

УДК 552.323.6

**К ПРОБЛЕМЕ «ВОДНОСТИ» УЛЬТРАОСНОВНОЙ МАГМЫ****Г.Б. Флеров, В.М. Чубаров***Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: flerov@kscnet.ru***Геологический очерк района работ**

Проблема петрогенезиса и составов первичных и производных магм далека еще до своего решения, поэтому любая информация в той или иной степени касающаяся этого вопроса актуальна. В настоящей работе представлены материалы изучения конкретных горных пород, которые авторы склонны рассматривать как продукты кристаллизации ультрабазитовой магмы высокой «водности». На Камчатке из пород подобного генезиса хорошо известны кортландиты, развитые в южной части Срединного хребта [6, 7], но информация о таковых в других регионах полуострова мала, и авторы предприняли попытку восполнить этот пробел. Нами изучены породы двух из многих даек, развитых на хребте с г. Острая, в истоках р. Вершинная (Валагинский хребет) в туфах и туфобрекчиях Попутновской толщи Валагинской свиты верхнемелового-палеоценового возраста (рис. 1). Вулканогенные образования толщи представлены чередованием туфов и лав базальтового состава нормальной и повышенной щелочности. В незначительном количестве присутствуют андезиты и трахиандезиты. Особенностью толщи является наличие в ее составе силлов, даек и диатрем пикритов и пикробазальтов, среди которых отмечены амфибол и флогопитсодержащие разновидности. Вулканизму сопутствуют интрузивные проявления, сформировавшие дунит-клинопироксенит-габбровые массивы, в ассоциации с которыми встречаются амфиболовые разности перидотита (шрисгеймиты) и горнблендиты [1, 5].

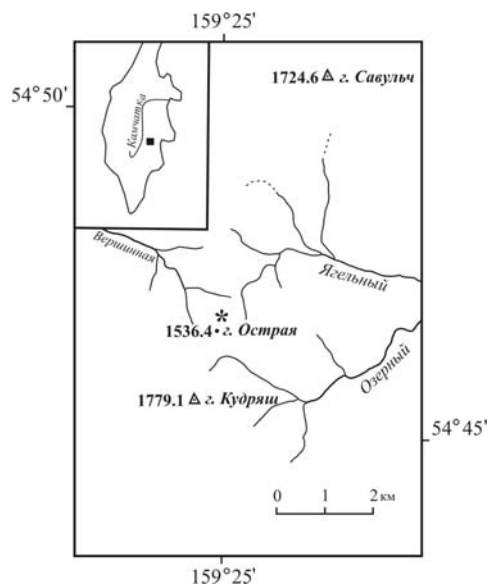


Рис. 1. Район работ, звездочкой показано место расположения даек

Изученные нами дайки обнажаются на водораздельной части хребтика в виде элювиальных развалов пород с видимой мощностью до 3-4 м при субмеридиональном простирании. Малая их мощность и отсутствие закалочных явлений предполагает парагенетическую связь пород даек с породами вмещающей толщи и внедрение их в достаточно прогретую среду в процессе формирования палеовулкана. По петрографическому составу породы могут быть отнесены к порфиоровидному амфиболовому перидотиту или шрисгеймиту и амфиболовому пикриту. Они схожи по минеральному составу, но заметно различаются по структуре, составу минералов и их вариациям, а по петрохимическим характеристикам подобны пикритам Попутновской

свиты. В то же время, среди последних они занимают область с повышенным содержанием кремнекислоты, титана, алюминия, кальция и щелочей (табл. 1, рис. 2).

### Петрография и минералогия пород

*Шрисгеймит.* Макроскопически порода темно-серого цвета, среднезернистой структуры. Выделяются две минеральные ассоциации. В состав первой ассоциации входят: главные породообразующие минералы – оливин, клинопироксен, амфибол ряда паргаситгастингсит и акцессорные флогопит, хромшпинель, гранат и фторапатит. Амфибол занимает порядка 60 % объема породы и представлен главным образом

Таблица 1. Химические составы (мас. %) пород даек

Компоненты	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	42,5	42,0	41,87
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,31	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,37	7,14	5,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,84	8,72	Н.о.
FeO	Н.о.	Н.о.	8,47
MnO	0,13	0,13	0,15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н.о.	Н.о.	0,39
MgO	29,9	28,8	29,04
CaO	6,17	6,14	5,76
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,27	0,41
K <sub>2</sub> O	0,22	0,23	0,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,10	0,12
nnn	4,00	6,00	6,82
S %	0,07	0,07	Н.о.
F %	0,08	0,07	Н.о.
Сумма	99,95	99,97	99,25

Примечание. 1 – шрисгеймит, 2-3 – амфиболовый пикрит. Анализы выполнены рентгеноспектральным методом: 1-2 – в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН на спектрометре «S4 PIONER», аналиток Е.В. Карташова; 3 – в лаборатории ГЕОХИ РАН на спектрометре «AXIOS», аналитик И.А. Рощина.

крупными (до 5 мм) порфиробластами, включающими зерна оливина, пироксена, флогопита, шпинели, в единичных случаях граната и фторапатита (рис. 3а-в). Цвет амфибола светло-желтовато-зеленоватый, меняющийся до бледно-зеленоватого на периферии и бесцветного в краевой зоне кристалла. Оливин в значительной степени замещен серпентином, вплоть до полных псевдоморфоз, клинопироксен практически не изменен. В породе содержание оливина составляет около 25 об. %, клинопироксена – 10 %; размеры их зерен в пределах 1-4 мм и 0.3-2.5 мм соответственно. Флогопит включений светло-желтоватого цвета в форме чешуй размером до 0,3 мм, подчас резорбированных. Железистость флогопита - 17-24. Наблюдаются участки пироксенитового состава и сростки амфибола с пироксеном. Размер зерен пироксена – 0.1-0.3 мм.

Отмеченные структурные взаимоотношения свидетельствуют о магматической природе флогопита и позднемагматической амфибола. Во всех главных породообразующих минералах встречены единичные включения рудного минерала – хромовой шпинели, а в паргасите серпентина и хлорита. Вторая минеральная ассоциация занимает около 5 % объема породы и представлена, главным образом, водосодержащими минералами – амфиболом тремолит-актинолитовой группы,

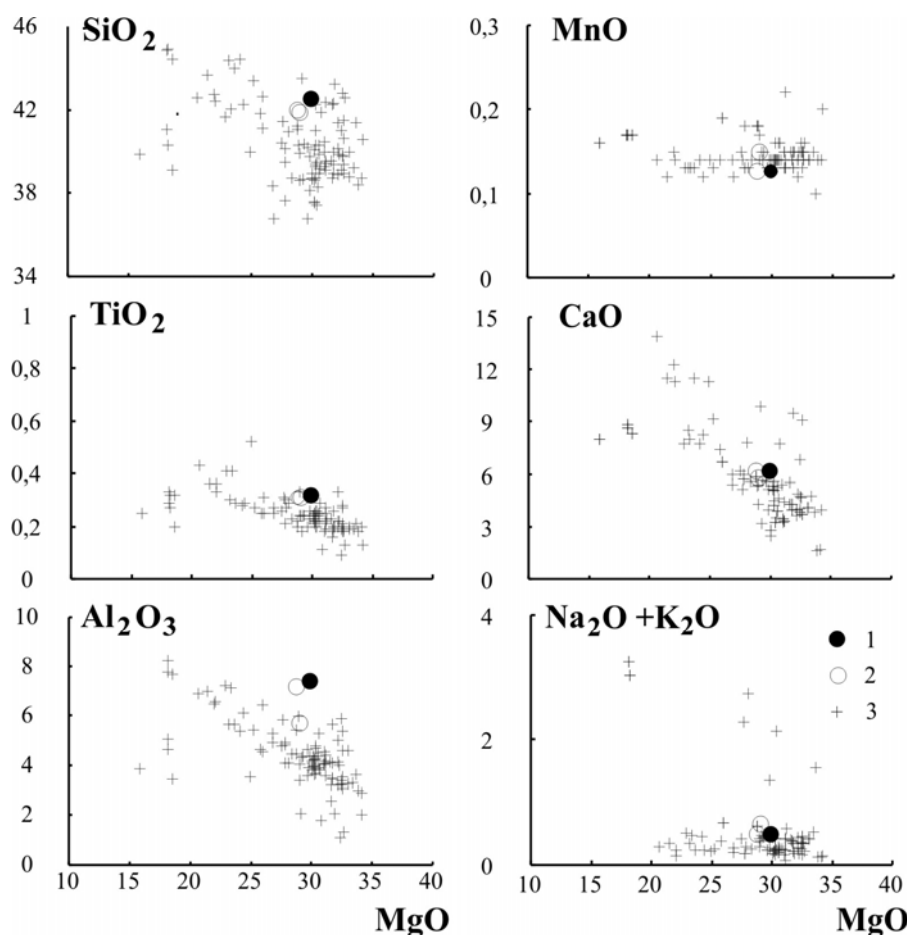


Рис. 2. Диаграмма MgO – оксиды (мас. %) для пород даек. 1 – шрисгеймит, 2 – амфиболовый пикрит, 3 – пикриты Попутновской толщи Валагинской свиты по [5].

хлоритом, серпентином, бледно-желтым и бесцветным флогопитом и в парагенезисе с ними эпидотом, магнетитом, гранатом, фторапатитом, сфеном. Они выполняют отдельные участки основной массы и интерстиции главных породообразующих минералов. В актинолите наблюдаются реликты клинопироксена и амфибола.

*Пикрит амфиболовый.* Минеральный состав породы аналогичен шрисгеймиту, но от последнего отличается порфиловым обликом. Соответственно, в первой минеральной ассоциации выделяется две размерные генерации оливина и клинопироксена, что свидетельствует о формировании породы в два этапа в собственно магматическую стадию кристаллизации. Амфибол светло-буроватого цвета до светло-зеленоватого к периферии и также образует пойкилитовые выделения с включениями, оливина, клинопироксена. Оливин замещается по периферии серпентином, пироксен неизменен. Вторая минеральная ассоциация слагает порядка 40-50 % объема породы, распределяется неравномерно, что создает такситовость текстуры. Минеральный состав соответствует таковому шрисгеймита, кроме того, присутствует кальцит, полевой шпат. Пироксен второй генерации обычно представлен реликтами в амфиболе тремолит-актинолитовой группы.

В шлифах гранат присутствует в обеих разновидностях пород в виде зерен изометричной и червеобразной форм размером от сотых долей мм до 0.25 мм, цвет его буроватый. Изометричный гранат встречен в крупных кристаллах амфибола как минеральное включение и в ассоциации с хлоритом. В основной массе обе морфологические разновидности находятся в парагенезисе с минералами вышеописанной второй ассоциации. В зернах граната встречаются включения рудного минерала, а в кристалле хромшпинели отмечены специфические сингенетические

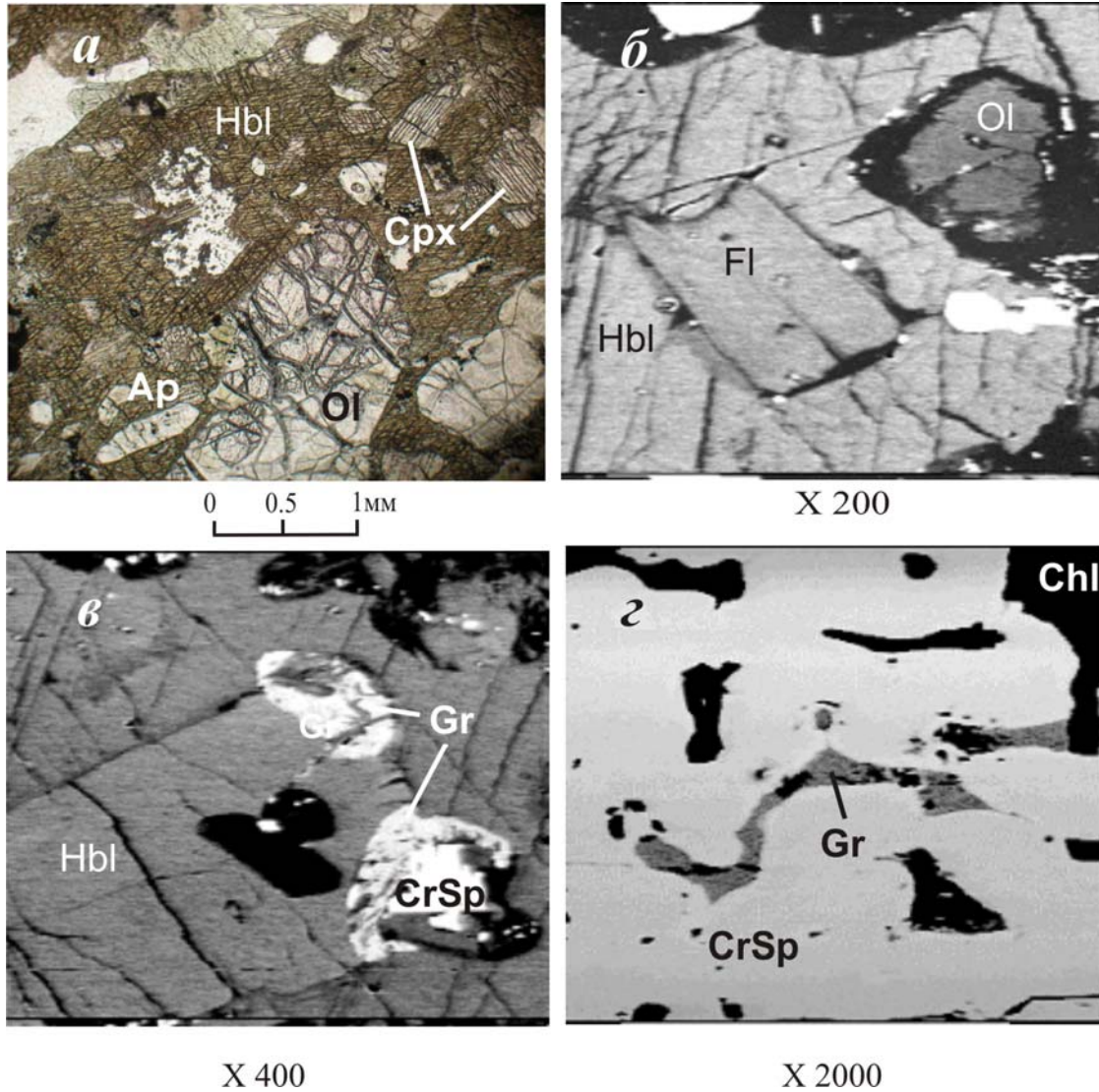


Рис. 3. Взаимоотношения минералов в породах даек. *a* – шлиф: порфиробласт амфибола (Hbl) с включениями оливина (Ol), клинопироксена (Cpx), апатита (Ap); *б-з* – микроснимки, выполненные на микрозонде «Camebax» в ИВиС ДВО РАН: *б* – включения флогопита (Fl) и оливина в амфибол; *в* – включения граната (Gr) и хромшпинели (CrSp) в амфибол; *з* – ленточное выделение граната в хромшпинеле.

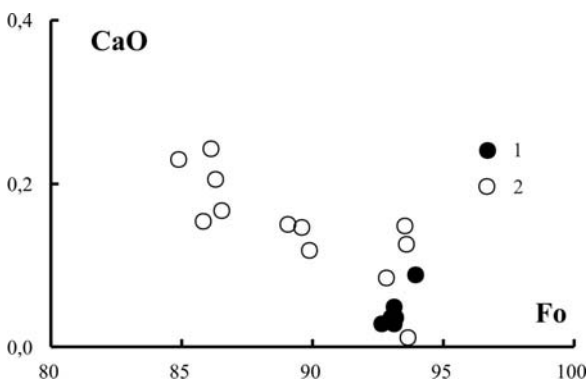


Рис. 4. Диаграмма Fo – CaO (мас. %) для оливинов из пород даек. 1 – шрисгеймит, 2 – амфиболовый пикрит.

ленточные выделения граната, объяснить которые пока авторам не представляется возможным (рис. 3г).

Оливины из пород, прежде всего, отличаются интервалом кристаллизации по содержанию Fo минала (рис. 4, табл. 2). Если минералы порфирированного шрисгеймита и вкрапленники амфиболового пикрита близки и отвечают составу Fo<sub>92.5-94</sub>, то вторая генерация оливина из последнего продлевает кристаллизационный тренд до Fo<sub>85</sub>. Значимые различия наблюдаются по содержанию Ca. Согласно данным [8] содержание CaO = 0.1 %

является границей, разделяющей оливины из экструзивных и гипабиссальных пород ( $\text{CaO} > 0.1 \%$ ) и глубинных плутонических ( $\text{CaO} < 0.1 \%$ ). Д. Стормер [9] показал, что увеличение содержания Ca в оливинах недосыщенных кремнеземом пород возможно при существенном снижении давления. В связи с этим можно предположить более глубокие условия кристаллизации оливинов из шприсгеймита относительно таковых из пикрита.

Таблица 2. Представительные составы (мас. %) оливинов из пород даек

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	42,26	42,11	42,38	41,93	42,37	42,56	41,90	41,25	41,01
FeO	5,75	6,57	6,63	7,06	6,12	7,05	10,16	13,16	14,48
MgO	50,16	50,01	49,45	49,80	49,89	51,20	48,97	46,48	45,69
CaO	0,09	0,03	0,04	0,03	0,13	0,08	0,15	0,21	0,23
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,03	0,04
NiO	0,41	0,43	0,38	0,38	0,44	0,47	0,28	0,24	0,24
Сумма	98,67	99,15	98,88	99,17	98,97	101,37	101,49	101,37	101,69
FO	93,95	93,13	93,00	92,63	93,56	92,83	89,58	86,29	84,90

Примечание. 1-4 – шприсгеймит, 5-9 – амфиболовый пикрит. Анализы минералов здесь и далее выполнены на микрозонде «Camebax» в ИВиС ДВО РАН

*Клинопироксены* рассматриваемых пород имеют некоторые различия в составах (рис. 5, табл. 3). Равно как и для оливинов, пироксены из пикрита представлены двумя генерациями с отличными тенденциями развития, слагающими на диаграммах дискретные совокупности точек в интервале железистости  $f = 10-13$  и  $16-28$ . Первая генерация соответствует диопсиду  $\text{Wo}_{48-51}\text{En}_{40-46}\text{Fs}_{6-9}$ , вторая салиту  $\text{Wo}_{49-51}\text{En}_{32-36}\text{Fs}_{12-16}$ . Составы клинопироксенов из шприсгеймита в пределах близкой железистости отличаются от таковых из амфиболового пикрита меньшими содержаниями Ti, Ca, Cr, Na и большими Si при  $f = 10-16$ , а также пониженным содержанием волластонитового минала –  $\text{Wo}_{46-48}\text{En}_{44-47}\text{Fs}_{6-8}$ .

Таблица 3. Представительные составы (мас. %) клинопироксенов из пород даек.

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	53,84	54,06	52,55	52,47	52,16	53,15	52,26	54,85	52,14	53,62
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,19	0,25	0,28	0,30	0,24	0,28	0,14	0,16	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,39	1,71	2,91	2,92	3,51	1,96	2,41	1,15	0,94	0,00
FeO	3,60	4,05	4,39	4,72	5,00	3,60	3,97	5,87	7,49	8,92
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,33	0,66	0,59	0,72	0,53	0,57	0,00	0,00	0,00
MgO	16,40	16,63	15,64	15,43	15,08	16,18	15,68	14,38	12,74	12,68
CaO	22,74	22,57	22,82	22,97	23,20	24,00	23,72	23,51	24,45	25,13
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,25	0,24	0,08	0,18	0,24	0,24	0,19	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,42	0,36
Сумма	98,60	99,55	99,48	99,63	100,04	99,83	99,13	100,26	98,53	100,75
f	10,95	12,03	13,61	14,64	15,70	11,09	12,44	18,64	24,80	28,30
WOLL	47,02	46,19	47,53	47,74	48,25	48,67	48,76	48,87	50,91	50,54
EN	47,18	47,34	45,33	44,61	43,62	45,64	44,86	41,60	36,91	35,47
FS	5,80	6,47	7,14	7,65	8,12	5,69	6,37	9,53	12,18	14,00

Примечание. 1-5 – шприсгеймит, 6-10 – амфиболовый пикрит.

*Амфиболы* в породах представлены широкими вариациями составов, отражающим разные стадии их кристаллизации (рис. 6, 7, табл. 4). Амфиболы первой минеральной ассоциации, которые главным образом формируют пойкилитовые выделения, соответствуют ряду паргасит-феррогастингсит, а на диаграмме рис. 6 они располагаются в в одном поле с магматическими паргаситами из кортландитов [6, 7]. При этом, в минералах из пород даек отмечается высокое содержание воды. Амфибол подобного состава паргасит-гастингситовой группы является представительным

Таблица 4. Химические составы (мас.%) амфиболов первой минеральной ассоциации из пород даек.

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	53,25	42,48	43,74	43,42	43,09	44,38	44,80	41,95
TiO <sub>2</sub>	0,15	0,98	1,15	1,13	1,41	0,73	1,08	1,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,96	13,87	13,53	13,17	13,83	11,99	12,36	14,40
FeO	7,40	10,87	9,99	9,68	8,75	8,09	8,55	8,80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0	0	0	0,05	0,17	0,07	0,10
MgO	18,47	14,51	14,96	14,74	15,91	16,52	16,35	15,79
CaO	10,69	11,34	11,40	11,52	11,96	11,57	12,05	12,50
Na <sub>2</sub> O	1,03	2,44	2,64	2,43	2,49	1,99	2,13	2,35
K <sub>2</sub> O	0,18	0,90	0,86	0,83	1,16	0,85	1,02	1,25
MnO	0,07	0,02	0,05	0,04	0	0	0	0
H <sub>2</sub> O	2,12	2,04	2,07	2,05	2,08	2,05	2,09	2,08
Сумма	98,87	99,52	100,44	99,02	100,77	98,45	100,57	100,98
f	18,3	29,6	27,2	26,9	23,5	21,5	22,6	23,8

Примечание. 1-4 – шрисгеймит, 5-8 – амфиболовый пикрит. H<sub>2</sub>O рассчитано согласно стехиометрии минерала.

минералом щелочных основных пород [4]. Все это позволяет авторам рассматривать амфиболы первой ассоциации как позднемагматическую фазу кристаллизации. Минералы из амфиболового пикрита, сравнительно с таковыми из шрисгеймита, менее железистые, более кальциевые и содержат относительно более повышенный Ti и K. Минералы второй ассоциации располагаются в области тремолит-актинолитовых составов с переходными разностями к магнезиальным роговым обманкам.

*Гранаты* на диаграмме минералов ложатся в поле андрадита-гроссуляра (рис. 8а). Вариации содержания андрадита и гроссуляра в интервале соответственно: в шрисгеймите – 85-96 и 0-6, в пикрите более значительные – 51-70 и 29-48. При этом в андрадите из шрисгеймита присутствует пироповый компонент, а гранат из пикрита отличается повышенным содержанием Ti до 8 и Al до 6 мас. % (рис. 8б, табл. 5). Гранаты кристаллизуются на всем протяжении формирования пород в парагенезисе с минералами как первой так и второй ассоциаций. Самостоятельные выделения граната в амфи-боле первой ассоциации и хромшпинелиде и в парагенезисе с последним может свидетельствовать о начале его кристаллизации в магматическую стадию. По данным [4] магматический гранат группы гроссуляр-андрадит обычен в щелочных основных породах.

*Шпинелиды* собственно магматической стадии кристаллизации пород, зафиксированные как минеральные включения в оливине, клинопироксене и амфиболе, представлены хромовой разновидностью с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 47-56 и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 5-8 мас. % (табл. 5). Типичным рудным минералом второй минеральной ассоциации является магнетит. Присутствует также группа промежуточного состава с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 16-31 и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 9-17 мас. %

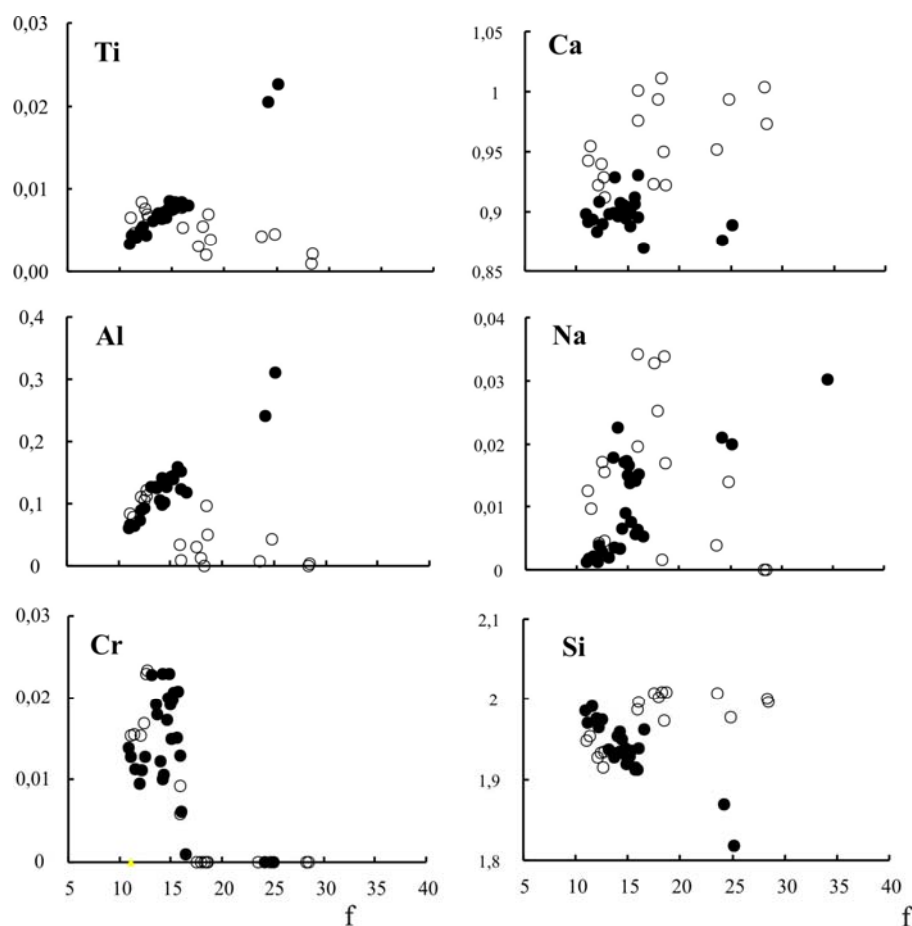


Рис.5. Диаграмма железистость (f) – катионы (форм. ед.) для клинопироксенов из пород даек. 1-2 – как на рис. 4.

Таблица 5. Представительные составы (мас. %) гранатов из пород даек

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	35,70	37,42	36,07	35,88	34,33	34,27	34,51	33,95
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,04	0,04	1,33	3,72	5,53	6,28	7,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55	0,32	0,22	5,47	2,71	6,19	4,88	2,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,98	28,53	28,36	22,94	24,55	16,23	18,58	19,91
FeO	0	1,76	0	0	0	0	0	0,50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0,28	0,15	0
MgO	1,54	0,85	3,19	0,35	0,44	0,50	0,46	0,73
CaO	31,83	32,36	30,38	35,91	35,57	36,34	36,2	35,71
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0
NiO	0,01	0,03	0	0	0,06	0,01	0,01	0
ZnO	0,01	0,02	0	0,02	0	0,04	0	0,06
Сумма	99,66	101,33	98,26	101,90	101,38	99,39	101,07	100,71

Примечание. 1-3 – шрисгеймит, 4-8 – амфиболовый пикрит.

### Обсуждение результатов

Согласно химическому, петрографическому и минеральному составам шрисгеймит и амфиболовый пикрит относятся к одному семейству и образуют один эволюционный ряд. Однако породы отличаются по структуре, что выразилось в наличие двух генераций оливина и пироксена в амфиболовом пикрите. Кроме того,

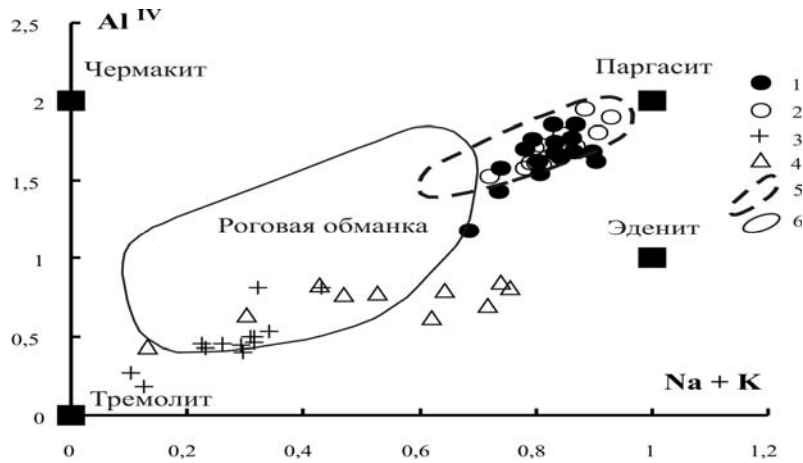


Рис. 6. Диаграмма  $\text{Na} + \text{K} - \text{Al}^{\text{IV}}$  (форм. ед.) [2] для амфиболов из пород даек. 1-2 – первая минеральная ассоциация, как на рис. 4; 3-4 – вторая минеральная ассоциация: 3 – шрисгеймит, 4 – амфиболовый пикрит; 5 – поле кортландитов по материалам [5, 6]; 6 – поле составов роговой обманки по [2].

составы всех главных минералов первой ассоциации устойчиво различаются по содержанию ряда компонентов и занимают дискретные позиции на диаграммах (рис. 4-8). В то же время, минералам свойственна одна тенденция изменения составов, а их линии регрессии параллельны. Это свидетельствует с одной стороны о различных условиях формирования пород, с другой – об определенной самостоятельности исходных для них магм. Повышенная щелочность шрисгеймита и амфиболового пикрита и наличие в них флогопита, фторапатита позднемагматического амфибола позволяют сделать вывод о том, что эти породы представляют собой производные родительской магмы ультраосновного состава повышенной щелочности с изначально высоким содержанием воды, а их различия определены степенью продвинутого процесса кристалли-зационной дифференциации, сопровождающегося фракционированием оливина и клинопироксена.

Не исключено, что в процессе кристаллизации остаточный расплав все более обогащался водой и летучими компонентами вплоть до перехода его в субстанцию флюида и раствора.

В развитие этого представляется, что кристаллизация водных минералов второй ассоциации, включая и гранат, проходила в обстановке сниженных  $P$ - $T$  параметров в автометаморфическую стадию. Эта тенденция и вывод о повышении концентрации воды в «водных» магмах в процессе кристаллизации согласуется с представлением ряда ученых о физико-химических условиях формирования пород и с экспериментальными исследованиями роли воды в расплавах [3].

В свою очередь, принимая во внимание совместное присутствие вышеописанных пород в одной толще с пикритами и в то же время некоторые различия их химического состава с таковым последних, в частности по кремнекислотности и щелочности, можно предположить, что сама по себе эта водонасыщенная магма является дифференциатом пикритовой.

Авторы приносят благодарность О.Ю. Закревской за предоставление части материалов микрозондовых исследований.



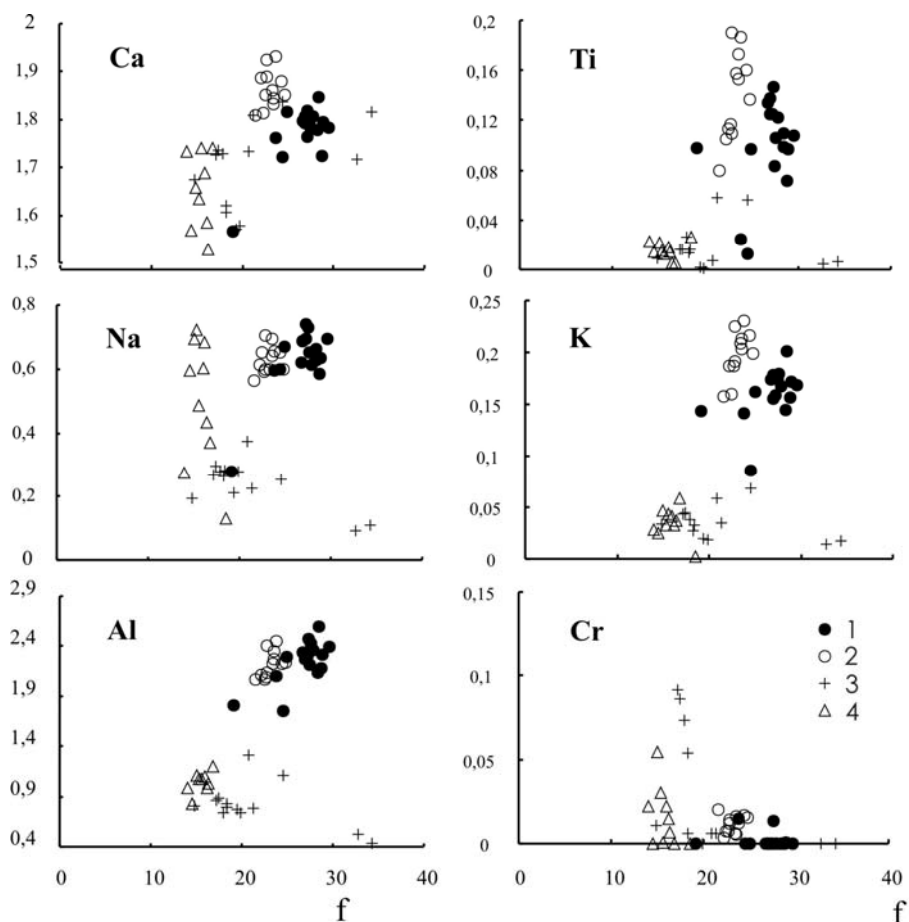


Рис. 7. Диаграмма железистость ( $f$ ) – катионы (форм. ед.) для амфиболов из пород даек. 1-4 – как на рис. 6

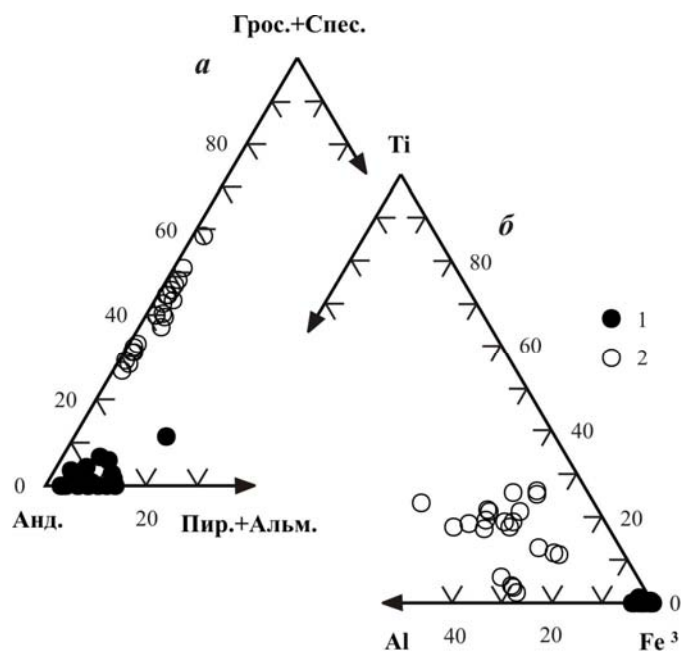


Рис.8. Тройные диаграммы Анд – Гросс (+ Спесс) – Пир (+ Альм) и Fe<sup>3</sup> – Al – Ti (форм. ед.) для гранатов из пород даек. 1-2 – как на рис. 4.

Таблица 6. Представительные составы (мас. %) шпинелидов первой минеральной ассоциации из пород даек

Компоненты	1	2	3	4	5	6
TiO <sub>2</sub>	0,21	0,25	0,31	0,25	1,22	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,94	5,33	8,66	10,79	14,31	7,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,46	8,99	12,87	10,14	27,86	7,49
FeO	27,95	22,74	23,07	18,11	21,9	21,16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51,82	55,32	46,72	49,18	26,54	55,23
MgO	2,37	6,03	5,88	9,74	8,18	7,58
CaO	0,14	0,01	0,07	0,01	0,05	0,02
MnO	1,03	0,78	0,66	0,53	0,44	0,61
NiO	0,12	0	0,04	0,19	0,18	0,04
ZnO	0,27	0,13	0,23	0,18	0,21	0,18
Сумма	100,33	99,59	98,52	99,16	100,9	100,5
f	86,86	67,91	68,77	51,05	60,03	61,03

Примечание. 1-3 – шприсгеймит, 4-6 – амфиболовый пикрит.

#### Список литературы

1. Государственная геологическая карта. Масштаб 1:200 000. Восточно-Камчатская серия. N-57-X. 1994.
2. Дир В.А., Хауи Р.А., Зусман Д. Пороодообразующие минералы. Т. 2. М: Мир. 1965. 405 с.
3. Кадик А.А., Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И. Вода в магматических расплавах. М: Наука. 1971. 267 с.
4. Магматические горные породы. Щелочные породы. М: Наука. 1984. 415 с.
5. Марковский Б.А., Ротман В.К. Геология и петрология ультраосновного вулканизма. Л: Недра. 1981. 247 с.
6. Селянгин О.Б. Кортландит-амфиболовый пироксенит-горнблендитовая серия расслоенного никеленосного интрузива Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. 2006. № 2. Вып. 8. С. 9-29.
7. Щека С.А., Чубаров В.М. Никеленосные кортландиты Камчатки // Изв. АН СССР. 1987. Сер. геол. № 12. С. 50-61.
8. Simkin T. Smith J.V. Minor-element distribution in olivine // J. Geol., 1970. V. 78. N 3. P. 304-325.
9. Stormer J.C. Calcium zoning in olivine and its relationship to Silica activity and pressure // Geochim. Cosmochim. Acta. 1973. V.37. N 8. P. 1815-1821.

## ON THE WATER CONTENT IN ULTRABASIC MAGMA

G.B. Flerov, V.M.Chubarov

*The Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: flerov@kscnet.ru*

Amphibolic variations in peridotite and picrite have been studied. The results indicated that these rocks were derived from initially water-saturated parental ultrabasic magma with elevated alkalinity. Differences in magmas are controlled by the level of crystallization while being differentiated in intermediate chambers.