Н.СЕРГЕЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН); 450001, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, 39)

Рассмотрены особенности геологического строения района, петрохимические и петрографические характеристики ультрамафитов и ассоциирующихся с ними магматических пород. Приведено описание морфологии и состава акцессорных и рудообразующих хромшпинелидов из ультрамафитов. Большая часть акцессорных хромшпинелидов района является средне- и высокохромистыми. Рудообразующие шпинелиды образуют два геохимических типа, которые пространственно сближены. Делается вывод о том, что ультрамафиты изученного района представляли собой материал мантийного клина, пронизанный интрузиями островодужного типа. Современная структура в виде линзы габбро-диорит-гранитного состава с серпентинитовой внешней частью была сформирована в результате коллизионного тектонического скупивания коры.

Ключевые слова: Южный Урал, офиолиты, ультрамафиты, хромититы.

Савельев Дмитрий Евгеньевич
Бажин Евгений Александрович
Сергеев Семён Николаевич



savl71@mail.ru
bazin198229@gmail.com
semen@imsp.ru

Geological structure and composition of ultramafic rocks of the Akkarginsky massif (the Southern Urals)

D.E.SAVELIEV, E.A.BAZHIN, S.N.SERGEEV

Geological framework, some chemical and petrographical characteristics of ultramafic and associated rocks are considered. Morphological and chemical features of the accessory and ore-forming spinels are described. It is shown that there are no high-Al spinels in the ultramafic rocks. Most of the studied spinels are middle-Cr and high-Cr in chemistry. Ore-forming chrome spinels were subdivided into two chemical types which are spatially contiguous. It is inferred that ultramafic rocks of the studied area were formed like a matter of the upper mantle wedge impregnated by arc-island intrusions. A present-day structure as gabbro-diorite-granite lens with serpentinite rim was formed as a result of collision tectonics.

Key words: Southern Urals, ophiolite, ultramafic rocks, chromitite.

Аккаргинско-Буруктальский район развития ультрамафитов расположен в восточной части Оренбургской области на границе с Казахстаном. Поскольку район характеризуется весьма слабой обнаженностью, то основные данные о его структуре были получены с применением геофизических, дистанционных методов и большого объема бурения. Наиболее интенсивно территория изучалась в 1960–1970-е гг. в связи с поисками месторождений силикатного никеля и хризотил-асбеста, а также при геолого-съёмочных работах. Ультраосновные породы района изучались И.И.Эдельштейном [11], А.С.Варлаковым [1], М.Е.Кулиджаняном, В.Е.Вдовиной [8], К.К.Никитиным [6],

Э.Е.Арутюняном, И.П.Устиновым, О.С.Нестояновой, М.И.Грабовской, З.М.Григорьевой, Б.А.Шкуропатов [9, 10]. В пределах Аккаргинского массива в 1930-е годы поисковые работы на хромовые руды проводили С.С.Горланов, М.И.Алешин (1938), Ю.Г.Полуренко (1936) и другие исследователи [8]. Геолого-съёмочные работы в районе проводились В.С.Дубининым [3], который также изучил магматические формации и их металлогению. Наиболее поздняя версия интерпретации геологического строения рассматриваемой территории отражена на геологической карте, составленной коллективом авторов под руководством А.С.Лисова (2008).

Происхождение и геодинамическая позиция ультраосновных пород района дискуссионны. Согласно представлениям, изложенным в опубликованных и фондовых работах 1960–1970-х гг., массивы ультрамафитов приурочены к разрывным нарушениям и представляют собой полифазные магматические образования [1]. И.И.Эдельштейн [11] считает, что они являются продуктами кристаллизации расплавов, поступавших по глубинным разломам. А.С.Лисов с соавторами (2008) указывают, что ультрамафиты – протрузии, имеющие тектонические или «рвущие протрузивные» контакты с вмещающими породами. Полученные авторами данной публикации минералого-геохимические данные в комплексе с особенностями геологического строения территории позволяют предложить новую интерпретацию геодинамической позиции ультрамафитов.

Геолого-петрографическая характеристика ультрамафитов. Ультрамафиты рассматриваемой территории слагают несколько тел, образующих почти непрерывное обрамление вокруг удлиненной линзы, сложенной породами Коскольской интрузии гранит-диорит-габбрового состава, эффузивным и вулканогенно-осадочными образованиями среднего и верхнего девона (рис. 1). Структура в целом имеет субмеридиональное север-северо-восточное простирание и ограничена крупными массивами ультрамафитов V-образной формы на севере (Аккаргинский) и юге (Буруктальский). Вдоль западной границы линзы протягиваются серпентиниты Карашакольского массива, а на востоке между Аккаргинским и Буруктальским массивами расположен небольшой Коскольский массив.

Согласно данным геолого-съёмочных и геофизических работ, форма Буруктальского массива лополитообразная с центриклинальными, участками очень пологими (25° – 40°) падениями контактов. Аккаргинский массив – пластовая залежь с пологим (25° – 30°) западным падением восточного контакта и более крутым, в том же направлении (63° – 75°) западного. Западный контакт Карашакольского массива круто падает на восток под углом 70° , а на востоке ультрамафиты имеют интрузивные взаимоотношения с габброидами (А.С.Лисов и др., 2008).

В строении массивов преимущественно распространены антигоритовые и хризотилитовые серпентиниты апогарцбургитовой природы. В серпентинитах, как правило, сохраняется реликтовая структура первичных перидотитов, на что указывает наличие многочисленных недеформированных псевдоморфоз по ортопироксену и недеформированных зерен хромшпинелидов, просвечивающих в тонких срезах в красновато-коричневых тонах. Кроме минералов группы серпентина, в породах широко распространены хлорит, карбонаты, брусит, а в аподунитовом матриксе серпентинитов – вторичный магнетит, образующий как отдельные зерна, так и присутствующий в виде пылеватых агрегатов. Подчиненное значение имеют аподунитовые хризоти-

литовые и лизардитовые разновидности. Наиболее широким распространением последние пользуются вблизи хромититовых тел на севере Аккаргинского массива.

Геохимические особенности пород и составы породообразующих минералов. Ультраосновные породы массивов рассматриваемого района представлены высокомагнезиальными разновидностями (табл. 1), их относительная железистость варьирует в пределах 8,3–11% и только единичные анализы показывают более высокие значения. Часть из них относится к Карашакольскому массиву, где отмечаются проявления ультрамафитов «габброидного типа» [1]. Поскольку изученные ультрамафиты изменены преимущественно в условиях низкотемпературной серпентинизации лизардитовой фации, состав протолита может быть восстановлен путем пересчета химических анализов на нормативный состав по методу И.Д.Соболева [2, 5]. Проведенный расчет показал, что протолит серпентинитов изученных массивов представлен гарцбургитами при довольно высоком среднем содержании нормативного энстатита (19–25%). Содержание нормативного диопсида в подавляющем большинстве анализов серпентинитов не превышает 5,07% и только в Карашакольском массиве отмечены породы с высоким содержанием клинопироксена.

С ультрамафитами ассоциируют интрузивные и вулканогенные породы основного, среднего и кислого составов (табл. 2). Базальтоиды и габбро-диабазы характеризуются широкими вариациями титанистости (0,5–1,93%), натриевым и калий-натриевым типами щелочности. Большая часть анализов основных и средних пород попадает в поле известково-щелочного ряда. Составы изученных гранитоидов варьируют в значительном диапазоне – от гранодиоритов нормальной щелочности до кварцевых сиенитов при содержании кремнезема в пределах 64–68% и от лейкогранитов до субщелочных гранитов при содержании кремнезема от 68 до 75%.

Концентрации элементов-примесей в изученных образцах коррелируют с их петрографическими и петрохимическими особенностями (табл. 3). В ультрамафитах отмечены высокие содержания никеля и хрома (>1000 г/т), концентрации кобальта на порядок ниже (66–150 г/т). Далее следуют (в г/т): ванадий 20–75, стронций 31–56, медь и цинк до 50. Остальные элементы-примеси встречаются в количествах от ниже предела обнаружения до 10–20 г/т. Для пироксенитов характерны высокие содержания ванадия (75–182 г/т), а максимальные концентрации данного элемента зафиксированы в базальтах (422 г/т). В гранитоидах концентрируются (в г/т): стронций 111–319, цирконий 95–200, барий до 1950, рубидий до 219.

Из первичных минералов ультрамафитов сохранились реликты аксессуарных и рудообразующих хромшпинелидов только в ультрамафитах Аккаргинского массива. В серпентинитах Буруктальского,

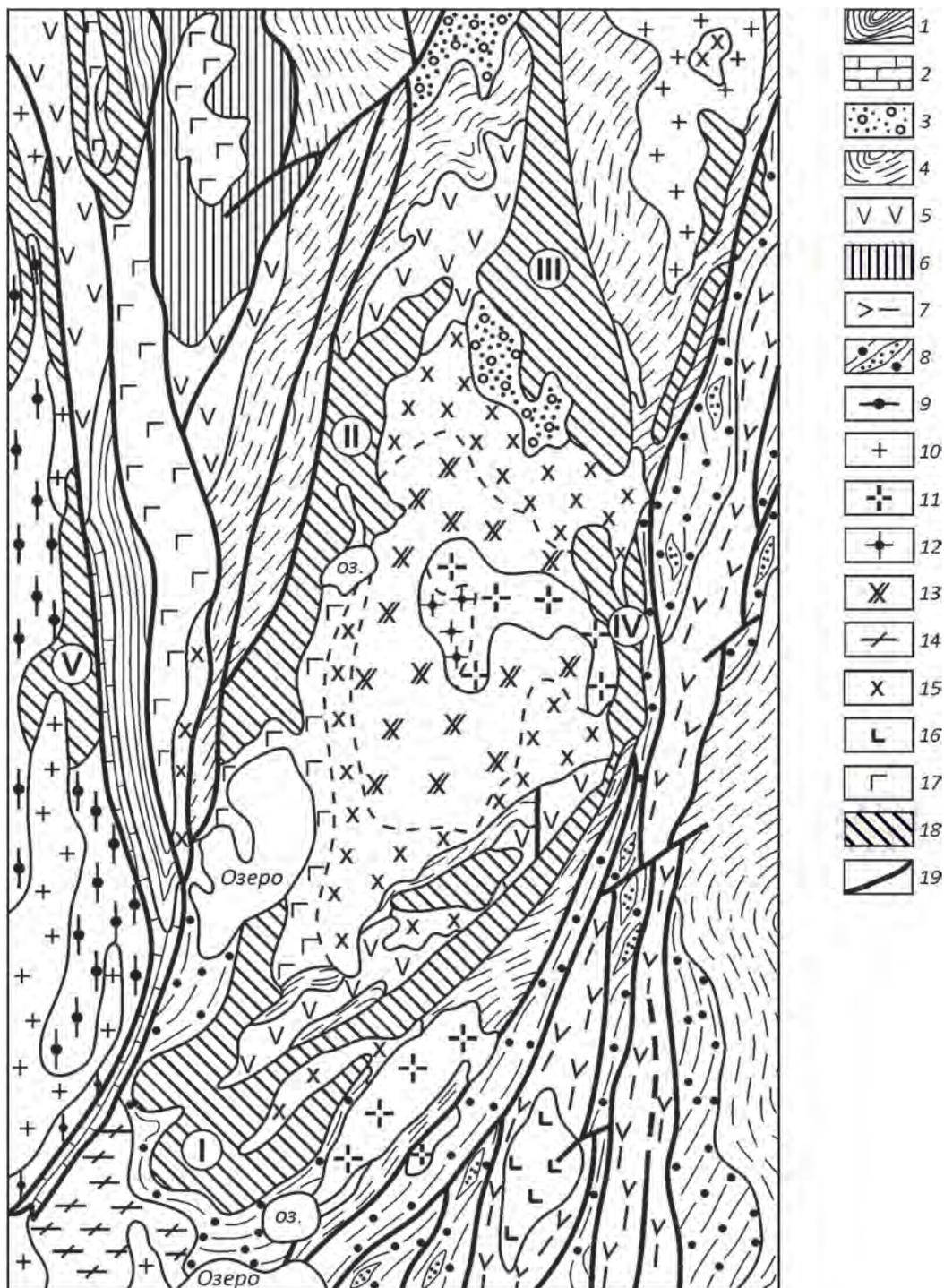


Рис. 1. Геологическое строение Аккаргинско-Буруктальского района. По А.С.Варлакову [1]:

1 – углеродистые сланцы нижнего карбона; 2 – мраморы нижнего карбона; 3 – песчаники и конгломераты верхнего девона; 4 – глинистые сланцы и песчаники верхнего девона; 5 – андезитовые, андезит-дацитовые порфириды и лавобрекчии среднего девона; 6 – отложения ордовика и нижнего силура нерасчлененные; 7 – зелёные сланцы ордовика и нижнего силура; 8 – кристаллические сланцы и гнейсы ордовика и нижнего силура с линзами кварцитов; 9 – докембрийские гнейсы и амфиболиты; 10 – граниты; 11 – плагииграниты; 12 – кварцевые монзониты; 13 – кварцевые диориты; 14 – гранодиориты; 15 – диориты, диоритовые порфириды габбро, диориты; 16 – габбро-диабазы; 17 – габбро-диориты; 18 – ультрамафитовые массивы (I – Буруктальский, II – Карашакольский, III – Аккаргинский, IV – Коскольский, V – Карасуйский); 19 – разрывные тектонические нарушения

1. Химический состав ультрамафитов Аккаргинско-Бурукталского района (в массовых долях %)

№ п/п	Образцы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма	f	Di	En	OI
1	АК-16-01	40,00	0,01	1,20	8,00	0,24	0,08	36,00	1,40	0,10	0,02	0,01	13,20	100,26	10,39	4,88	25,39	69,73
2	АК-17-01	40,00	0,01	1,00	8,00	0,24	0,10	36,00	1,40	0,10	0,01	0,01	13,79	100,66	10,39	4,88	25,35	69,77
3	АК-17-02	40,00	0,01	1,00	8,20	0,20	0,05	36,00	1,40	0,10	0,01	0,01	13,71	100,69	10,57	4,88	25,20	69,92
4	АК-17-03*	39,52	0,03	1,00	8,75	0,10	0,10	36,72	0,80	0,13	0,02	0,04	13,56	100,75	10,85	2,79	24,12	73,08
5	АК-20-13	40,00	0,02	1,00	7,80	0,20	0,06	36,00	1,40	0,10	0,01	0,01	13,58	100,18	10,11	4,90	25,80	69,30
6	АК-20-14**	39,72	0,06	1,50	7,99		0,23	34,23	0,19	0,20	0,02	0,02	14,96	99,12	10,55	0,71	37,69	61,61
7	АК-21а-04**	39,57	0,04	0,80	7,71		0,12	38,94	0,15	0,10	0,02	0,01	13,98	101,46	9,08	0,50	23,01	76,49
8	АК-21а-05	40,00	0,02	1,00	8,10	0,50	0,08	36,00	1,40	0,10	0,01	0,01	13,40	100,62	10,83	4,86	24,79	70,35
9	АК-21а-07	45,26	0,04	0,48	7,02	0,00	0,04	32,76	1,20	0,10	0,01	0,01	14,43	101,36	9,76	4,64	58,78	36,58
10	АК-21а-08	40,00	0,02	1,00	6,50	1,20	0,08	36,40	1,00	0,10	0,01	0,01	13,40	99,72	9,80	3,50	27,11	69,39
11	АК-22	40,00	0,04	0,82	11,42	0,00	0,15	34,20	0,32	0,10	0,11	0,03	13,37	100,57	14,43	1,13	32,19	66,68
12	АК-23-01	40,00	0,02	1,00	6,70	1,20	0,05	37,40	1,00	0,10	0,01	0,01	13,00	100,49	9,78	3,41	23,85	72,74
13	АК-23-03**	42,18	0,04	0,98	11,41		0,20	30,09	0,43	0,16	0,02	0,07	13,01	98,59	16,07	1,69	54,41	43,90
14	АК-27-02**	43,03	0,03	1,41	9,21		0,12	31,50	0,18	0,41	0,02	0,02	13,41	99,34	12,86	0,72	58,20	41,07
15	АК-28-01	40,00	0,10	1,00	5,00	1,80	0,07	37,40	1,00	0,10	0,01	0,01	12,10	98,59	8,63	3,45	25,37	71,19
16	АК-28-02	40,00	0,10	1,00	5,20	1,81	0,11	37,20	1,00	0,10	0,01	0,01	13,00	99,54	8,91	3,45	25,58	70,97
17	АК-32-01	40,00	0,10	1,00	5,20	1,71	0,07	38,20	1,00	0,10	0,01	0,01	13,00	100,40	8,58	3,38	22,86	73,76
18	АК-32-02	40,00	0,10	1,00	5,20	1,82	0,07	38,30	1,00	0,10	0,01	0,01	13,00	100,61	8,69	3,37	22,39	74,24
19	АК-33-04**	39,86	0,09	1,16	9,71		0,15	34,74	0,55	0,10	0,02	0,17	12,61	99,18	12,37	1,97	31,41	66,61
20	АК-37*	40,76	0,06	0,78	6,51	0,90	0,09	38,52	0,59	0,10	0,01	0,02	12,15	100,50	8,96	1,94	26,05	72,02
21	АК-38	40,00	0,10	1,00	5,20	1,80	0,19	39,00	1,10	0,10	0,01	0,01	12,08	100,59	8,53	3,63	19,73	76,63
22	АК-03-02	40,20	0,02	1,86	3,80	2,00	0,09	36,20	1,42	0,10	0,02	0,01	13,63	99,35	7,75	5,07	28,83	66,11
23	АК-61-02	40,00	0,10	2,70	3,45	2,30	0,07	37,00	1,00	0,10	0,01	0,01	12,20	98,94	7,57	3,53	28,14	68,34
24	АК-44-01	40,00	0,04	2,00	5,43	2,50	0,07	36,00	1,10	0,10	0,01	0,01	12,72	99,98	10,32	3,86	27,21	68,93
25	АК-44-02**	39,76	0,04	0,86	7,74		0,07	39,69	0,15	0,20	0,02	0,01	12,26	100,78	8,96	0,50	21,54	77,96
26	АК-45	40,00	0,02	1,80	5,20	2,15	0,05	36,00	1,40	0,10	0,01	0,01	12,70	99,44	9,62	4,93	26,49	68,58
27	АК-46-02	40,00	0,11	2,70	8,31	2,87	0,20	27,00	5,68	0,40	0,10	0,03	12,01	99,41	17,70	22,07	23,07	54,86
28	АК-46-06	40,00	0,10	2,00	5,80	1,89	0,08	37,00	0,84	0,10	0,01	0,00	12,64	100,46	9,73	2,90	26,08	71,02
29	АК-11-02	40,00	0,02	2,00	7,43	0,77	0,17	34,00	0,17	1,40	0,10	0,01	13,91	99,98	10,96	0,64	39,21	60,15

Примечание. Массивы: 1–21 – Аккаргинский, 22–23 – Бурукталский, 24–28 – Карашакольский, 29 – Коскольский, * – среднее из двух анализов (1 – рентгено-флюоресцентным методом, 1 – мокрой химией); ** – анализ выполнен рентгено-флюоресцентным методом (ВРА-30, ИГ УНЦ РАН; аналитики С.В.Мичурин, З.Р.Биктимерова, Ф.Р.Валиева), остальные выполнены мокрой химией (ИГ УНЦ РАН; аналитик С.А.Ягулина); ППП – потери при прокаливании.

2. Химический состав основных, средних и кремнекислых магматических пород Аккаргинско-Буруктаьского района (в массовых долях %)

№ п/п	Образцы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
1	АК-11-01*	48,72	1,93	12,48	9,19	4,14	0,22	6,83	9,53	3,48	0,12	0,08	2,34	99,04
2	АК-05-02	56,00	1,05	14,25	3,52	4,78	0,12	9,60	4,26	3,60	0,54	0,08	2,08	99,88
3	АК-09-02	55,10	0,88	14,00	4,02	4,78	0,17	7,00	9,84	2,70	0,35	0,07	1,38	100,29
4	АК-48-03	47,00	0,70	15,00	3,00	6,20	0,22	13,00	8,20	2,70	1,08	0,14	3,62	100,86
5	АК-48-06	48,00	0,50	15,00	2,50	5,39	0,20	13,00	8,20	3,12	0,50	0,10	3,74	100,25
6	АК-46-04	52,00	0,50	16,50	4,50	4,38	0,09	6,40	9,46	3,50	0,30	0,08	1,72	99,43
7	АК-43-04	53,00	0,50	12,00	1,83	6,43	0,16	11,00	9,74	2,80	0,40	0,07	2,04	99,97
8	АК-39-02	53,00	0,35	14,00	2,73	6,10	0,10	9,00	7,10	4,00	0,50	0,08	3,34	100,30
9	АК-48-06**	52,93	0,34	11,40	7,91		0,18	12,60	7,09	3,03	0,16	0,04	3,66	99,34
10	АК-43-02**	53,05	0,32	9,22	6,86		0,13	14,10	8,17	5,53	0,04	0,02	3,50	100,93
11	АК-43-03**	58,57	0,24	15,23	4,30		0,07	7,54	3,78	7,21	0,03	0,01	2,43	99,41
12	АК-43-01**	46,06	0,11	7,88	7,23		0,16	21,29	9,96	0,52	0,03	0,06	5,79	99,08
13	АК-46-03*	48,81	0,29	4,70	5,94	3,42	0,20	21,09	9,18	0,33	0,11	0,03	5,02	99,12
14	АК-31**	64,19	0,38	18,84	1,67		0,02	2,35	0,88	8,67	0,71	0,08	1,34	99,13
15	АК-31Б**	74,22	0,32	14,65	1,74		0,02	2,35	0,98	5,97	0,30	0,02	0,65	101,22
16	АК-57-01**	67,00	0,16	18,79	2,31		0,03	1,65	0,79	7,39	0,05	0,04	0,69	98,89
17	АК-57-02**	60,84	0,96	11,22	7,12		0,12	7,77	5,19	6,00	0,06	0,22	1,02	100,52

Примечание. 1–9 – диабазы и габбро-диабазы; 10 – габбро-диорит; 11 – диорит; 12–13 – пироксениты; 14–17 – гранитоиды; * – среднее из двух анализов (1 – рентгено-флюоресцентным методом, 1 – мокрой химией); ** – анализ выполнен рентгено-флюоресцентным методом (ВРА-30, ИГ УНЦ РАН; аналитики С.В.Мичурин, З.Р.Биктимерова, Ф.Р.Валиева), остальные анализы выполнены мокрой химией (ИГ УНЦ РАН; аналитик С.А.Ягудина); ППП – потери при прокаливании.

Коскольского и Карашакольского массивов шпинелиды полностью превращены в хроммагнетит и магнетит.

Все анализы исследованных шпинелидов можно разделить на две большие группы: 1) составы первичных минералов мантийного происхождения и 2) составы, претерпевшие изменение в результате низкотемпературных коровых процессов, главным образом – серпентинизации ультрамафитов. Первая группа подразделена на три подгруппы: а) акцессорные хромшпинелиды лерцолитов и гарцбургитов (апоперидотитовых серпентинитов), б) акцессорные хромшпинелиды дунитов (аподунитовых серпентинитов) и в) рудообразующие хромиты. На диаграмме (рис. 2) показаны все полученные данные, а в табл. 4 представлены средние составы первичных хромшпинелидов.

Первичные шпинелиды характеризуются низким содержанием трехвалентного железа и поэтому на треугольной диаграмме практически все точки располагаются вдоль оси Al–Cr, что является характерным признаком офиолитовых комплексов. Резкое увеличение концентрации железа происходит при метаморфизме хромшпинелидов с постепенным превращением их в магнетит, что и отражает тренд, который образуют точки метаморфизованных шпинелидов на той же диаграмме.

Вариации массовых содержаний магния и двухвалентного железа в первичных шпинелидах составляют соответственно MgO 7–14% и FeO 13–26% при

отсутствии какой-либо закономерности от типов пород. Из элементов-примесей обращает на себя внимание постоянное присутствие в акцессорных шпинелидах небольшого количества ванадия при отсутствии титана. При метаморфизме, наряду с железом, увеличивается содержание марганца. В рудообразующих шпинелидах из некоторых месторождений появляется примесь титана.

Наиболее глиноземистым составом характеризуются шпинелиды из апоперидотитовых серпентинитов, массовое содержание Cr₂O₃ в них составляет 42–49%, а Al₂O₃ изменяется от 13 до 28%. Для них характерны ксеноморфные очертания (рис. 3) и значительные вариации по размеру – от десятков микрон до первых миллиметров. Практически всегда зерна хромшпинелидов в той или иной степени подвержены метаморфизму. В одних случаях шпинелиды полностью замещены магнетитом или хроммагнетитом, в других случаях наблюдается образование каемок, обогащенных железом относительно других элементов, особенно интенсивно выносятся алюминий и магний; замещение происходит по сети микротрещин или «по площади», формируя «губчатую» неоднородную структуру.

Морфология шпинелидов постепенно изменяется при переходе от перидотитов к дунитам и хромититам. В переходных породах дунит-гарцбургитового состава шпинелиды гипидиоморфные (см. рис. 3) и менее

3. Содержание элементов примесей в плутонических породах Аккаргинско-Бурдуктальского района (в массовых долях %)

№ п/п	Образцы	Sc	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Cr
1	AK-17-03	0,0006	0,0040	0,0134	0,2701	0,0019	<0,001	<0,001	0,0036	0,0010	0,0045	0,0015	<0,01	<0,001	0,2541
2	AK-21a-04	0,0015	0,0055	0,0103	0,2510	0,0026	0,0016	0,0012	0,0041	0,0012	0,0051	0,0015	<0,01	<0,001	0,2932
3	AK-20-14	0,0013	0,0020	0,0110	0,2170	0,0029	0,0023	0,0010	0,0056	<0,001	0,0047	0,0015	<0,01	<0,001	0,2258
4	AK-44-02	0,0014	0,0049	0,0112	0,3091	0,0021	0,0032	<0,001	0,0031	<0,001	0,0037	0,0015	<0,01	<0,001	0,2208
5	AK-33-04	0,0011	0,0059	0,0131	0,2164	0,0026	0,0048	<0,001	0,0051	<0,001	0,0043	0,0013	<0,01	<0,001	0,2403
6	AK-22	0,0016	0,0075	0,0165	0,2639	0,0025	0,0027	0,0016	0,0044	0,0013	0,0040	0,0011	<0,01	0,0012	0,2659
7	AK-37	0,0012	0,0044	0,0115	0,2087	0,0030	0,0043	0,0012	0,0046	<0,001	0,0038	0,0014	<0,01	<0,001	0,2720
8	AK-23-03	0,0016	0,0035	0,0146	0,3047	0,0023	0,0021	0,0010	0,0045	0,0012	0,0038	0,0011	<0,01	<0,001	0,3060
9	AK-27-02	0,0009	0,0033	0,0109	0,2929	0,0023	0,0042	0,0013	0,0054	0,0013	0,0040	0,0014	<0,01	<0,001	0,2815
10	AK-21a-07	0,0017	0,0040	0,0066	0,2746	0,0021	<0,001	0,0016	0,0054	0,0011	0,0055	0,0015	<0,01	0,0010	0,2258
11	AK-43-01	0,0013	0,0086	0,0068	0,1077	0,0024	0,0059	0,0014	0,0042	<0,001	0,0028	0,0010	<0,01	<0,001	0,1849
12	AK-46-03	0,0014	0,0123	<0,001	0,1025	0,0013	0,0041	0,0016	0,0031	0,0013	0,0037	0,0010	<0,01	<0,001	0,0949
13	AK-48-06	0,0014	0,0182	<0,001	0,0577	0,0012	0,0042	0,0013	0,0137	0,0013	0,0051	0,0011	<0,01	<0,001	0,0833
14	AK-43-02	0,0014	0,0165	0,0053	0,0482	0,0023	0,0052	<0,001	0,0100	0,0014	0,0044	0,0011	<0,01	<0,001	0,0673
15	AK-43-03	0,0021	0,0075	0,0035	0,0330	0,0031	0,0020	<0,001	0,0177	0,0013	0,0117	0,0016	<0,01	<0,001	0,0262
16	AK-11-01	0,0014	0,0422	0,0072	0,0086	0,0015	0,0105	0,0010	0,0071	0,0026	0,0077	0,0006	0,0289	<0,001	0,0117
17	AK-57-02	0,0014	0,0119	0,0039	0,0159	0,0026	0,0054	<0,001	0,0176	0,0020	0,0095	0,0011	<0,01	<0,001	0,0147
18	AK-31	0,0012	<0,001	<0,001	0,0104	0,0053	<0,001	0,0019	0,0241	0,0017	0,0180	0,0021	0,1951	<0,001	0,0063
19	AK-57-01	0,0012	0,0030	<0,001	0,0106	0,0040	<0,001	0,0020	0,0319	0,0027	0,0186	0,0022	<0,01	<0,001	0,0028
20	AK-13	0,0005	0,0026	<0,001	0,0051	0,0082	0,0011	0,0082	0,0111	0,0019	0,0145	0,0021	0,1310	0,0012	0,0029
21	AK-15	0,0010	0,0028	<0,001	0,0044	0,0034	0,0060	0,0219	0,0249	0,0038	0,0200	0,0015	0,0633	0,0027	0,0031
22	AK-31Б	0,0008	<0,001	<0,001	0,0112	0,0057	<0,001	<0,001	0,0185	0,0015	0,0158	0,0020	0,0846	<0,001	0,0163

Примечание. 1–10 – серпентиниты; 11–15 – пироксениты; 16 – диабаз; 17–22 – гранитоиды; анализ проведен рентгено-флуоресцентным методом на приборе ВРА-30 в Институте геологии УНЦ РАН (г. Уфа); аналитики С.В. Мичурин, З.Р. Биктимирова, Ф.Р. Валиева.

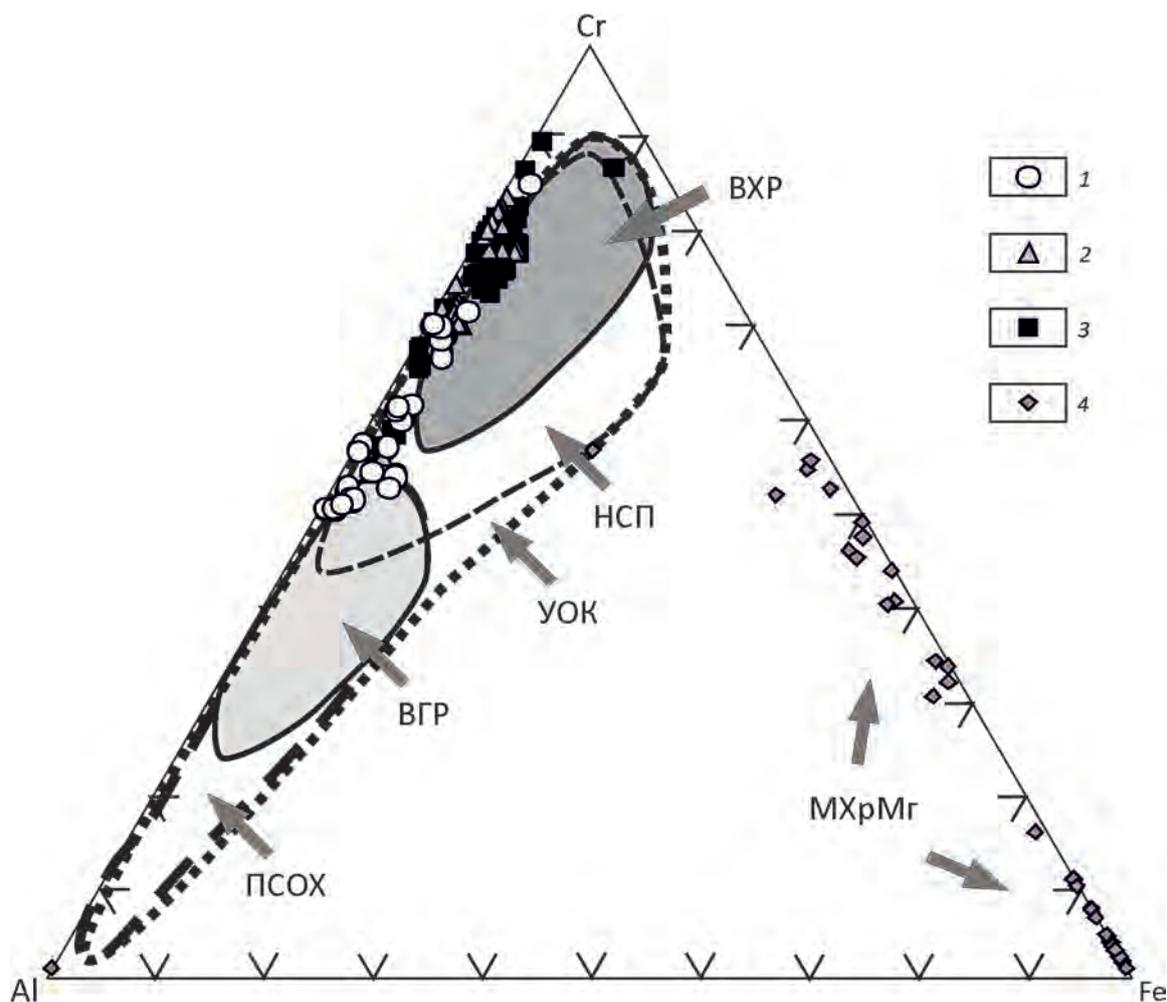


Рис. 2. Положение составов шпинелидов Аккаргинского массива на треугольной диаграмме Al-Cr-Fe³⁺:

1–3 – составы первичных хромшпинелидов из: 1 – апоперидотитовых серпентинитов, 2 – аподунитовых серпентинитов, 3 – хромититов; 4 – составы метаморфизованных шпинелидов; поля составов оконтурены по данным работ [2, 12], ПСОХ – перидотиты срединно-океанических хребтов; НСП – надсубдукционные перидотиты, УОК – ультрамафиты офиолитовых комплексов, ВХР/ВГР – высокохромистые и высокоглиноземистые рудообразующие хромшпинелиды офиолитов, соответственно; МХрМг – метаморфизованные шпинелиды (хроммагнетиты, магнетиты)

глиноземистые (массовые содержания $Al_2O_3 < 10$ и $Cr_2O_3 > 50\%$). В дунитах преобладают мелкие идиоморфные зерна высокохромистого состава (см. рисунки 2 и 3). Рудообразующие хромшпинелиды в целом более устойчивы к изменению состава. Среди них преобладают хромиты с массовым содержанием $Cr_2O_3 > 54\%$, но на одном из месторождений встречены среднехромистые рудообразующие минералы с массовым содержанием оксида хрома 48% (обр. АК-23-06). На рис. 3,3 хорошо видно различие в составе хромшпинелидов из месторождений различного геохимического типа, соседствующих в одном препарате.

Обсуждение и выводы. Петрохимические характеристики ультрамафитов свидетельствуют об их высо-

кой степени деплетирования, которая характерна для верхней мантии надсубдукционных обстановок. Пространственно связанные с реститами магматические образования представляют собой непрерывно-дифференцированную ассоциацию известково-щелочного состава, типичную для островодужных образований.

Хромшпинелиды считаются важными индикаторами процессов поро- и рудообразования благодаря высокой чувствительности их состава к изменяющимся внешним условиям (температура, общее давление, стресс и др.) [13, 14 и др.]. Как известно, состав аксессуарных шпинелидов из древних офиолитовых ультрамафитов изменяется в значительном диапазоне, которому корреспондируют, в свою очередь, широкие

4. Средние химические составы аксессуарных и рудообразующих хромшпинелидов Аккаргинского массива (в массовых долях %)

№ п/п	Образцы	n	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	TiO ₂	MnO	V ₂ O ₅	#Cr	#Mg
1	AK-20-14	5	19,88	49,19	11,56	19,23	–	–	0,13	0,62	0,54
2	AK-21a-08	6	24,16	46,85	13,92	14,71	–	–	0,35	0,57	0,63
3	AK-14	2	21,89	44,05	6,96	26,64	–	0,29	0,17	0,57	0,33
4	AK-32-01	3	27,61	42,72	13,72	15,84	–	–	0,10	0,51	0,62
5	AK-32-02	6	15,32	55,33	11,24	18,05	–	–	0,06	0,71	0,54
6	AK-32-03	6	25,78	42,83	11,55	19,79	–	–	0,05	0,53	0,53
7	AK-33-04	7	15,72	52,93	10,42	20,56	–	–	0,36	0,69	0,50
8	AK-44-03	3	21,90	42,39	7,54	26,50	–	1,67	–	0,56	0,37
9	AK-20-15	10	13,61	56,25	9,59	20,51	–	–	0,04	0,73	0,47
10	AK-28-02	4	13,45	54,85	8,44	23,07	–	–	0,19	0,73	0,41
11	AK-17-03	4	22,41	46,25	11,92	19,13	–	–	0,29	0,58	0,56
12	AK-19-03	3	24,01	45,43	13,35	17,04	–	0,17	0,00	0,56	0,61
13	AK-20-13	3	9,74	61,15	9,20	19,80	–	–	0,12	0,81	0,45
14	AK-21a-02	3	8,09	65,61	8,68	17,62	–	–	–	0,84	0,47
15	AK-21a-03	7	8,66	63,36	9,74	18,15	–	0,09	–	0,83	0,49
16	AK-21a-07	7	9,39	61,00	11,22	18,38	–	–	–	0,81	0,55
17	AK-17-12	4	9,46	61,45	10,51	18,58	–	–	–	0,81	0,52
18	AK-17-шт-01	4	8,94	62,67	13,07	15,32	–	–	–	0,82	0,63
19	AK-17-шт-03	5	9,09	63,05	12,17	15,71	–	–	–	0,82	0,59
20	AK-17-шт-07	4	9,81	62,64	14,94	12,62	–	–	–	0,81	0,71
21	AK-17-шт-08	4	9,96	62,37	14,14	13,44	–	–	–	0,81	0,68
22	AK-18-06	3	9,60	62,69	14,11	13,60	–	–	–	0,81	0,68
23	AK-18-07	16	8,92	62,92	13,41	14,75	–	–	–	0,83	0,65
24	AK-19-04	4	9,00	62,54	14,24	14,23	–	–	–	0,82	0,69
25	AK-19-шт-01	5	9,73	59,10	7,46	23,64	0,07	–	–	0,80	0,38
26	AK-20-11	3	11,83	59,59	11,47	17,11	–	–	–	0,77	0,56
27	AK-20-12	7	16,76	54,91	12,48	15,68	–	0,13	0,05	0,69	0,59
28	AK-20S-02	3	9,33	62,79	14,43	13,44	–	–	–	0,82	0,69
29	AK-21a-01	3	9,32	62,21	11,82	16,64	–	–	–	0,82	0,58
30	AK-21-шт-02	8	10,12	60,86	12,79	16,23	–	–	–	0,80	0,62
31	AK-21-шт-04	5	9,28	62,35	14,34	14,03	–	–	–	0,82	0,69
32	AK-23-06	4	21,59	48,23	14,22	15,84	0,12	–	–	0,60	0,64
33	AK-24-01a	7	9,77	61,08	11,88	17,23	–	–	0,05	0,81	0,57
34	AK-24-016	10	9,34	62,46	13,27	14,93	–	–	–	0,82	0,64
35	AK-24-06	6	11,09	59,69	13,21	16,01	–	–	–	0,78	0,63
36	AK-33-01	4	10,58	62,46	13,78	13,18	–	–	–	0,80	0,67
37	AK-33-02	4	10,56	60,54	11,94	16,91	0,05	–	–	0,79	0,58

Примечание. 1–8 – апоперидотитовые серпентиниты; 9–10 – аподунит-гарибургитовые серпентиниты; 11–16 – аподунитовые серпентиниты; 17–37 – хромититы: 19, 21, 34 – нодулярные, 20, 27, 35, 37 – вкрапленные, остальные – массивные; состав минералов приведен к 100%; прочерк – содержание оксида ниже предела обнаружения; #Cr=Cr/(Cr+Al), #Mg=Mg/(Mg+Fe²⁺) в атомных количествах; n – число анализов; исследования проведены в ИПСМ РАН (г. Уфа) на приборе Vega 3 Tescan с ЭДА.

вариации состава хромшпинелидов в ультрамафитах из различных геодинамических обстановок [12].

Среди изученных авторами хромшпинелидов отсутствуют высокоглиноземистые минералы, характерные для лерцолитов из внутриплитных обстановок и мед-

ленно-спрединговых срединно-океанических хребтов. Для перидотитов массива характерен средне- и высокохромистый состав минералов, что позволяет сопоставить ультрамафиты Аккаргинского массива с источником мантийным основанием надсубдукционных

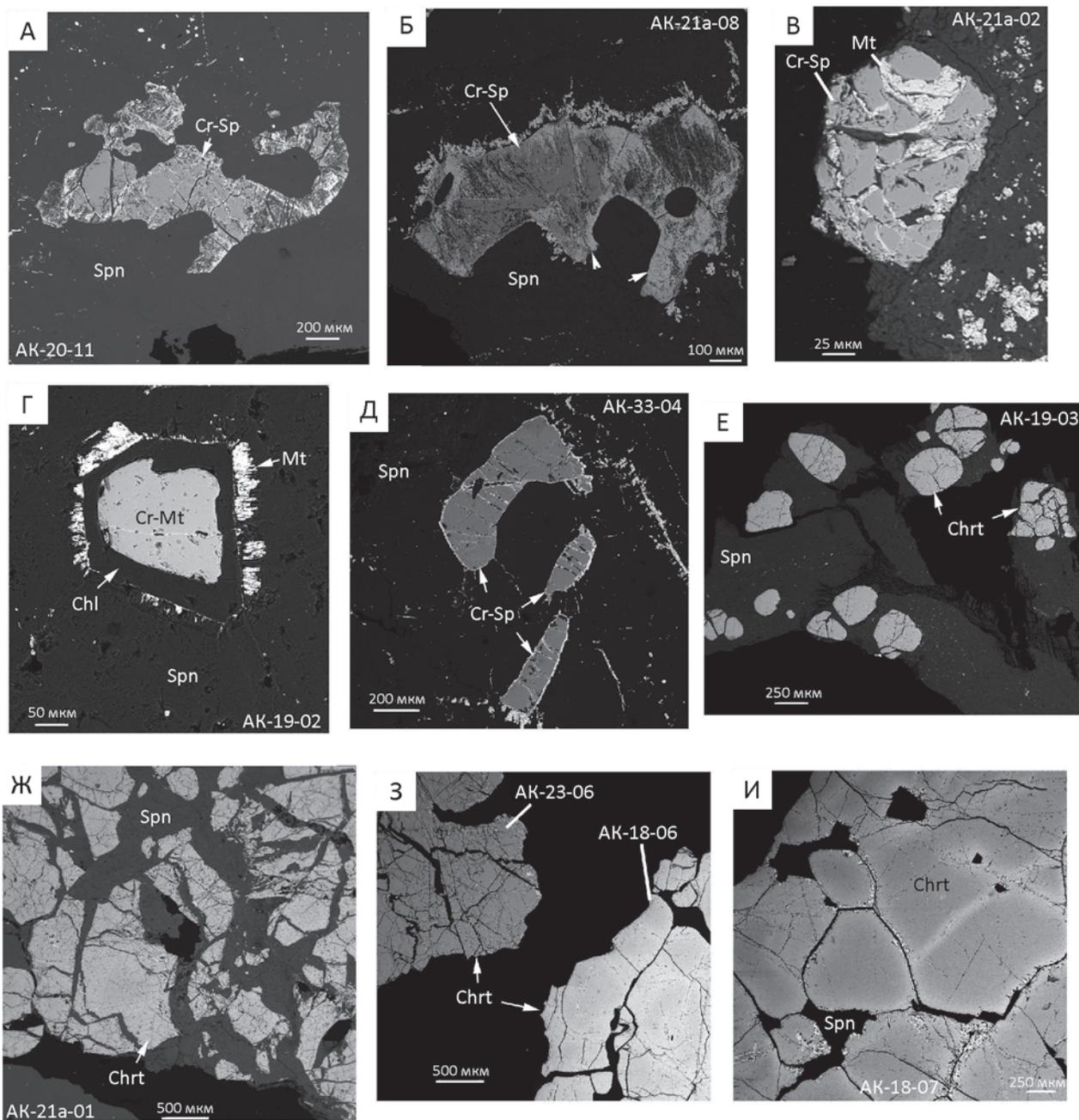


Рис. 3. Акцессорные и рудообразующие хромшпинелиды Аккаргинского массива:

снимки в обратно-рассеянных электронах; Cr-Sp – хромшпинелид, Chrt – хромит, Spn – серпентин, Mt – магнетит, Chl – хлорит

геодинамических обстановок. С этим выводом согласуется пространственное совмещение в изученном районе деплетированных ультрамафитов и интрузий дифференцированного состава, которые могут рассматриваться как корневые части островодужных вулканических построек.

Современный облик рассматриваемая структура приобрела в результате коллизионного сжатия земной

коры. Гидратированные ультрамафиты (серпентиниты), являясь реологически наиболее слабыми породами, в результате широтного сжатия сформировали оболочку вокруг компетентных магматитов. Последние играли роль своеобразного индентора для серпентинитов, растекание которых происходило в твердо-пластическом состоянии от восточного и западного флангов структуры на северо-восток (Аккаргинский массив) и юго-

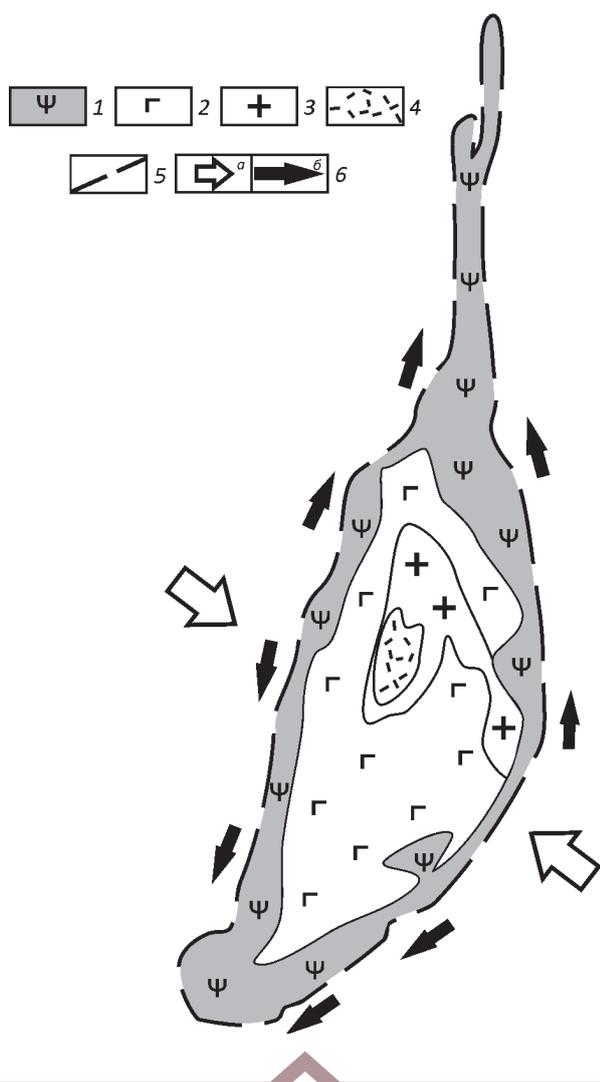


Рис. 4. Схема образования структуры Бурукталяско-Аккаргинского района в результате тектонического сжатия:

1 – серпентиниты; 2 – габброиды; 3 – диориты и гранитоиды; 4 – кварцевые монзониты; 5 – внешние тектонические контакты серпентинитов; 6 – направление: а – действующих сил при коллизии и б – пластического течения материала

запад (Бuurktальский массив), где были сформированы V-образные тела наибольшей мощности (рис. 4).

Подиформные тела массивных хромититов в северной части структуры могли сформироваться в результате этого же процесса на месте протяженной зоны вкрапленного оруденения. Закономерные переходы от вкрапленных руд в табулярных телах среди дунитов к массивным линзовидным и столбообразным залежам в серпентинитах сдвиговых зон описаны авторами ранее на массивах Крака и Уфалейском [7].

Таким образом, рассматривая в комплексе состав и структуру Аккаргинско-Бuurktальского района, можно предположить, что ультрамафиты и окаймляемые ими гранит-диорит-габбровые интрузии представляют со-

бой фрагмент «мантийного клина» под островодужной (либо задуговой) областью, претерпевший выдавливание в вышележащие стратифицированные породы коры во время коллизионного тектонического сжатия.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ-Поволжье 14-05-97001 (тема: «Оценка перспектив комплексного использования хромовых руд месторождений Республики Башкортостан») и Госзадания Минобрнауки РФ (тема «Модель образования месторождений хрома в офиолитах Южного Урала»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлаков А.С. Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. – М.: Наука, 1978.
2. Геология, петрогеохимия и хромитонность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала // Д.Е.Савельев, В.И.Сначев, Е.Н.Савельева, Е.А.Бажин. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
3. Дубинин В.С. Магматические формации Бурукталяского рудного района и их металлогения // Автореферат дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Свердловск, 1962.
4. Кулиджанян М.Е., Вдовина В.Е. Бурукталяская группа ультраосновных массивов на восточном склоне Урала / Труды Второго Уральского петрографического совещания. – Свердловск, 1969. Т. 2. С.153–157.
5. Малахов И.А. Петрохимия ультрабазитов Урала. – Свердловск, 1966.
6. Никитин К.К. Древняя кора выветривания Бурукталяского массива ультраосновных пород / Труды ИГЕМ АН СССР. – М., 1962. Вып. 69.
7. Савельев Д.Е. Хромитонность гипербазитовых массивов Южного Урала // Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – Уфа, 2012.
8. Уральские месторождения хромита / С.А.Вахромеев, И.А.Зимин, К.Е.Кожевников и др. // Тр. ВИМС. Вып. 85. – М.–Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.
9. Шкуропат Б.А. Петрографические и петрохимические особенности ультраосновных пород Джетыгаринского района на Южном Урале // Магматические формации, метаморфизм, металлогения Урала. – Свердловск, 1969. С. 105–108.
10. Шкуропат Б.А., Борисова В.А. Минералогические и петрохимические особенности ультрабазитов Зауральского поднятия в связи с их тектоническим положением // Вопросы геологии, минералогии, геохимии полезных ископаемых Южного Урала. – Уфа, 1992. С. 89–98.
11. Эдельштейн И.И. Петрология гипербазитов Тоболо-Иргизского района Южного Урала и особенности связанных с ними кор выветривания. – М.: Наука, 1968.
12. Barnes S., Roeder P. The Range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // J. Petrology. 2001. Vol. 42. № 12. Pp. 2279–2302.
13. Dick H.J.B., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contrib Mineral Petrol. 1984. Vol. 86. Pp. 54–76.
14. Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part I: Theory // Canadian J. Earth Sci. 1965. Vol. 2. Pp. 648–672.