

Н. Е. Король

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ГРАНУЛИТОВ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА В ЭКЛОГИТОПОДОБНЫЕ ПОРОДЫ

Эклогитоподобными называются гранат-клинопироксен-плаггиоклазовые породы, формирующиеся по супракрустальным или интрузивным магматическим образованиям основного и среднего составов при метаморфических и (или) метасоматических процессах обычно в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. Впервые в Западном Беломорье они детально были исследованы О. И. Володичевым (1975).

Ранее автором (Король, 2005б) были описаны основные гранулиты (OG) как обязательные и главные составляющие компоненты гранулит-эндербит-чарнокитовых (ГЭЧ) комплексов Карелии и Центральной Финляндии. Нынешняя статья посвящена одному из аспектов диафтореза^{*1} этих (OG) супракрустальных образований и формированию по ним клинопироксен-плаггиоклазовых (CP) и эклогитоподобных (EKL) пород. Данный процесс характерен в Карелии только для ГЭЧ комплексов [1–4] ** Беломорского подвижного пояса (БПП). Диафторические превращения $OG \rightarrow CP \rightarrow EKL$ осуществляются в условиях метаморфизма беломорского типа кианитовой (амфиболитовой) и (или) кианит-мусковитовой (эпидот-амфиболитовой) фаций (Король, 1990, 2000, 2003, 2005а), что связывается с коллизионным (вторая генерация) этапом развития БПП (Володичев, 1990, 2002). Кроме того, образование метасоматических эклогитоподобных пород может происходить и в условиях гранулитовой фации и последней – переходящей в амфиболитовую, что изучено (Володичев, 1990) на полуостровах Вичаны и Мундиннаволок оз. Кереть [3].

Двустадийные преобразования гранулитов основного состава в клинопироксен-плаггиоклазовые и в дальнейшем в эклогитоподобные породы осуществляются при диафторезе одновременно с другими (ам-

фиболизация, биотитизация, гранатизация и т. д.) превращениями пород ГЭЧ комплексов (Король, 1990, 2003). РТ-параметры наложенных изменений гранулитовых образований соответствуют: $T = 700–500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 10–9\text{ кбар}$ – в амфиболитовой и $T = 580–490\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 9–8\text{ кбар}$ – эпидот-амфиболитовой фации (Король, 1990, 2003, 2005а, б).

Наиболее детально процессы перехода (геолого-петрографические особенности, химизм, минеральные реакционные замещения) $OG \rightarrow CP \rightarrow EKL$ изучены в ГЭЧ комплексах [1–2] районов оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг. Главной геологической закономерностью является развитие клинопироксен-плаггиоклазовых и эклогитоподобных пород в пределах границ первоначального распространения основных гранулитов. В некоторых случаях реликты OG сохраняются среди частичной или даже практически полной их переработки. Переходы исходных гранулитовых пород в производные амфиболитовой фации постепенные, резкие контакты между ними отсутствуют.

Обычно клинопироксен-плаггиоклазовые породы (рис. 1) образуют в основных двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцах преимущественно небольшие, редко протяженностью до 3–5 м при мощности от 0,2 до 1 м, участки, вытянутые часто вдоль разгнейсования и соединяющиеся с гранулитами зонами постепенного перехода. С процессами гранатизации, как правило, связаны преобразования – $CP \rightarrow EKL$. Эклогитоподобные породы развиваются в пределах участков клинопироксен-плаггиоклазовых – неравномерно и пятнисто с сохранением реликтов исходных образований (рис. 1). Контактные соотношения между CP и EKL нечеткие и расплывчатые. Основные гранулиты, в которых образовались участки клинопироксен-плаггиоклазовых пород, иногда подвергаются процессам незначительной гранатизации.

Наряду с описанными, в отдельных случаях фиксируется формирование EKL по OG в очень узких вытянутых по разгнейсованию зонах мощностью 1–2 см, к которым от гранулитов наблюдаются постепенные переходы.

^{*} Диафторез рассматривается как регрессивное минеральное преобразование, происходящее в процессе приспособления магматических и метаморфических горных пород к новым условиям более низких ступеней метаморфизма.

^{**} В статье в квадратных скобках будут указаны номера ГЭЧ комплексов, соответствующие реперным районам их развития: [1] – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, [2] – оз. Керчуг, [3] – п-ова Вичаны и Мундиннаволок оз. Кереть, [4] – п-ов Поньгомнаволок и губа Поньгома Белого моря.

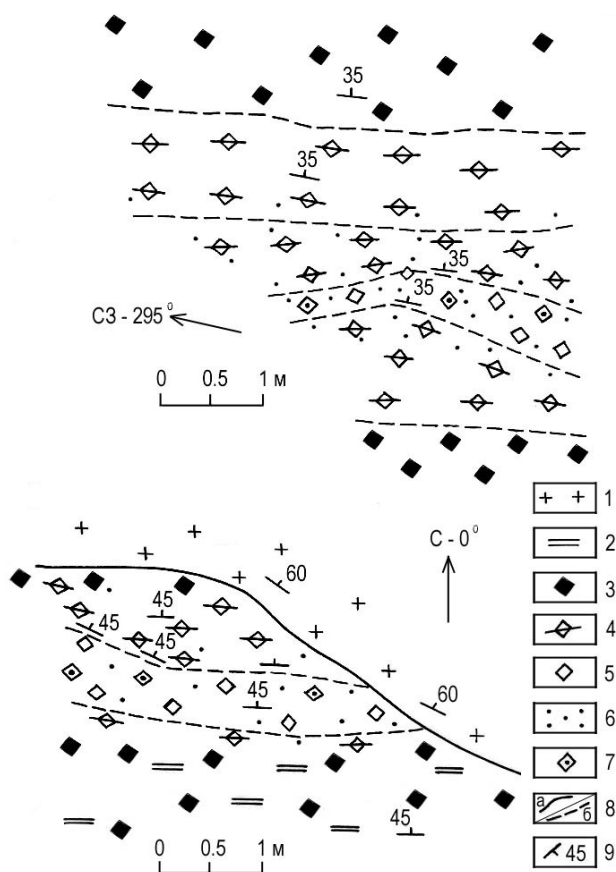


Рис. 1. Преобразование двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев в клинопироксен-плаггиоклазовые и далее в эклогитоподобные породы:

1 – эндербиты; 2 – амфиболиты по двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам; 3 – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы; 4 – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, переходящие в клинопироксен-плаггиоклазовые породы; 5 – клинопироксен-плаггиоклазовые породы; 6 – развитие граната в породах; 7 – эклогитоподобные породы; 8 – границы пород: резкие (а) и постепенные переходы (б); 9 – элементы залегания гнейсовидности.

Зарисовки обнажений оз. Беличьего [1]: обн. К-2245 – верхняя и обн. К-2247 – нижняя.

Петрографические исследования показали, что перекристаллизация двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев в клинопироксен-плаггиоклазовые породы начинается с формирования реакционных кайм новой генерации моноклинового пироксена (Cpx^{II}) * по гиперстену (рис. 2) согласно реакции $\text{Hyr} + \text{CaO} = \text{Cpx}^{\text{II}}$ (табл. 1, № 1). Повышение основности плаггиоклазов в породах при этих преобразованиях свидетельствует о привносе CaO .

* Символы минералов: Cpx – моноклиновый пироксен, Di – диопсид, Sal – салит; Hbl – амфибол – обыкновенная роговая обманка, Br – бронзит, Hyr – гиперстен, Gt – гранат, Cb – карбонат, Qtz – кварц, Mag – магнетит, Om – рудный минерал, Pl – плаггиоклаз, Scp – скаполит, Spl – шпинель. Римские цифры вверху минералов означают принадлежность к гранулитовой (I) или (II, III) амфиболовой фации.

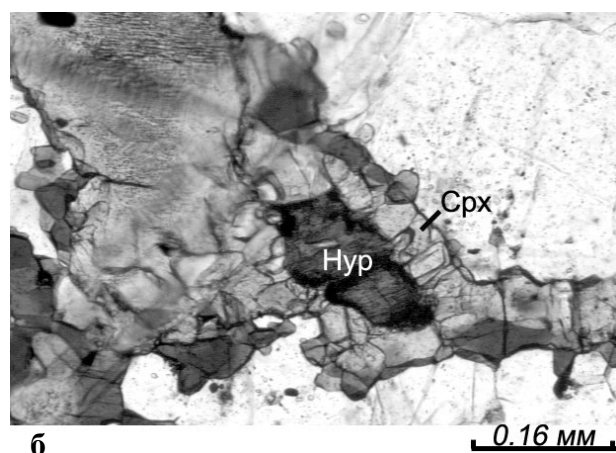
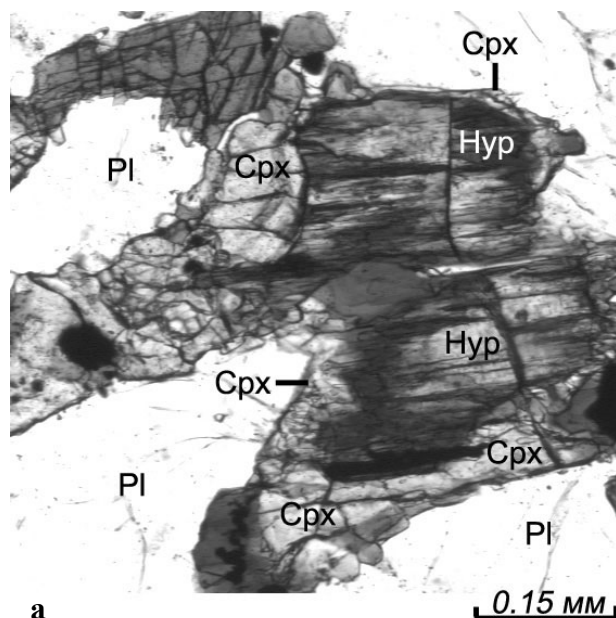


Рис. 2. Образование моноклинового пироксена (салита) по ромбическому пироксену (гиперстену) при процессах преобразования гранулитов основного состава в клинопироксен-плаггиоклазовые породы

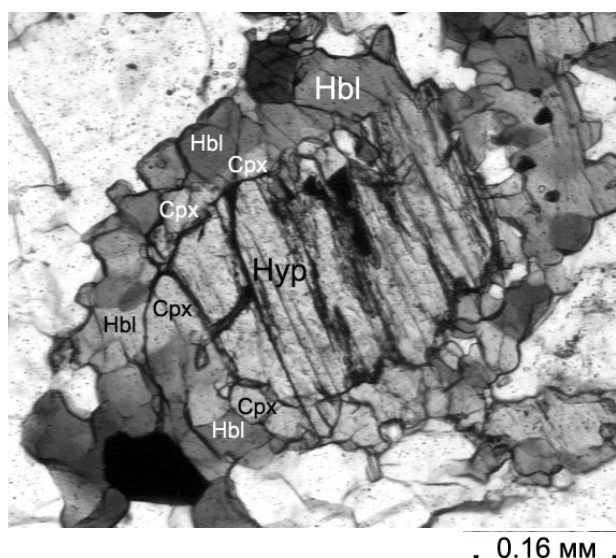
Реакционная кайма салита по гиперстену – начальная (а) и средняя (б) стадии процесса. Шлифы: К-954 (а), К-2247-8-1 (б), без анализатора. Оз. Нотозеро и оз. Беличье [1]

Таблица 1

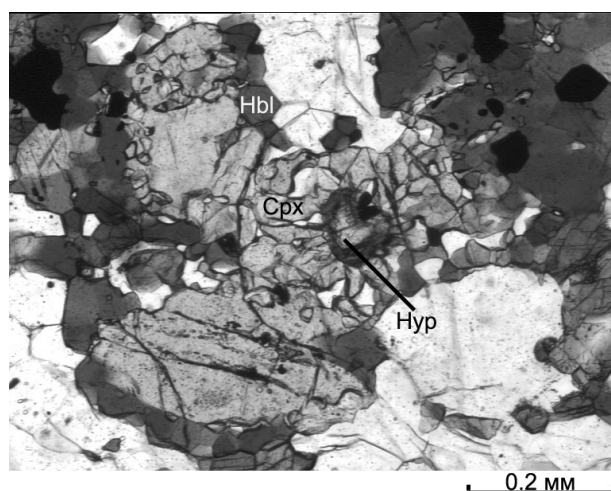
Схемы реакций минеральных замещений при диафорических преобразованиях основных гранулитов в клинопироксен-плаггиоклазовые и эклогитоподобные породы

№ п. п.	Схемы реакций
1	$\text{Hyr} + \text{CaO} = \text{Cpx}^{\text{II}}$
2	$\text{Hyr} + \text{Hbl}^{\text{I}} \pm \text{CaO} \rightarrow \text{Cpx}^{\text{II}} + \text{Pl}^{\text{II}} + \text{Qtz} + \text{H}_2\text{O} (+ \text{MgO})$
3	$\text{Hbl}^{\text{I}} \rightarrow \text{Hbl}^{\text{II}} + \text{Qtz} + \text{MgO}$
4	$\text{Cpx}^{\text{I}} \rightarrow \text{Cpx}^{\text{II}}$
5	$\text{Cpx} + \text{Pl} \pm \text{CO}_2 (\text{SO}_3, \text{Cl}) \rightarrow \text{Gt} + \text{Qtz} \pm \text{Cb} \pm \text{Scp} + \text{MgO} \pm \text{Na}_2\text{O}$
6	$\text{Hbl} + \text{Pl} \pm \text{CO}_2 (\text{SO}_3, \text{Cl}) \rightarrow \text{Gt} + \text{Qtz} \pm \text{Scp} + \text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \pm \text{Na}_2\text{O}$
7	$\text{Om} (\text{Mag}) + \text{Pl} \rightarrow \text{Gt} + \text{Qtz} \pm \text{Na}_2\text{O}$
8	$\text{Cpx}^{\text{II}} \rightarrow \text{Cpx}^{\text{III}} + \text{MgO}$

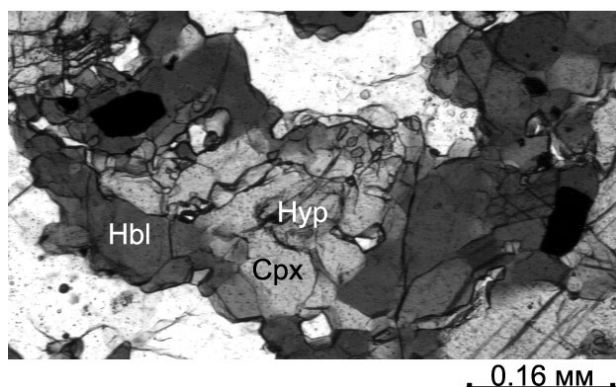
Примечание. 1–8 – схемы реакций при переходе основных гранулитов в клинопироксен-плаггиоклазовые (1–4) и далее в эклогитоподобные (5–8) породы.



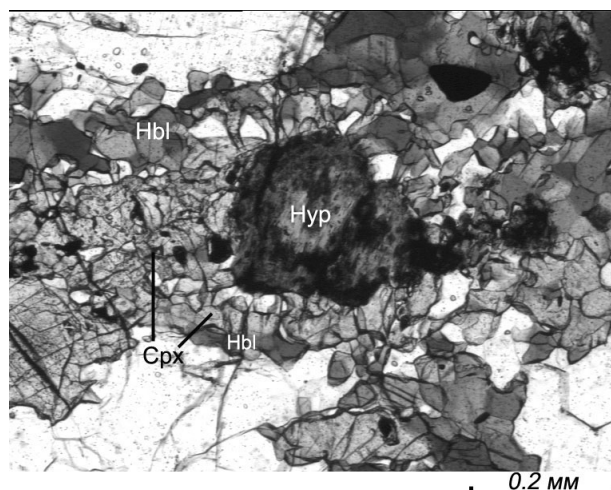
а



б



б



г

Рис. 3. Образование моноклинного пироксена за счет гиперстена и амфибола в переходной зоне от гранулитов основного состава к клинопироксен-плаггиоклазовым породам:

а – начальная стадия на границе Нур и Нбл; б–г – средняя стадия интенсивности процесса – реликты гиперстена в скоплениях зерен салита с фрагментами оторочек амфибола и симплектитовым строением Срх (в, г) и Нбл (г). Шлифы: К-2247-8а (а), К-2247-8б (б), К-2247-8в (в), К-2247-8г (г), без анализатора. Оз. Беличье [1]

В шлифах также часто можно наблюдать и формирование небольших цепочек и фрагментов кайм зерен Срх (Sal), образующихся на границе ромбического пироксена и буровато-зеленой роговой обманки (Hbl^I) согласно схеме реакции 2 (табл. 1; рис. 3, а). При увеличении интенсивности процесса фиксируются реликтовые гиперстены, окруженные каймами или скоплениями зерен моноклинного пироксена иногда симплектитового строения (рис. 3, б–г). Вокруг последних могут сохраняться оторочки или их фрагменты, сложенные обыкновенной роговой обманкой $Hbl^I \rightarrow Hbl^{II}$ (реакц. 3, табл. 1), имеющей пятнистую, от буровато- к голубовато-зеленой, окраску и симплектитовое строение в прилегающих к салиту краевых частях (рис. 3, г). При максимальном проявлении преобразований гиперстены полностью замещаются, резко понижается содержание

амфибола, и формируются клинопироксен-плаггиоклазовые породы. Реакция 2 (табл. 1) представляет собой сочетание метаморфической обменной перекристаллизации с привносом Са и небольшим выносом Mg и H_2O . В результате образуется моноклинный пироксен за счет гиперстена и буровато-зеленой роговой обманки (Hbl^I) с выделением свободного кварца (симплектитовое строение зерен Срх) и формируется плаггиоклаз из выделяющихся в ходе реакции его компонентов. Раскисление плаггиоклазов при образовании клинопироксен-плаггиоклазовых пород по основным гранулитам свидетельствует о привносе СаО, однако теоретически возможна реакция и без притока этого компонента. Уменьшение содержания MgO и возрастание железистости в породах при перекристаллизации (Король, 1990, 2003) свидетельствуют о возможности выноса

MgO в данном процессе. Вероятно, параллельно с реакцией 2 происходит преобразование (табл. 1, № 3) части амфиболов ($Hbl^I \rightarrow Hbl^{II}$), идущее с выносом Mg и с возрастанием общего фона железистости. В целом уже при прохождении реакции 2 содержание обыкновенной роговой обманки в породах резко уменьшается. В результате клинопироксен-плаггиоклазовые породы могут содержать очень небольшое количество Hbl^{II} (до 1%). Возможно, наряду с реакциями 1–3 при диафторезе осуществлялась и перекристаллизация $Cpx^I \rightarrow Cpx^{II}$ (реакц. 4, табл. 1), однако пока это не установлено.

В целом описанные минеральные замещения, приводящие к образованию клинопироксен-плаггиоклазовых пород, происходят согласно схемам реакций № 1–4, табл. 1. Общая схема перехода парагенезисов: $Nur + Cpx^I + Hbl^I + Pl^I + CaO \rightarrow Cpx^{II} + Pl^{II} + Qtz + MgO + H_2O$. Приведенные данные свидетельствуют о том, что процесс образования клинопироксен-плаггиоклазовых пород по двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам основного состава связан с проявлением частичного кальциевого метасоматоза наряду с метаморфической перекристаллизацией в условиях диафтореза амфиболитовой фации. В меньшей степени проявлен вынос Mg. В клинопироксен-плаггиоклазовых породах иногда наблюдаются зерна моноклинного пироксена с рудной пылью в центральных их частях (рис. 4) и развитие небольшого количества карбоната, что связано с метасоматическими процессами – привносом Ca и летучих (CO_2), а также с повышением общего фона железистости.

Мелкозернистые, реже среднезернистые, темноватые клинопироксен-плаггиоклазовые породы (табл. 2, № 1) состоят из Cpx (25–40%), Pl (35–60%), в незначительных количествах могут присутствовать: Hbl^{II} , Qtz, Om, Cb. Моноклинные пироксены [1–2] представлены диопсида-

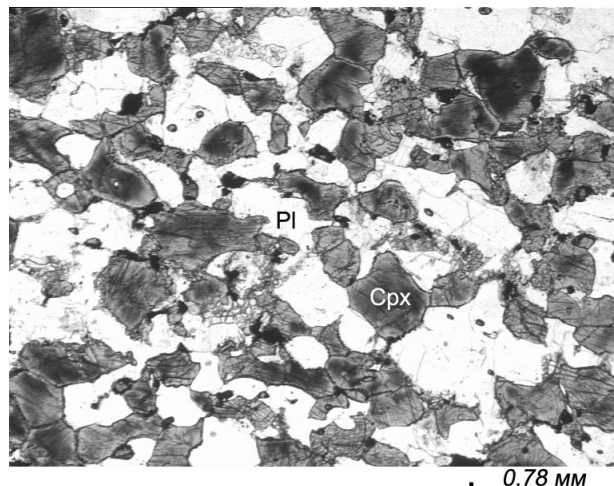


Рис. 4. Клинопироксен-плаггиоклазовые породы с проявлением рудной пыли в центральных частях зерен моноклинного пироксена

Шлиф В-2152, без анализатора. Оз. Нерпозеро [1]

ми – салитами (Король, 1990) и обычно образуют зеленоватые и бесцветные зерна, имеющие неправильную и близкую к округлой формы. Составы плаггиоклазов в СР варьируют от андезина (47% An) до лабрадора (58% An). Для клинопироксен-плаггиоклазовых пород [1–2] характерны гранобластовые структуры, массивные текстуры и обобщенный парагенезис, соответствующий № 6 в табл. 3. При сравнении средних химических составов клинопироксен-плаггиоклазовых пород с двупироксен-амфиболовыми кристаллическими сланцами ГЭЧ комплексов [1–2] в первых относительно вторых повышено содержание CaO при небольшом увеличении железистости и уменьшении MgO (Король, 2003).

Таблица 2

Средние химические составы клинопироксен-плаггиоклазовых и эклогитоподобных пород

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	48,61	49,00	48,33	48,62	47,33	48,04	39,60	52,79
TiO ₂	0,86	1,23	1,39	1,32	1,26	0,81	1,13	0,52
Al ₂ O ₃	15,83	15,25	15,01	15,11	13,69	15,17	18,31	17,91
Fe ₂ O ₃	3,22	5,05	4,21	4,58	3,91	2,67	3,79	2,95
FeO	6,66	7,15	8,72	8,04	9,66	7,78	13,51	1,65
MnO	0,23	0,25	0,25	0,25	0,29	0,23	0,26	–
MgO	5,85	4,66	5,13	4,93	7,51	5,75	11,87	0,25
CaO	14,94	12,89	12,77	12,82	11,88	16,02	9,08	22,43
Na ₂ O	2,18	2,94	2,56	2,73	2,61	1,62	0,78	0,17
K ₂ O	0,42	0,35	0,45	0,41	0,40	0,48	0,21	0,13
H ₂ O	0,19	0,09	0,18	0,14	0,15	0,10	0,15	0,09
ппп	1,14	1,05	1,02	1,04	1,20	1,20	1,32	1,51
Сумма	100,13	99,91	100,02	99,99	99,89	99,87	100,01	100,40
f	53,24	60,54	62,96	61,99	56,26	57,50	52,23	86,84
F	62,81	72,36	71,59	71,91	64,37	64,51	59,31	94,85
n	7	7	9	16	2	3	2	1

Примечание. 1 – клинопироксен-плаггиоклазовые породы – [1–2]; 2 – клинопироксен-плаггиоклазовые переходящие в эклогитоподобные породы – [1–2]; 3 – эклогитоподобные породы [1–2]; 4 – средний состав групп 2 и 3 [1–2]; 5 – эклогитоподобные породы [4]; 6 – клинопироксен-плаггиоклазовые переходящие в эклогитоподобные породы из метасоматических жил – [3]; 7 – метасоматические гранат-клинопироксен-плаггиоклазовые породы с Mag и Spl из «зон закалки» шаров метабазальтов [3]; 8 – тонкозернистая гранат-клинопироксен-плаггиоклазовая порода из ксенолита в энтербите [3]. Точки средних составов пород см. на рис. 10.

Для составления таблицы и подсчета средних анализов пород автором использованы работы: Король, 1990, 2003; Володичев, 1990, включая его фактический материал.

$F = (FeO + Fe_2O_3 / FeO + Fe_2O_3 + MgO) \times 100\%$ – общая железистость (окислы в весовых %) и $f = (FeO / FeO + MgO) \times 100\%$ – коэффициент железистости пород.

Таблица 3

Парагенезисы клинопироксен-плаггиоклазовых и эцлогитоподобных пород

№ п. п.	Парагенезисы	Породы	Фации метаморфизма
1	$\text{Hyr}_{40} + \text{Cpx}_{26} + \text{Hbl}_{39}^{1.55} + \text{Pl}_{55}$	Основной гранулит – двупироксен-амфиболовый кристаллический сланец	Гранулитовая
2	$\text{Cpx} + \text{Pl}_{58}$	Клинопироксен-плаггиоклазовая порода по OG	Амфиболитовая
3	$\text{Gt}_{81}^{14} + \text{Cpx}_{37} + \text{Pl}_{60}$	Эцлогитоподобная порода по CP	Амфиболитовая
4	$\text{Cpx} + \text{Pl}_{47-55}$	Клинопироксен-плаггиоклазовые породы по OG	Амфиболитовая
5	$\text{Gt}_{89}^{7} + \text{Cpx}_{44} + \text{Pl}_{59-63}$	Эцлогитоподобная порода по CP	Амфиболитовая
6	$\text{Cpx} (\text{Di}, \text{Sal}) + \text{Pl}_{47-58}$	Клинопироксен-плаггиоклазовые породы по OG	Амфиболитовая
7	$\text{Gt}_{81-89}^{14-7} + \text{Cpx}_{37-44} + \text{Pl}_{59-63}$	Эцлогитоподобные породы по CP	Амфиболитовая
8	$\text{Hyr} (\pm) \text{Cpx}$	Гиперстенные и (или) двупироксеновые метасоматические жилы в метавулканитах	Гранулитовая
9	$\text{Cpx} + \text{Pl}$	Клинопироксен-плаггиоклазовые метасоматические жилы в метавулканитах	Гранулитовая переходящая в амфиболитовую – Ca метасоматоз
10	$\text{Gt} + \text{Cpx} + \text{Pl}$	Гранат-клинопироксен-плаггиоклазовые метасоматические жилы в метавулканитах	Гранулитовая переходящая в амфиболитовую – Fe-Ca-Mg метасоматоз
11	$\text{Br}_{15} + \text{Cpx}_{26} + \text{Spl} + \text{Mag} \pm \text{Pl}$	Тонкозернистые зональные метасоматические породы из «зон закалки» шаров метабазальтов. Центральная зона: симплектиты пироксенов со Spl, Mag $\pm$ Pl	Гранулитовая
12	$\text{Gt}_{64}^{29} + \text{Cpx} + \text{Pl}_{88} (\pm \text{Mag}, \text{Spl})$	Внешняя зона: эцлогитоподобные породы $\pm$ Mag, Spl	Гранулитовая переходящая в амфиболитовую – Fe-Ca-Mg метасоматоз
13	$\text{Gt}_{74}^{19} + \text{Cpx}_{24} + \text{Pl}_{91-92}$	Тонкозернистые метасоматические эцлогитоподобные породы из ксенолитов в эндебритах	Гранулитовая – Fe-Ca-Mg метасоматоз
14	$\text{Cpx} + \text{Pl}$	Клинопироксен-плаггиоклазовые породы по OG	Амфиболитовая
15	$\text{Gt} + \text{Cpx} + \text{Pl}_{48-58}$	Эцлогитоподобные породы по CP	Амфиболитовая
16	$\text{Gt}_{65}^{29} + \text{Cpx}_{22} + \text{Pl}$	Эцлогитоподобные породы из субстрата мигматитов	Амфиболитовая

Примечание. 1–3 – преобразование основных гранулитов (1) в клинопироксен-плаггиоклазовые (2) и далее в эцлогитоподобные (3) породы (обр. K-2250-1 $\rightarrow$ K-2250-2 $\rightarrow$ K-2250-3), оз. Беличе [1]; 4–5 – клинопироксен-плаггиоклазовые (4) и эцлогитоподобные (5 – обр. B-1412-1) породы, оз. Керчуг [2]; 6–7 – объединенные парагенезисы клинопироксен-плаггиоклазовых (6) и эцлогитоподобных (7) пород районов оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг [1–2]; 8–13 – п-ова Вичаны и Мундиннаволок (13) оз. Кереть [3], процессы метасоматоза идут до (13) и после (9, 10, 12) образования эндебритов и чарнокитов; 14–15 – клинопироксен-плаггиоклазовые (14) и эцлогитоподобные (15) породы по основным гранулитам из ксенолитов в интрузии эндебритов-чарнокитоидов п-ова Поньгомнаволок [4]; 16 – губа Поньгома Белого моря [4].

Для составления парагенезисов автором использован фактический шлифовый материал – собственный и О. И. Володичева; а также рукописные и печатные издания: Володичев, 1990; Король, 1990, 2003; Другова и др., 1977.

В парагенезисах арабские цифры означают: внизу символов железо-магнезиальных минералов общую железистость – $F = (\text{Fe}^2 + \text{Fe}^3/\text{Fe}^2 + \text{Fe}^3 + \text{Mg}) \times 100\%$, у плаггиоклазов – содержание анортита; сверху у гранатов – содержание пиропы, у амфибола – TiO_2 в весовых %.

При формировании эцлогитоподобных пород по клинопироксен-плаггиоклазовым минеральные преобразования осуществляются по схемам реакций 5–8 (табл. 1). В шлифах можно наблюдать все стадии замещения. В первую очередь, это образование цепочек зерен граната на границе моноклинного пироксена (Cpx^{II}) и плаггиоклаза с выделением при реакции метаморфического свободного кварца (рис. 5, а, б). Средняя стадия – формирование центральных структур граната с моноклинным пироксеном внутри (рис. 5, б, а), при этом возможно образование карбоната и скаполита (рис. 6). Следующий этап – концентрация и укрупнение зерен граната (рис. 5) и формирование равновесных гранат-пироксен-плаггиоклазовых парагенезисов в эцлогитоподобных породах (табл. 3, № 7; рис. 7). В ходе процесса иногда наблюдается развитие граната по Hbl, рудному минералу (табл. 1, № 6, 7; рис. 8, а), если они присутствуют в клинопироксен-плаггиоклазовой породе. При сильном повышении железистости в эцлогитоподобных породах на последней стадии их образования может выделяться рудный минерал как избыточная фаза железа при формировании граната (рис. 8, б). Наряду с формированием граната при эцлогитообразовании изменяются и составы породообразующих минералов: растет основность плаггиоклаза, часто становится более железистым моноклинный пироксен,

при этом окраска последнего изменяется к интенсивно зеленоватой или зеленой.

Общая схема перехода парагенезисов клинопироксен-плаггиоклазовых пород в эцлогитоподобные: $\text{Cpx}^{\text{II}} + \text{Pl}^{\text{II}} \pm \text{CO}_2 (\text{SO}_3, \text{Cl}) \rightarrow \text{Gt} + \text{Cpx}^{\text{III}} + \text{Pl}^{\text{III}} + \text{Qtz} \pm \text{Cb} \pm \text{Scp} \pm \text{MgO}$.

Мелко-, среднезернистые розовато-темные эцлогитоподобные породы (табл. 2, № 3) состоят из Cpx (25–30%), Gt (20–50%), Pl (20–55%), в небольших количествах могут присутствовать: Hbl, Om (Mag), Cb, Scp, Qtz. Химический состав и кристаллохимические формулы моноклинных пироксенов и гранатов из эцлогитоподобных пород [1–2] приведены в табл. 4, 5 (№ 1–4), нормативный состав Gt – в табл. 6 (№ 1–2). Моноклинные пироксены, парагенетичные с гранатом и плаггиоклазом в EKL (табл. 3, № 7), представлены салитами (табл. 4, 5, № 1 и 3) с железистостью 37,4% [1] и 44,4% [2]. Фациальная принадлежность гранатов (табл. 4–6) определялась (Король, 2003) по диаграмме О. И. Володичева (1975). Последняя применяется только для беломорских Gt и основана на использовании выявленной ранее закономерности изменения состава данных минералов при эволюции метаморфизма кианитового типа (Володичев, 1975, 1977, 1990). На данной диаграмме Gt (табл. 4–5 и 6, № 2 и 1) из EKL [1] располагается в поле

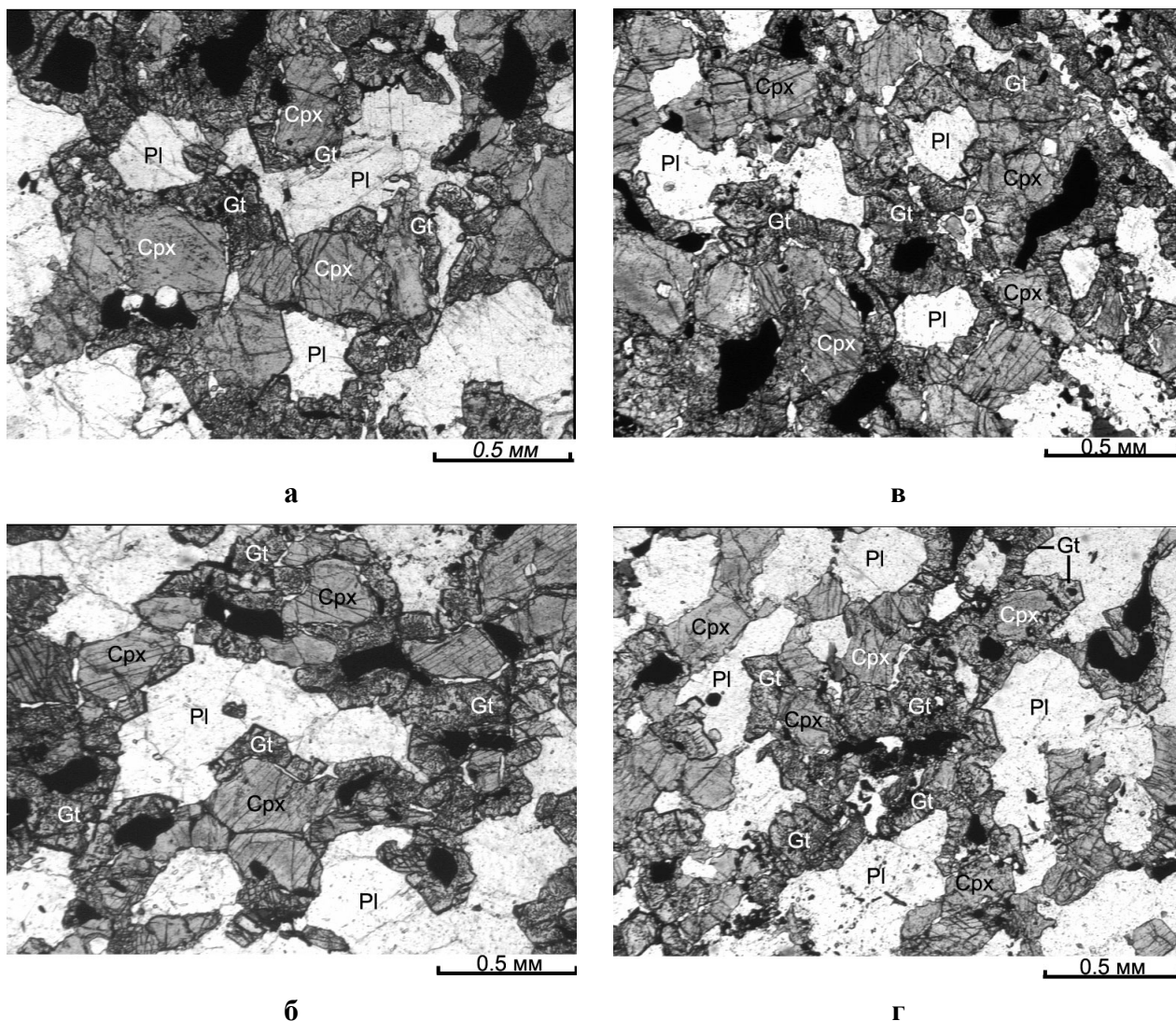


Рис. 5. Стадии образования граната по моноклинному пироксену и плагиоклазу при переходе клинопироксен-плагиоклазовых пород в эклогитоподобные

Начальная стадия – формирование цепочек граната на границе Срх и Pl (а, б); средняя стадия – центрические каймы граната с моноклинным пироксеном внутри (а-г); заключительная стадия – концентрация и формирование отдельных зерен Gt (а-г). Шлифы: К-2250-2 (а), К-2250-2н (б), К-2250-3н (в), К-2250-3 (г), без анализатора. Оз. Беличье [1]

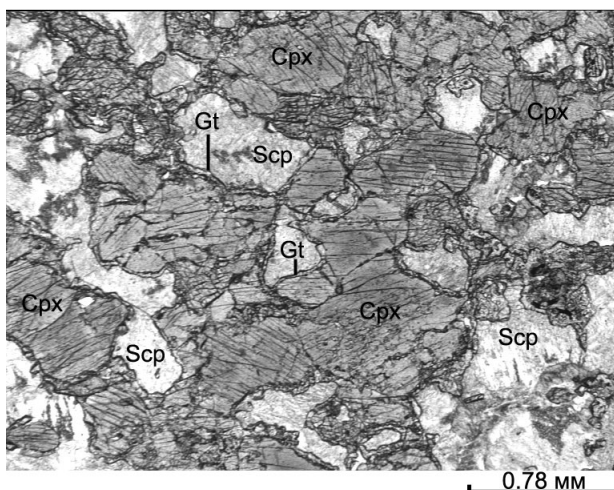
кианит-микроклиновой субфации амфиболитовой фации. Свою специфику состава имеет гранат (табл. 4–5 и 6, № 4 и 2) из эклогитоподобных пород оз. Керчуг [2]. Для данного минерала характерна высокая железистость ($F = 89,4\%$), близкая к эпидот-амфиболитовой фации, и минимальное по отношению к беломорским гранатам амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций содержание пиропы ($6,8\%$) при величине Са-компонента ($41,1\%$), превышающей значения обеих фаций. Содержание спессартина ($3,1\%$) входит в пределы значений Gt кианит-ортоклазовой субфации. Данный гранат [2] относится к богатым кальцием альмандин-гроссуляр-андрадитовым гранатам и с учетом высокой железистости пород и участия Са-метасоматоза при его образовании с большой долей условности отнесен к амфиболитовой фации (Король, 1990, 2003). Плагиоклазы эклогитоподобных пород соответствуют лабрадорам и содержат от 59 до 63% An (табл. 3, № 7). Для EKL [1–2]

характерны пойкилобластовые и гранобластовые структуры (рис. 7) и массивные текстуры.

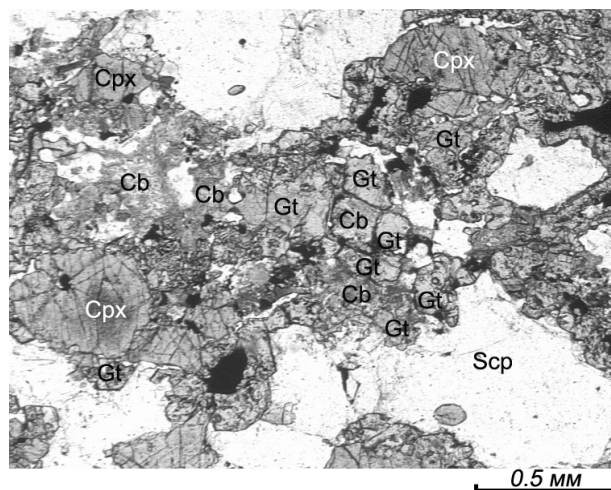
На конкретных примерах в районах оз. Беличье, губы Миронова оз. Нотозеро, оз. Керчуг ГЭЧ комплексов [1–2] были изучены переходы парагенезисов (табл. 3, № 1–3, 4–5) и особенности изменения химизма пород (табл. 7; рис. 9) на различных, включая промежуточные, стадиях преобразований $OG \rightarrow CP \rightarrow CPE^* \rightarrow EKL$.

При преобразованиях основных гранулитов оз. Беличье и оз. Керчуг в эклогитоподобные породы наблюдаются изменения составов моноклиновых пироксенов. В Cpx^{II} (табл. 4, 5, № 1) относительно Cpx^I из исходного парагенезиса OG (Король, 2003) отмечается: повышение железистости – F ($37,4$ и $25,5\%$)

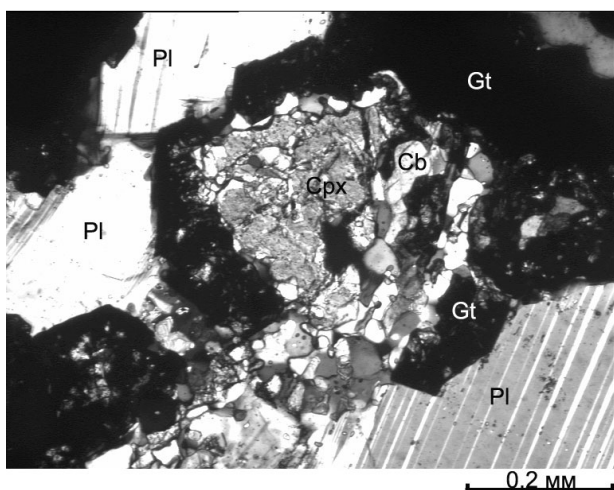
* CPE – клинопироксен-плагиоклазовые переходящие в эклогитоподобные породы.



a



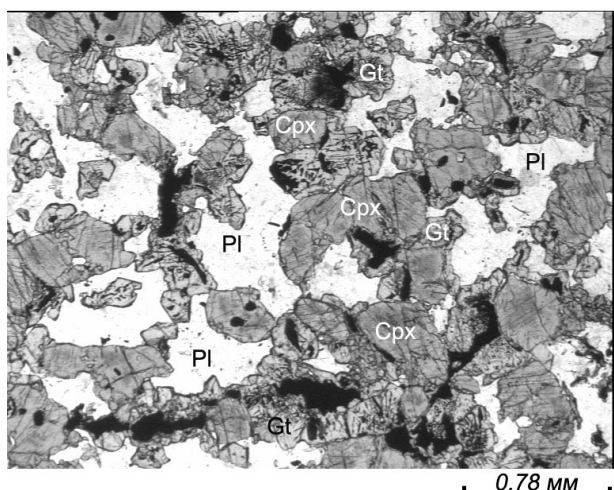
б



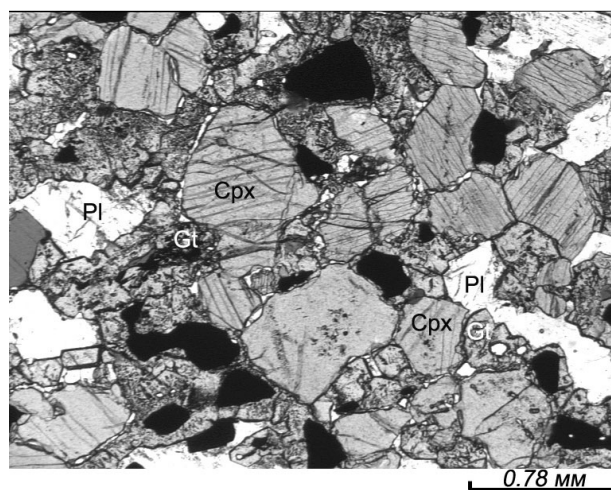
в

Рис. 6. Образование карбоната и скаполита при формировании граната по моноклинному пироксену и плагиоклазу:

а – тонкие паутинообразные центрические каймы граната по клинопироксену с одновременным развитием скаполита по плагиоклазу; б – выделение карбоната на границе Срх (фрагменты) и Gt в его центрической кайме по клинопироксену. Шлифы: В-2317-VI (а) и К-2250-10 (б) – без анализатора, К-954в (в) – с анализатором. Районы: оз. Нотозеро (а, б), оз. Беличье (в) [1]



a



б

Рис. 7. Равновесные гранат-пироксен-плагиоклазовые парагенезисы в эклогитоподобных породах

Шлифы: К-2245-7 (а), В-1423а (б), без анализатора. Оз. Беличье [1] и оз. Керчуг [2]

Таблица 4

Химические составы минералов эколгитоподобных пород

№ п. п.	Минералы	Анализы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	ппп	Сумма
1	Срх	К-2250-3	51,30	0,35	2,27	2,27	9,39	0,14	11,01	21,45	0,76	0,02	0,07	—	1,14	100,17
2	Gt	К-2250-3	39,52	0,58	20,58	3,85	21,73	0,86	3,20	9,80	0,04	0,05	0,08	—	—	100,29
3	Срх	В-1412-1	50,10	0,45	1,89	3,80	10,35	0,18	9,60	22,31	0,80	0,03	0,09	—	0,42	100,02
4	Gt	В-1412-1	37,12	0,32	19,16	4,05	21,55	1,34	1,70	14,08	0,15	0,07	0,08	—	—	99,62
5	Срх	446	53,10	0,26	1,80	1,70	5,27	0,12	14,41	20,41	0,66	0,04	—	1,20	—	98,97
6	Gt	446	40,96	0,35	21,63	0,30	22,50	0,92	7,09	6,21	—	—	—	—	—	99,96
7	Br	В-2511-3 *	56,43	0,30	2,69	—	9,39 ^T	0,09	29,42	0,22	—	0,07	—	—	—	98,61
8	Срх	В-2511-3 *	48,20	0,21	8,46	—	9,87 ^T	0,05	16,15	15,53	—	—	—	—	—	98,47
9	Gt	В-2511-3 *	40,35	—	21,54	—	22,34 ^T	0,15	7,23	7,36	—	—	—	—	—	98,97
10	Pl	В-2511-3 *	45,88	—	35,18	—	0,27 ^T	—	—	17,74	1,34	—	—	—	—	100,41
11	Срх	В-2203е *	53,58	0,14	1,94	—	7,68 ^T	0,05	13,91	22,69	0,40	0,04	—	—	—	100,43
12	Gt	В-2203е *	40,24	0,01	22,59	—	24,85 ^T	0,44	4,97	9,37	—	0,01	—	—	—	102,48
13	Pl	В-2203е *	46,43	0,01	35,31	—	0,16 ^T	—	—	18,17	0,96	0,07	—	—	—	101,11

Примечание. 1–6 – эколгитоподобные породы по основным гранулитам; 7–10 – тонкозернистые зональные метасоматические породы из «зон закалки» шаров метабазальтов: 7–8 – центральная зона – двупироксеновые симплектиты со Spl, Mag ± Pl; 9–10 – внешняя зона – эколгитоподобные породы ± Mag, Spl; 11–13 – тонкозернистые метасоматические гранат-пироксен-плаггиоклазовые породы из ксенолитов в эндробитах. Плаггиоклазы проб № 10 и 13 содержат 88 и 91% An. Районы: 1–2 – оз. Беличьё [1], 3–4 – оз. Керчуг [2], 5–6 – губа Поньгома Белого моря [4]; 7–10 – п-ов Вичаны и 11–13 – п-ов Мундиннаволоок оз. Кереть [3].

Для составления таблицы использованы анализы минералов из следующих источников: Король, 1990 – [1–2]; Володичев, 1990 – [1–3]; Другова и др., 1977 – [4]. Звездочкой в таблице помечены номера микрозондовых анализов минералов (Володичев, 1990).

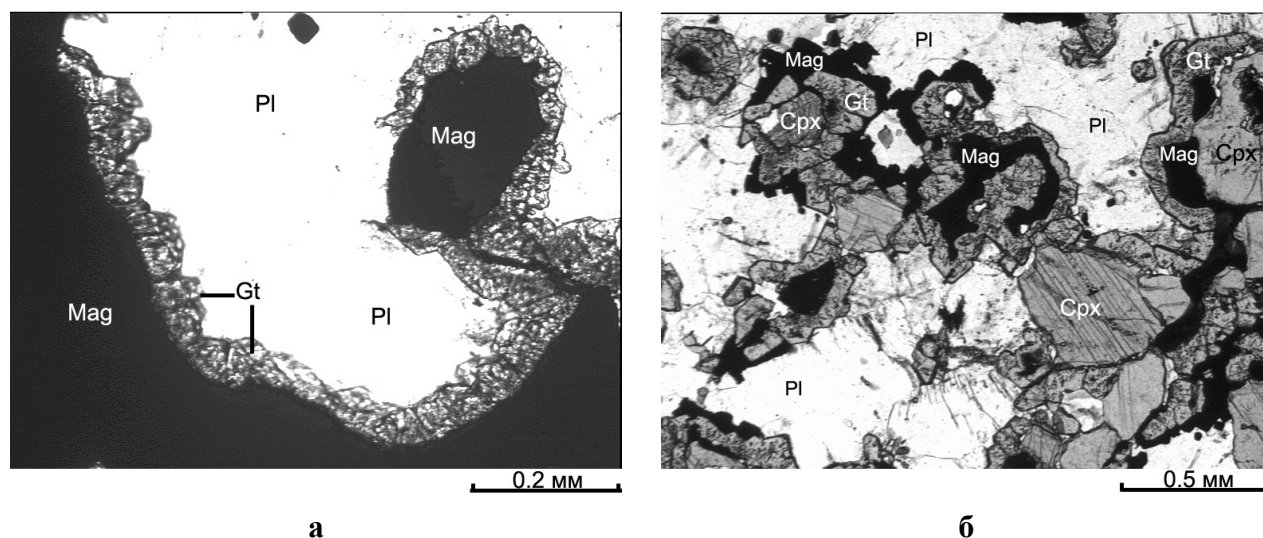


Рис. 8. Две формы проявления соотношений рудного минерала и граната при переходе клинопироксен-плаггиоклазовых пород в эколгитоподобные

Развитие граната по рудному минералу (а, б), выделение Mag при эколгитообразовании за счет избыточной железистой фазы (б). Шлифы: К-1705 (а), В-1423а-1 (б), без анализатора. Районы: оз. Пажма [1] и оз. Керчуг [2]

и небольшое – Na₂O (0,76 и 0,57%); понижение MgO (11,01 и 13,56%), при этом CaO незначительно уменьшается (21,45 и 21,66%). Близкая тенденция отмечается (обобщенный вариант) в ГЭЧ комплексе [2] оз. Керчуг (Король, 2003). Срх^{II} из ЕКЛ (табл. 4, 5, № 3) характеризуется по отношению к Срх^I из основных гранулитов повышенными значениями железистости – F (44,4 и 28,9–31,4%), Na₂O (0,80 и 0,69–0,75%) и CaO (22,31 и 20,16–21,83%). Содержание MgO уменьшается (9,60 и 12,57–13,20%). Моноклинные пироксены из эколгитоподобных пород оз. Керчуг [2] по отношению к таковым оз. Беличьё [1] более железисты, а значения Na₂O, CaO и Al₂O₃ в этих минералах отличаются в пределах

0,04–0,37% (табл. 4, № 3 и 1). В гранатах (табл. 6, № 1) из эколгитоподобных пород оз. Беличьё, по сравнению с таковыми из незначительно гранатизированных основных гранулитов (Король, 2003), повышены железистость (81,4 и 75,2%), содержания Са-компонента (30,8 и 24,6%) и спессартина (2,2 и 1,8%), уменьшается пироповая составляющая (14,1 и 18,3%). Плаггиоклазы при переходе OG → CP → ЕКЛ [1] раскисляются: 55 → 58 → 60% An. Эта тенденция, в различных вариациях составов Pl, характерна для всех рассматриваемых районов развития ЕКЛ. Приведенные выше данные и иллюстрированные (рис. 9) изменения химизма пород на конкретных примерах (табл. 7) свидетельствуют о том, что

Таблица 5

Кристаллохимические формулы минералов эколгитоподобных пород

№ п. п.	Минералы	Анализы	Na	K	Ca	Mg	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Fe ^T	Mn	Ti	Al ^{VI}	Al ^{IV}	Si	f	F
1	Cpx	K-2250-3	0,06	0,001	0,87	0,62	0,30	0,07	0,37	0,01	0,01	0,05	0,05	1,95	32,6	37,4
2	Gt	K-2250-3	—	—	0,83	0,38	1,43	0,23	1,66	0,06	0,03	1,92	—	3,12	79,0	81,4
3	Cpx	B-1412-1	0,06	0,001	0,92	0,55	0,33	0,11	0,44	0,01	0,01	0,01	0,08	1,92	37,5	44,4
4	Gt	B-1412-1	—	—	1,21	0,20	1,44	0,24	1,68	0,09	0,02	1,81	—	2,99	87,8	89,4
5	Cpx	446	0,05	0,002	0,82	0,80	0,17	0,05	0,22	0,004	0,01	0,07	0,01	1,99	17,5	21,6
6	Gt	446	—	—	0,51	0,81	1,45	0,02	1,47	0,06	0,02	1,97	—	3,16	64,2	64,5
7	Br	B-2511-3 *	—	0,003	0,01	1,55	—	—	0,28	0,003	0,01	0,10	0,01	1,99	—	15,3
8	Cpx	B-2511-3 *	—	—	0,62	0,90	—	—	0,31	0,002	0,01	0,17	0,20	1,80	—	25,6
9	Gt	B-2511-3 *	—	—	0,61	0,83	—	—	1,45	0,01	—	1,97	—	3,13	—	63,6
10	Pl	B-2511-3 *	0,12	—	0,87	—	—	—	0,01	—	—	—	1,90	2,10	—	—
11	Cpx	B-2203e *	0,03	0,002	0,90	0,77	—	—	0,24	0,002	0,004	0,06	0,02	1,98	—	23,8
12	Gt	B-2203e *	—	—	0,76	0,56	—	—	1,57	0,03	—	2,02	—	3,06	—	73,7
13	Pl	B-2203e *	0,09	0,004	0,89	—	—	—	0,01	—	—	—	1,9	2,11	—	—

Пр и м е ч а н и е . Номера анализов полностью соответствуют табл. 4; $f = (Fe^2/Fe^2 + Mg) \times 100\%$ – коэффициент железистости минералов.

Таблица 6

Нормативный состав гранатов из эколгитоподобных пород

№ п. п.	Анализы	Пироп	Альмандин	Спессартин	Гроссуляр	Андрадит	Гроссуляр + андрадит
1	K-2250-3	14,10	53,00	2,20	27,50	3,30	—
2	B-1412-1	6,80	49,00	3,10	36,30	4,80	—
3	446	28,60	51,20	2,10	17,80	0,20	—
4	B-2511-3 *	28,60	50,00	0,30	—	—	21,00
5	B-2203e *	19,20	53,80	1,00	—	—	26,00

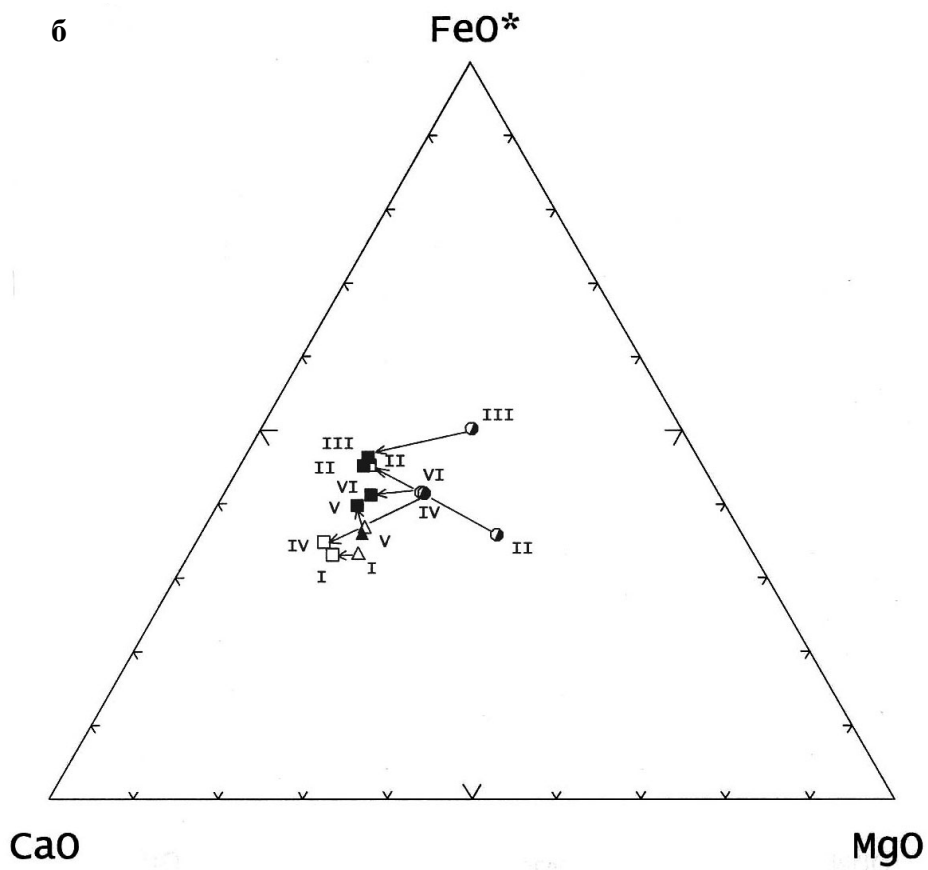
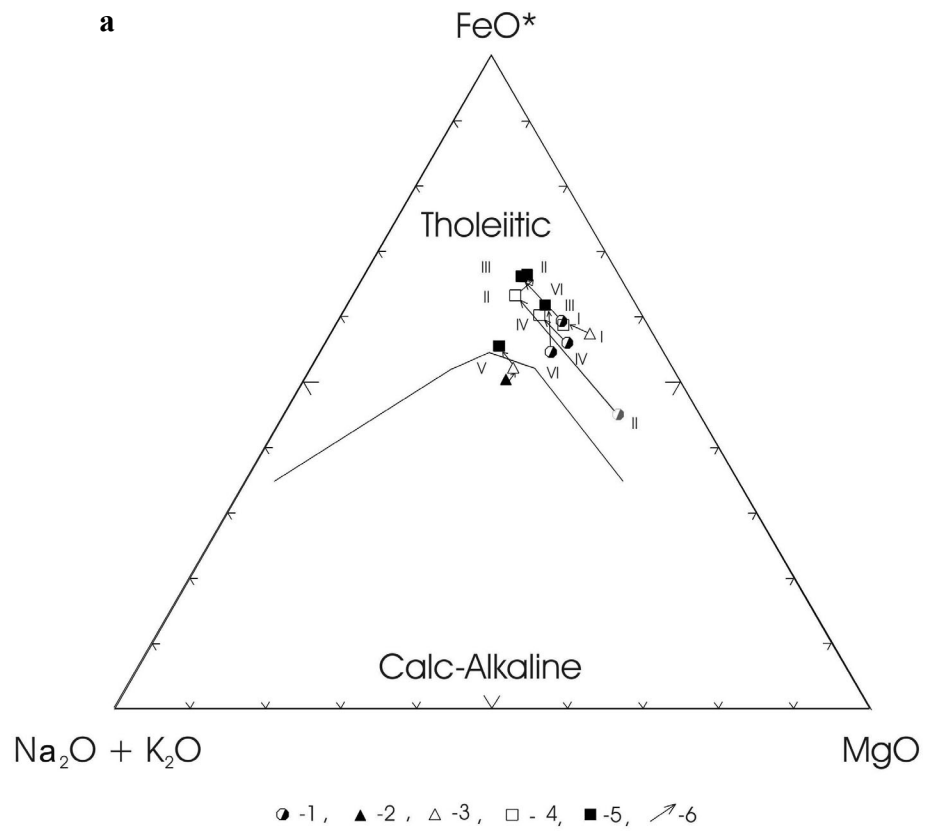
Пр и м е ч а н и е . Номера анализов гранатов и условные обозначения полностью соответствуют таблицам 4, 5.

Таблица 7

Химические анализы, характеризующие различные стадии процесса преобразований основных гранулитов в клинопироксен-плаггиоклазовые и далее в эколгитоподобные породы

Компо- ненты	I		II			III		IV		V			VI	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	46,80	48,54	48,62	47,98	47,88	47,20	47,56	47,92	47,74	51,58	50,30	51,46	49,56	47,90
TiO ₂	0,92	0,92	1,05	1,45	1,80	1,85	1,78	1,28	0,87	1,13	1,10	1,14	0,97	1,18
Al ₂ O ₃	15,13	15,24	14,15	14,27	14,35	13,22	14,05	15,19	15,92	17,31	17,20	17,73	14,83	13,95
Fe ₂ O ₃	3,79	4,12	3,12	5,55	5,30	4,43	5,86	3,58	4,18	2,96	2,30	3,37	2,59	2,90
FeO	7,90	6,89	8,62	8,86	9,46	12,21	9,48	9,63	6,94	6,32	7,47	7,07	9,82	10,60
MnO	0,19	0,21	0,194	0,204	0,236	0,214	0,258	0,206	0,294	0,306	0,29	0,314	0,20	0,244
MgO	6,75	5,44	11,20	4,70	4,60	8,06	4,64	7,34	4,64	4,75	4,89	4,22	6,80	5,60
CaO	15,84	15,98	9,25	12,04	12,62	7,99	12,41	10,80	15,35	11,20	11,40	11,06	10,23	13,20
Na ₂ O	1,55	1,94	2,06	2,89	2,43	2,33	2,63	2,39	2,28	3,58	3,29	3,45	2,64	2,14
K ₂ O	0,09	0,07	0,66	0,45	0,17	0,70	0,26	0,37	0,13	0,51	0,56	0,42	0,67	0,44
H ₂ O	0,08	0,06	0,23	0,10	0,22	0,10	0,06	0,10	0,06	0,27	0,29	0,52	0,08	0,24
ппп	0,75	0,77	0,91	1,11	0,89	1,36	0,99	1,00	1,33	—	1,17	—	1,31	1,52
Сумма	99,79	100,18	100,06	99,60	99,96	99,66	99,98	99,81	99,73	99,92	100,26	100,23	99,70	99,91
f	53,9	55,9	43,5	65,3	67,3	60,2	67,1	56,8	59,9	57,1	60,4	62,6	59,1	65,4
F	63,4	66,9	51,2	75,4	76,2	67,4	76,8	64,3	70,6	66,1	66,6	71,2	64,6	70,7

Пр и м е ч а н и е . I – (1→2), 1 – клинопироксен-плаггиоклазовая порода (обр. К-36-2, оз. Керчуг), 2 – клинопироксен-плаггиоклазовая порода, переходящая в эколгитоподобную (обр. К-36а, оз. Керчуг); II – (3→4→5), 3 – гранулит основного состава (обр. К-2250-1), 4 – клинопироксен-плаггиоклазовая порода, переходящая в эколгитоподобную (обр. К-2250-2), 5 – эколгитоподобная порода (обр. К-2250-3), оз. Беличь; III – (6→7), 6 – гранулит основного состава (обр. К-2243-12), 7 – эколгитоподобная порода (обр. К-2243-19), оз. Беличь; IV – (8→9), 8 – гранулит основного состава (обр. К-II-1), 9 – клинопироксен-плаггиоклазовая порода, переходящая в эколгитоподобную (обр. К-II-2), губа Миронова оз. Нотозеро; V – (10→11→12), 10 – гранулит основного состава, переходящий в клинопироксен-плаггиоклазовую породу (обр. К-2247-8), 11 – клинопироксен-плаггиоклазовая порода (обр. К-2247-10а), 12 – эколгитоподобная порода (обр. К-2247-10), оз. Беличь; VI – (13→14), 13 – гранулит основного состава (обр. К-1624), 14 – эколгитоподобная порода (обр. К-1624-1), оз. Беличь. I–VI – соответствуют рис. 9.



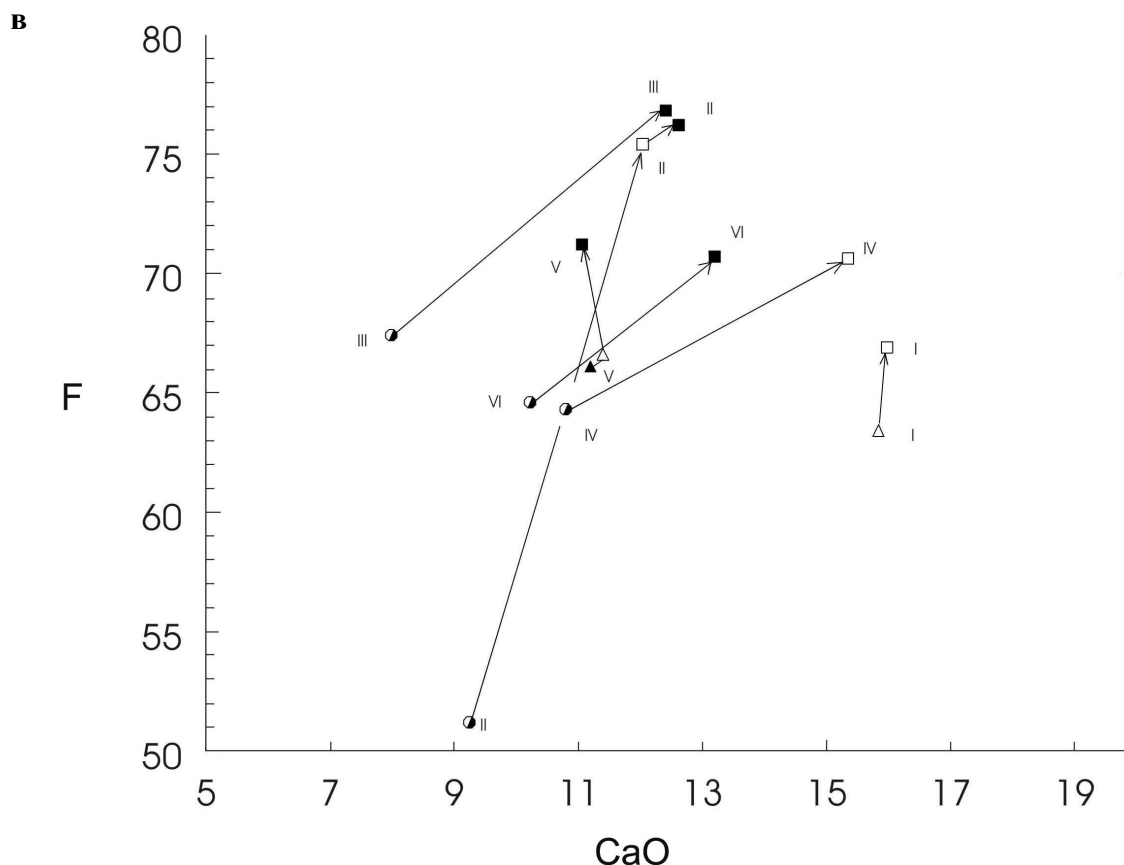


Рис. 9. Изменения химических составов пород на диаграммах: AFM – $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – FeO^* – MgO (а), CaO – FeO^* – MgO (б), F – CaO (в) при преобразованиях основных гранулитов в клинопироксен-плаггиоклазовые и эклогитоподобные породы

Переходы: I – CP → CPE (обр. К-36-2 → К-36а, оз. Керчуг); II – OG → CPE → EKL (обр. К-2250-1 → К-2250-2 → К-2250-3, оз. Беличье); III – OG → EKL (обр. К-2243-12 → К-2243-19, оз. Беличье); IV – OG → CPE (обр. К-II-1 → К-II-2 губа Миронова оз. Нотозера); V – (OG → CP) → CP → EKL (обр. К-2247-8 → К-2247-10а → К-2247-10, оз. Беличье); VI – OG → EKL (обр. К-1624 → К-1624-1, оз. Беличье);

I – гранулиты основного состава (OG) – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы; 2 – гранулиты основного состава, переходящие в клинопироксен-плаггиоклазовые породы (OG → CP); 3 – клинопироксен-плаггиоклазовые породы (CP); 4 – клинопироксен-плаггиоклазовые породы, переходящие в эклогитоподобные (CPE); 5 – эклогитоподобные породы (EKL); 6 – направления изменений химических составов пород.

общей закономерностью преобразования основных гранулитов в эклогитоподобные породы [1–2] является возрастание CaO, железистости (F) и убывание MgO в ходе процесса.

Сравнение средних химических анализов EKL и DP (табл. 2, № 3 и 1) показывает возрастание ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$), коэффициента f и общей железистости F и снижение MgO в первых относительно вторых. Данная тенденция имеет место и в переходных разновидностях (табл. 2, № 2) от клинопироксен-плаггиоклазовых к эклогитоподобным породам. Точки средних составов всех разновидностей этих образований нанесены на диаграммы AFM (Irvine, Baragar, 1971) и CaO – FeO^* – MgO (рис. 10), где эклогитоподобные породы располагаются обычно в более железистой области, а клинопироксен-плаггиоклазовые – кальциевой. Известно, что точки составов EKL на диаграмме AFM обычно располагаются выше (ближе к FeO^*) таковых – OG и CP (Король, 1990). Очевидно, что основным процессом при

формировании эклогитоподобных пород является вынос Mg с привносом летучих компонентов CO_2 , SO_3 , Cl.

Таким образом, исследования, проведенные в районах оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг, показали, что в процессе преобразований OG → CP → EKL на I стадии изменений – при переходе основных гранулитов в клинопироксен-плаггиоклазовые породы – ведущая роль принадлежит Ca-метасоматозу, наряду с метаморфической перекристаллизацией и подчиненным выносом Mg. На II стадии – при переходе клинопироксен-плаггиоклазовых в эклогитоподобные породы – вынос Mg становится главным (возрастание железистости). Могут осуществляться и процессы Ca-метасоматоза, проявленные здесь менее интенсивно. При соблюдении последнего условия имеет место и метаморфическая перекристаллизация пород с перераспределением компонентов в минералах, участвующих в реакции. Широко проявлен привнос летучих: CO_2 , SO_3 , Cl.

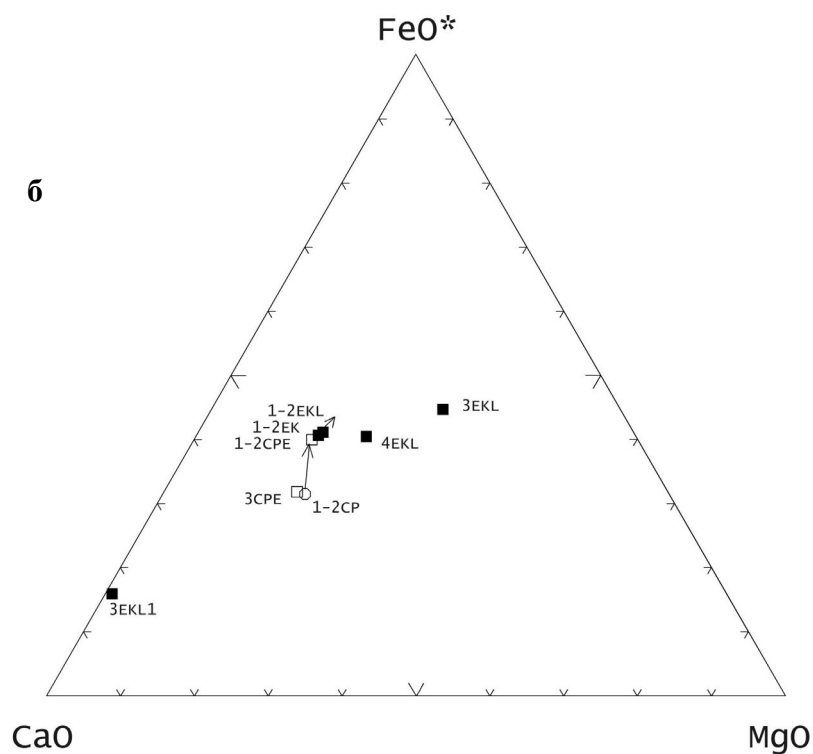
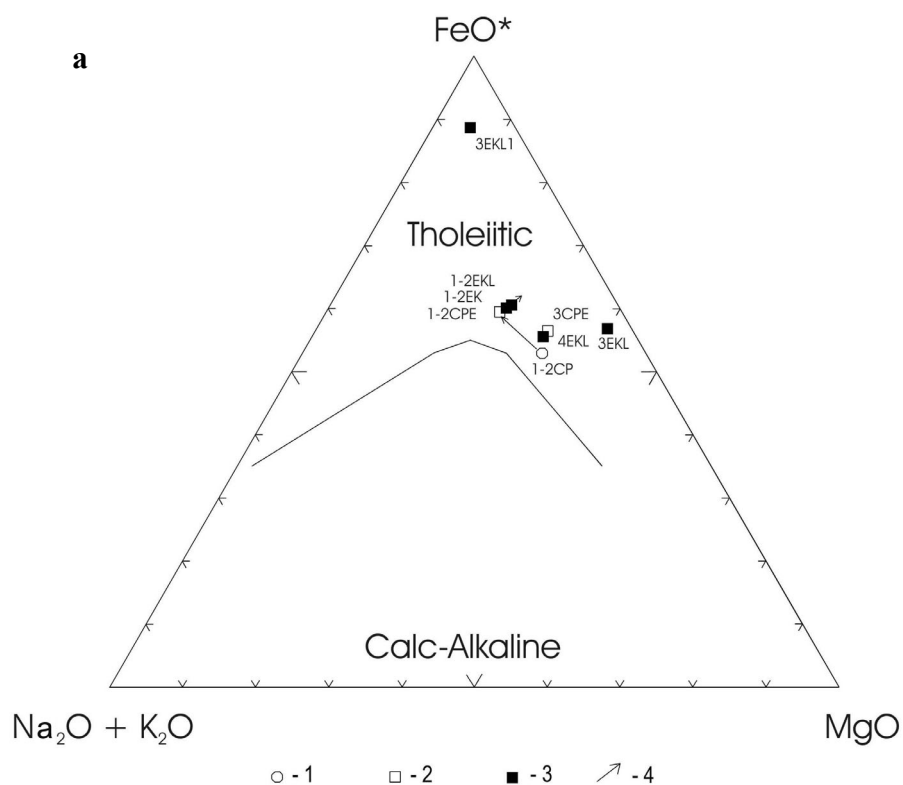


Рис. 10. Сводные диаграммы AFM – Na₂O+K₂O – FeO* – MgO (а) и CaO – FeO* – MgO (б) точек средних химических составов клинопироксен-плагиоклазовых и эглогитоподобных пород и их промежуточных разновидностей:

1–3 – точки средних составов: 1 – клинопироксен-плагиоклазовых пород (CP), 2 – клинопироксен-плагиоклазовых пород, переходящих в эглогитоподобные (CPE), 3 – эглогитоподобных пород (EKL); 4 – направления изменений средних химических составов при преобразованиях CP → CPE → EKL.

Районы: оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг [1–2], полуострова Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть [3], полуостров Поньгомнаволоок Белого моря [4].

Номера точек на диаграммах соответствуют следующим – в таблице 2: 1-2 CP – № 1, 1-2CPE – № 2, 1-2 EKL – № 3, 1-2 EK – № 4, 4EKL – № 5, 3CPE – № 6, 3EKL – № 7, 3EKL1 – № 8

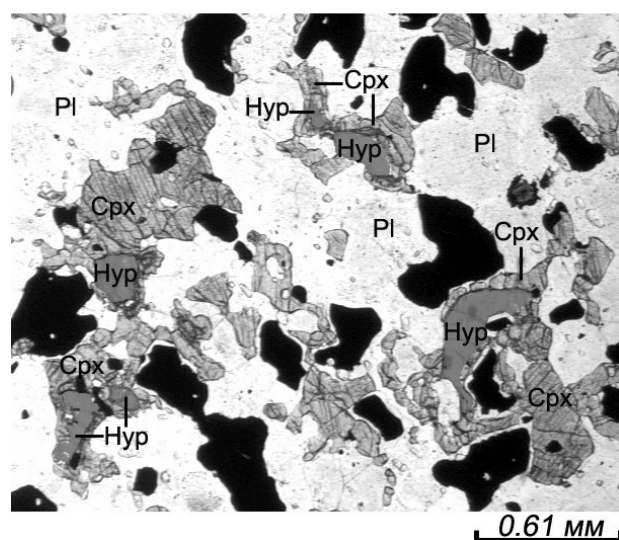
Двустадийный процесс преобразования гранулитов основного состава в клинопироксен-плаггиоклазовые и далее в эклогитоподобные породы проходил при повышении давления и уменьшении температуры, в условиях преимущественно амфиболитовой фации.

Аналогичен предыдущему, но очень незначителен по масштабам проявления процесс образования узких вытянутых зоннок гранат-пироксен-плаггиоклазовых пород по двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам основного состава с постепенным переходом от гранулита к метасоматиту (оз. Беличье). По сравнению с мелкозернистыми ОГ, эклогитоподобные породы – среднезернистые или мелко-, среднезернистые образования, имеющие центрические, пойкилобластовые, гетерогранобластовые структуры и массивные текстуры. ЕКЛ состоят из Срх (55–60%), Gt (20–25%), Pl (15%) и имеют парагенезис – Gt + Срх + Pl₅₅. По отношению к гранулитам (табл. 7, № 13, 14; рис. 9 – VI) в гранат-пироксен-плаггиоклазовых породах увеличивается железистость (f, F) и СаО, уменьшается MgO. Природа данных образований соответствует проявленному локально незначительному выносу Mg с участием Са-метасоматоза и, вероятно, повышенной роли последнего на первой стадии образования пород.

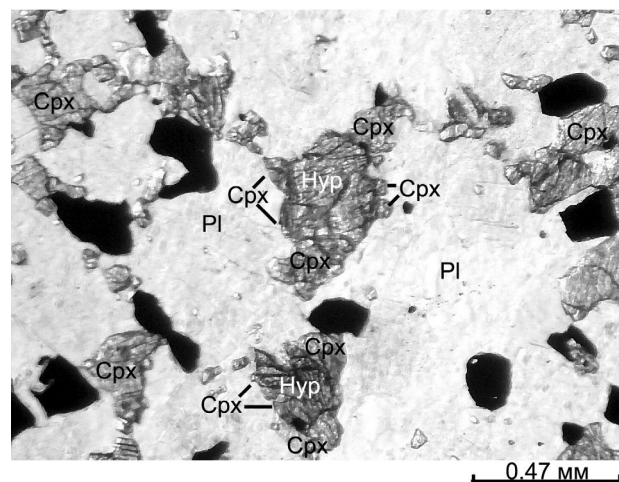
Основные гранулиты, слагающие ксенолиты в Первом Поньгомнаволоцком массиве эндербитов – чарнокитоидов ГЭЧ комплекса [4], при диафорезе в условиях метаморфизма амфиболитовой фации беломорского типа превращаются (Король, 2003, 2005, а, б) в клинопироксен-плаггиоклазовые и далее в эклогитоподобные породы (таблицы 2, № 5; 3, № 14, 15; рис. 10). Процесс преобразования по своей сути практически аналогичен таковому для ГЭЧ комплексов [1–2]. Среди СР и ЕКЛ в шлифах можно наблюдать сохранившиеся участки двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев. В клинопироксен-плаггиоклазовых породах фиксируются реликтовые розоватые зерна гиперстена, окруженные каймами зеленоватого моноклинного пироксена (рис. 11), среди равновесных Срх + Pl минеральных ассоциаций (табл. 3, № 14). Подобные соотношения Нур и Срх сохраняются иногда даже на заключительных стадиях перехода СР → ЕКЛ (рис. 12, а), при этом гранат может развиваться по моноклинному пироксену, содержащему реликты гиперстена. Преобразования Нур → Срх → Gt, Нbl^I → Gt, наблюдающиеся в шлифах, осуществляются по схемам реакций № 1, 5, 6 (табл. 1). Иногда фиксируются небольшие реликты Нbl^I в Срх^{II}, что может быть свидетельством протекания реакции № 2 (табл. 1). Возможны и превращения Срх^I → Срх^{II} (табл. 1, № 8).

Эклогитоподобные породы (табл. 3, № 15; рис. 12, б) состоят из интенсивно зеленоватого моноклинного пироксена, плаггиоклаза, граната. Средний химический состав [4] представлен в

табл. 2 (№ 5) и на рис. 10. Присутствующий в ЕКЛ рудный минерал соотносится с гранатом практически подобно описанному в районах [1–2]. Отсутствие скаполита и карбоната в породах свидетельствует о минеральных превращениях без участия летучих компонентов – CO₂, SO₃, Cl. Таким образом, при переходах ОГ → СР → ЕКЛ [4] осуществляется метаморфическая перекристаллизация с перераспределением компонентов в минералах. Определяющая роль при формировании клинопироксен-плаггиоклазовых пород, наиболее вероятно, принадлежит кальциевому метасоматозу, а при образовании эклогитоподобных – выносу Mg. Формирование СР и ЕКЛ протекает одновременно с диафорическими превращениями эндербитов и чарнокитоидов Первого Поньгомнаволоцкого массива (Король, 2003).



а



б

Рис. 11. Реликты гиперстена в клинопироксен-плаггиоклазовых породах, образованных по основным гранулитам

Шлифы: 1-11 (а), Ts-1-11а (б), без анализатора. П-ов Поньгомнаволоцк Белого моря [4]

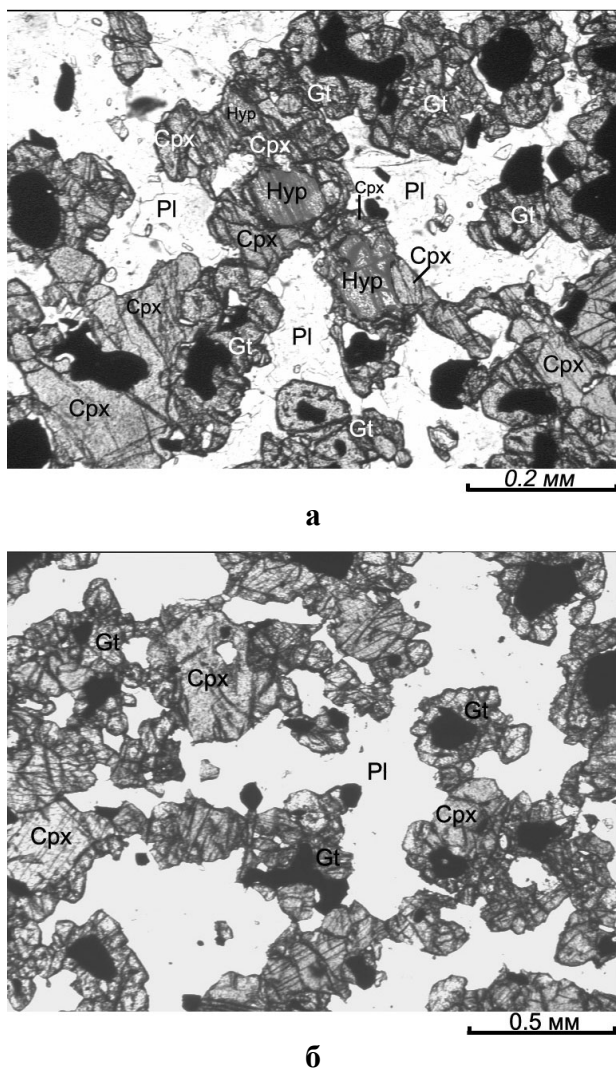


Рис. 12. Эклогитоподобные породы, образованные по клинопироксен-плаггиоклазовым

Реликты гиперстена, сохранившиеся на заключительной стадии перехода $CP \rightarrow EKL$ (а). Шлифы: 1-13 (а), 8-1 (б), без анализатора. Полуостров Поньгомнаволоок Белого моря [4]

В табл. 3 (№ 16) приведен парагенезис EKL (по OG?) из субстрата мигматитов губы Поньгомы Белого моря [4], составленный автором статьи по опубликованным материалам Г. М. Друговой и др. (1977). Салиты из эклогитоподобной породы [4] менее железисты ($F = 21,6\%$) и характеризуются пониженными относительно моноклиновых пироксенов оз. Беличьего [1] и оз. Керчуг [2] содержаниями CaO (20,41%), Al_2O_3 (1,80%), Na_2O (0,66%) (табл. 4, 5, № 5 и 1, 3). Равновесный с клинопироксеном гранат (табл. 4, 5, № 6; табл. 6, № 3) соответствует кианит-ортоклазовой субфации амфиболитовой (кианитовой) фации (Король, 2003). Gt [4] по отношению к [1 и 2] (табл. 5, 6) характеризуется пониженными железистостью ($F = 64,5, 81,4$ и $89,4\%$) и значением Ca-компонента (18,0, 30,8 и 41,4%). Этот минерал [4] отличается от таковых [1 и 2] относительно высокой пироповой составляющей (28,6, 14,10 и 6,8%). Содержания спессартина соответствуют во всех трех гранатах – 2,1, 2,2 и 3,1%.

Если в ГЭЧ комплексах [1–2] образование клинопироксен-плаггиоклазовых и эклогитоподобных пород по основным гранулитам связано с условиями метаморфизма беломорского типа кианитовой (амфиболитовой) и, реже, кианит-мусковитовой (эпидот-амфиболитовой) фаций, то на полуостровах Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть [3] CP и EKL формируются (Володичев, 1990) как в гранулитовой, так и в амфиболитовой фации.

Данным автором в метавулканитах (OG) Вичанского участка [3] выделяются метасоматиты в виде широко проявленной сети жил различной густоты и мощности – от тончайших «волосовидных» до десятков сантиметров, а также в виде пятен или сплошного тонкозернистого преобразования, часто с формированием вторичных полосчатых текстур. При этом создается реальная опасность восприятия последних в виде первичных литологических признаков. Метасоматические жилы (Fe-Ca-Mg метасоматиты) в метавулканитах имеют Hrp-Crpx, Crpx-Pl, Gt-Crpx, Gt-Crpx-Pl, Gt-Pl составы при простом и зональном их строении. Существует и определенная последовательность в их формировании: первыми образуются гиперстеновые или клинопироксеновые жилы, затем клинопироксен-плаггиоклазовые, далее гранатсодержащие – гранат-клинопироксен-плаггиоклазовые (табл. 3, № 8–10). Отмечается (Володичев, 1990) и химическая специализация – часто с преобладанием Ca метасоматоза при формировании CP, CPE, EKL, реже Gt-Pl жил с плаггиоклазом, представленным битовнитом-анортитом. Приведенные парагенезисы (табл. 3, № 8–10) отражают метасоматиты как гранулитовой (№ 8), так и последней, переходящей в амфиболитовую фации (№ 9, 10). Средний химический состав жил, включающих клинопироксен-плаггиоклазовые породы, переходящие в эклогитоподобные, представлен в табл. 2 (№ 6) и диаграммах – AFM (рис. 10, а) и $CaO - FeO^* - MgO$ (рис. 10, б). Реакционные соотношения минералов, наблюдающиеся при переходах $CP \rightarrow EKL$ в метасоматитах (рис. 13, а, б), повторяют описанные для районов [1–2]. Присутствие в породах скаполита и карбоната (рис. 13, б) свидетельствует об активном участии летучих компонентов (CO_2, SO_3, Cl) в ходе метасоматических реакций.

Сопоставление конкретных химических составов метабазальтов [OG] и клинопироксен-плаггиоклазовых переходящих в эклогитоподобные пород из метасоматических жил (табл. 8, № 1 и 2) указывает на достаточно сильное увеличение содержания CaO , повышение $FeO + Fe_2O_3$ и железистости (F), небольшое возрастание MgO , уменьшение $Na_2O + K_2O$ – в CPE по отношению к OG. Эта же закономерность отображена на диаграммах AFM (рис. 14, а, линия – I), $CaO - FeO^* - MgO$ (рис. 14, б), $F - CaO$ (рис. 14, в). Таким образом, ведущая роль при образовании метасоматитов принадлежит Ca метасоматозу и в гораздо меньшей степени – Mg-Fe, что самоочевидно при характеристике промежуточных (CPE) разновидностей пород.

Таблица 8

**Химические анализы, характеризующие процессы
преобразований основных гранулитов
в эклогитоподобные породы**

Компоненты	I		II		III	
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	49,68	43,24	50,00	40,26	50,42	38,94
TiO ₂	0,73	0,96	0,86	1,24	0,92	1,02
Al ₂ O ₃	15,80	15,14	15,93	17,26	15,15	19,36
Fe ₂ O ₃	2,79	4,42	3,38	4,83	2,22	2,75
FeO	7,90	8,04	7,76	13,65	9,70	13,36
MnO	0,214	0,250	0,202	0,27	0,19	0,236
MgO	5,42	5,87	7,21	11,44	9,97	12,30
CaO	12,60	19,04	11,29	8,62	7,95	9,53
Na ₂ O	2,75	0,32	2,79	1,07	2,45	0,48
K ₂ O	0,15	0,93	0,07	0,21	0,17	0,20
H ₂ O	0,15	0,13	0,05	0,14	0,03	0,16
ппп	1,60	2,06	0,50	1,14	0,69	1,49
Сумма	99,78	100,40	100,04	100,13	99,86	99,83
f	59,3	57,8	51,8	54,4	49,3	52,1
F	66,4	68,0	60,7	61,8	54,5	56,7

Примечание. I – (1→2), 1 – metabазальт – основной гранулит (обр. В-2512-4), 2 – клинопироксен-плаггиоклазовая порода, переходящая в эклогитоподобную – из метасоматических жил (обр. В-2512-7), п-ов Вичаны оз. Кереть; II – (3→4), 3 – metabазальт – основной гранулит (обр. В-2511-5), 4 – эклогитоподобная порода с Mag и Spl – метасоматит из «зоны закалки» шаров metabазальтов (обр. В-2511), п-ов Вичаны; III – (5→6), 5 – двупироксеновый кристаллический сланец – основной гранулит (обр. В-2330-5), 6 – эклогитоподобная порода с Mag и Spl – метасоматит из «зоны закалки» шаров metabазальтов (обр. В-2330-10), п-ов Мундиннаволоков оз. Кереть. I–III – соответствуют рис. 14.

В таблице использованы фактические и опубликованные (1990) материалы О. И. Володичева.

Кроме описанных выше, О. И. Володичевым (1990) на Вичанском и Мундиннаволоковском участках [3] выделены Mg-Fe и Fe-Mg метасоматиты в «зонах закалки» шаров metabазальтов. Изучая черные, сливные или тонкополосчатые породы, слагающие эти «зоны», данный автор пришел к выводу, что их химический состав не соответствует магматическому. Относительно metabазальтов в метасоматитах отмечались пониженные содержания SiO₂, щелочей, кальция и повышенные – Al₂O₃, FeO + Fe₂O₃, MgO. Микроскопически в породах устанавливалось сложное зональное строение метасоматического происхождения. При наиболее простом его варианте центральная микрозона сложена магнетитом и шпинелью с симплектиками пироксенов при различном количественном соотношении этих компонентов, внешняя – более обогащена кальцием и представлена гранат-клинопироксен-плаггиоклазовой или эклогитоподобной породой с (±) Mag и Spl. Парагенетические ассоциации метасоматитов микрозон представлены в табл. 3 (№ 11, 12). Химический состав и кристаллохимические формулы минералов отображены в табл. 4, 5 (№ 7–10), нормативный состав граната – в табл. 6 (№ 4). Из центральной микрозоны тонкозернистых метасоматических пород, наряду с бронзитами, проанализированы моноклинные пироксены гранулитовой фации (табл. 4, 5, № 7 и 8). Сpx имеет железистость – (F) 25,6%, содержит 15,52% CaO и 8,46% Al₂O₃. Кроме бронзита, он парагенетичен со шпинелью, магнетитом, (±) плаггиоклазом.

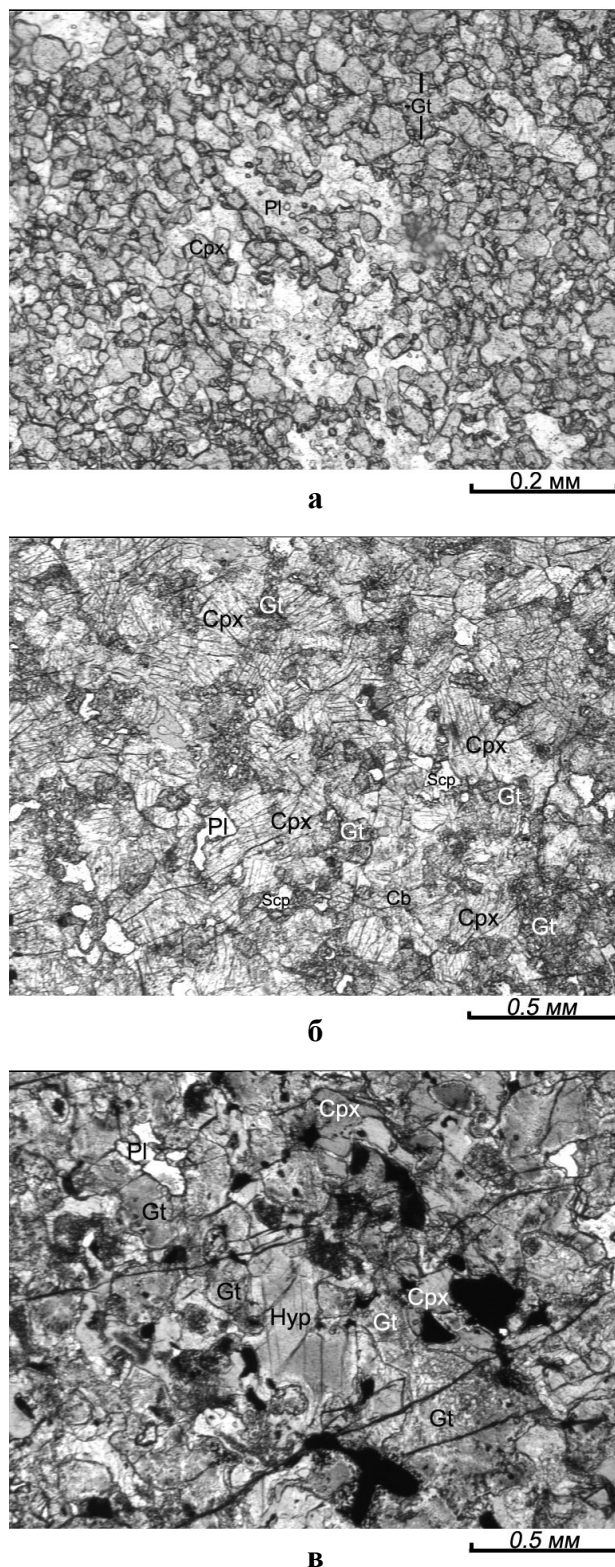


Рис. 13. Клинопироксен-плаггиоклазовые переходящие в эклогитоподобные (а) и гранат-клинопироксен-плаггиоклазовые (б) породы из метасоматических жил (а, б) в метавулканитах (ОГ). Реликты гиперстена в гранат-клинопироксен-плаггиоклазовых породах с магнетитом и шпинелью (темные участки) из «зон закалки» шаров metabазальтов (в)

Шлифы: ВК-1031 (а), В-2509-3 (б), В-2330-10 (в), без анализатора. П-ова Вичаны (а, б) и Мундиннаволоков (в) оз. Кереть [3]

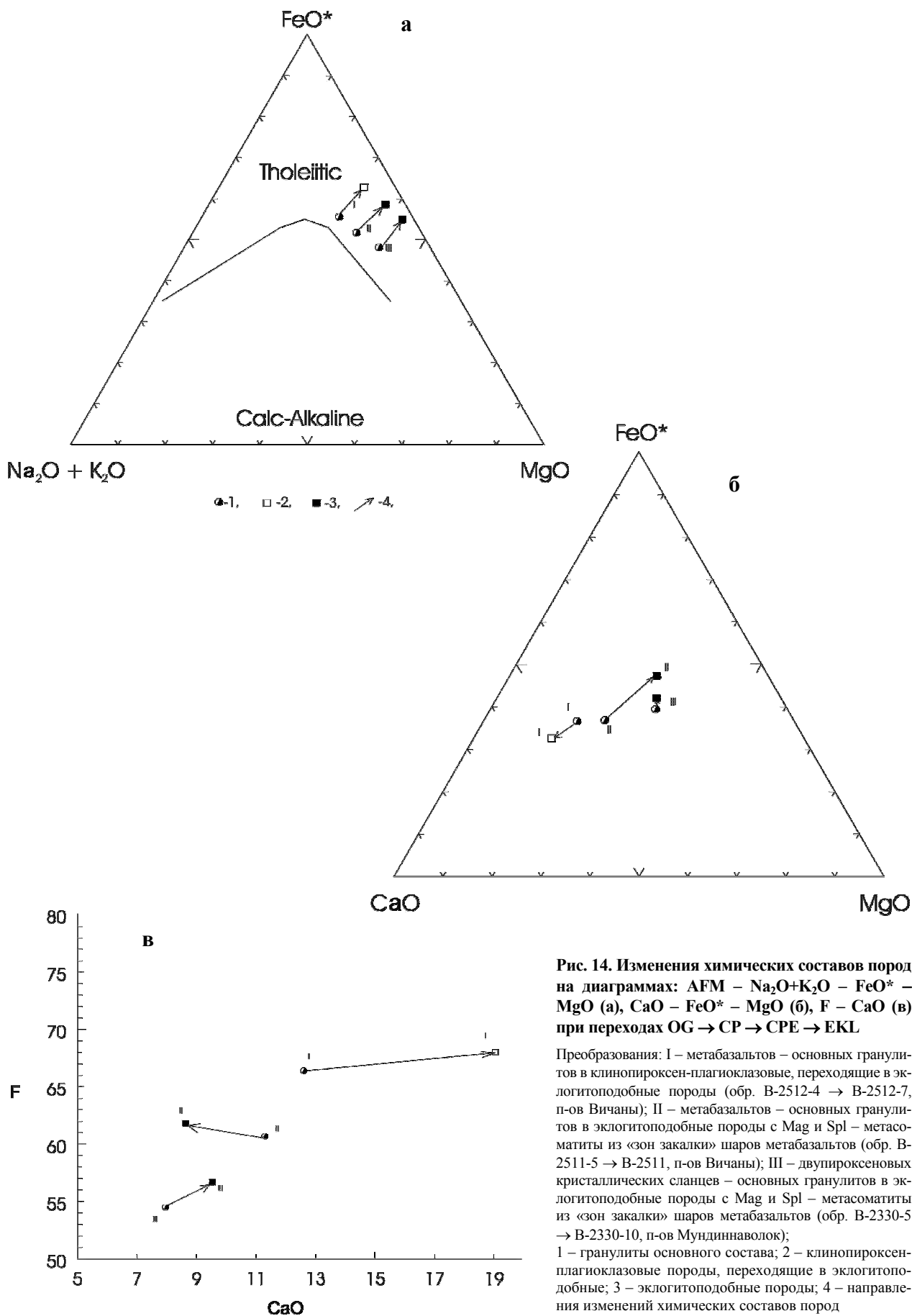
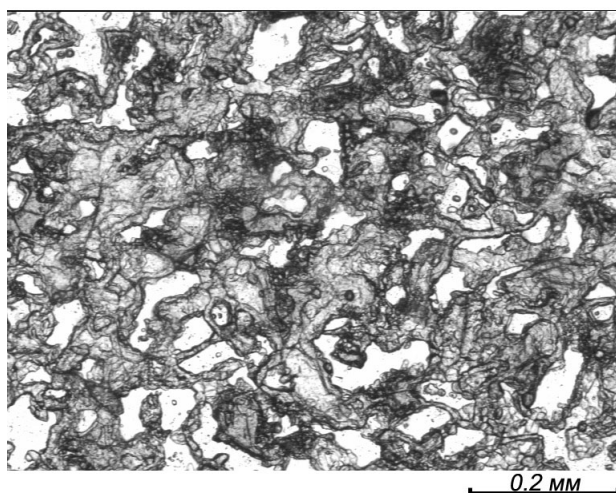
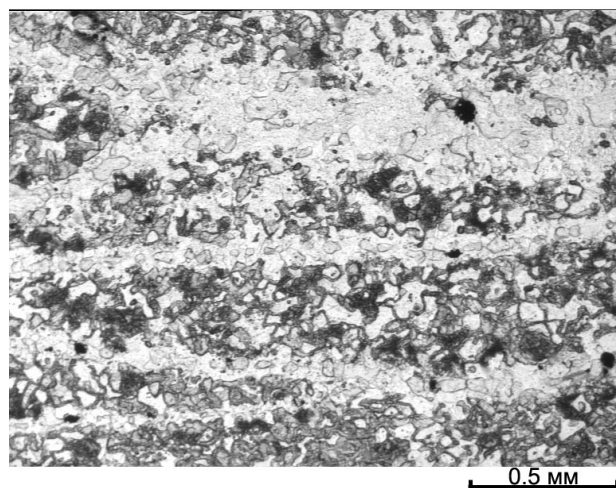


Рис. 14. Изменения химических составов пород на диаграммах: AFM – Na₂O+K₂O – FeO* – MgO (а), CaO – FeO* – MgO (б), F – CaO (в) при переходах OG → CP → CPE → EKL

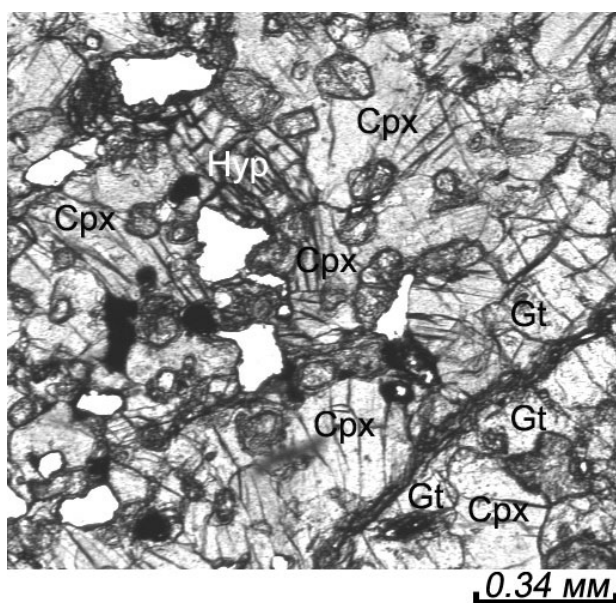
Преобразования: I – метабазальтов – основных гранулитов в клинопироксен-плаггиоклазовые, переходящие в эглогитоподобные породы (обр. B-2512-4 → B-2512-7, п-ов Вичаны); II – метабазальтов – основных гранулитов в эглогитоподобные породы с Mag и Spl – метасоматиты из «зон закалки» шаров метабазальтов (обр. B-2511-5 → B-2511, п-ов Вичаны); III – двупироксеновых кристаллических сланцев – основных гранулитов в эглогитоподобные породы с Mag и Spl – метасоматиты из «зон закалки» шаров метабазальтов (обр. B-2330-5 → B-2330-10, п-ов Мундиннаволоок); I – гранулиты основного состава; 2 – клинопироксен-плаггиоклазовые породы, переходящие в эглогитоподобные; 3 – эглогитоподобные породы; 4 – направления изменений химических составов пород



а



б



в

Рис. 15. Метасоматические эклогитоподобные породы из ксенолитов в эндербитах (а, б) и чарноэндербитах (в)

Тонкозернистая гранат-клинопироксен-плагиоклазовая порода – узкие центрические каймы граната по моноклинному пироксену и скопления мелких зерен Gt – темные участки, светлые – Pl (а). Карбонатизация и скаполитизация в тонких метасоматических прожилках (осветленные полоски) при формировании эклогитоподобных пород – темные участки (б). Реликты гиперстена в эклогитоподобной породе (в). Шлифы: В-2203-11в (а), В-2203-11н (б), А-750г-2 (в), без анализатора. П-ова Мундиннаволоок (а, б) и Вичаны (в) оз. Кереть [3]

Во внешних зонах этих метасоматитов, сложенных эклогитоподобными породами, Срх не проанализирован. Гранат, парагенетичный с моноклиным пироксеном, а также с плагиоклазом (битовнитом), ($\pm$) магнетитом и шпинелью (табл. 3, № 12), относится (Володичев, 1990) к гранулитовой, переходящей в амфиболитовую (кианит-ортоклазовая субфация) фации. Gt содержит 28,6% пиропа и 21,0% Са-компонента, характеризуется железистостью (F) – 63,6% и самым низким среди всех рассматриваемых гранатов содержанием спессартина – 0,3% (табл. 4–5, № 9, табл. 6, № 4). В ЕКЛ иногда сохраняются реликтовые зерна гиперстена (рис. 13, в). Средний химический состав гранат-клинопироксен-плагиоклазовых пород отражен в табл. 2 (№ 7) и диаграммах – AFM (рис. 10, а) и CaO – FeO* – MgO (рис. 10, б).

Сопоставление конкретных химических анализов метабазальтов и эклогитоподобных пород из «зон закалки» представлено в табл. 8 (№ 3 и 4 – II, № 5 и 6 – III) и диаграммах – AFM, CaO – FeO* – MgO, F – CaO (рис. 14). Повсеместно отмечается повышение

содержания Fe₂O₃, FeO, MgO, возрастание f и F и понижение щелочей в ЕКЛ относительно OG. Однако в первом случае (№ 3 и 4) уменьшается СаО, а во втором (№ 5 и 6) этот компонент возрастает. Вероятнее всего, что при образовании эклогитоподобных пород в «зонах закалки» шаров метабазальтов в целом осуществлялся Fe-Са-Mg метасоматоз с преобладающим Fe-Mg или Mg-Fe и варьирующим участием – Са – на различных стадиях формирования ЕКЛ. О привносе Са свидетельствует и присутствие битовнита (88% An) в эклогитоподобных породах. Известно, что наиболее основные плагиоклазы в исходных для ЕКЛ метабазальтах [3] содержат 75–77% анортитовой составляющей (Король, 2003). Образование рассмотренных выше метасоматитов происходило в условиях гранулитовой, переходящей в амфиболитовую фации – после формирования эндербитов и чарнокитов.

На полуострове Мундиннаволоок [3] в эндербитах были изучены (Володичев, 1990) ксенолиты, сложенные тонкозернистыми метасоматическими гранат-пироксен-

плагиноклазовыми породами (табл. 2, № 8; рис. 15, а, б), сформировавшимися в условиях гранулитовой фации. Их исходная принадлежность к основным гранулитам петрографически не доказана. В состав ЕКЛ входят моноклинный пироксен, достаточно железистый гранат, основной плагиноклаз – анортит (табл. 3, № 13; табл. 4, 5, № 11–13; табл. 6, № 5). Сrx (табл. 4, 5, № 11) имеет железистость 23,8%, более низкую по отношению к Сrx основных гранулитов по метабаазальтам (Король, 2003) и в эклогитоподобных породах [1–2]. По содержанию СаО (22,69%) моноклинный пироксен из ЕКЛ превышает все данные минералы, рассмотренные выше, гранулитовой и амфиболитовой фаций. А значение Al_2O_3 (1,94%) в Сrx [3] ниже, чем в таковых из ОГ [3], ЕКЛ [1], и выше, чем в эклогитоподобных породах оз. Керчуг [2]. Содержание Na_2O (0,40%) в минерале наиболее низкое среди всех Сrx как из ЕКЛ [1–2, 4], так и из основных гранулитов. Гранат характеризуется (табл. 4–5, № 12; табл. 6, № 5) железистостью 73,7% и содержаниями пироба 19,2%, Са-компонента – 26,0%, спессартина – 1%. Плагиноклаз (табл. 4, № 13) соответствует анортиту – 91% An.

Эклогитоподобные породы (табл. 2, № 8) из ксенолитов в эндербитах по сравнению с метасоматитами (табл. 2, № 6, 7), описанными выше, сильно обогащены СаО при пониженном содержании MgO и $Fe_2O_3 + FeO$ и высокой железистости F на фоне низкого содержания магния. Эти особенности химизма подтверждаются и на рис. 10. Если эти ЕКЛ образовались по ОГ, то определяющим при их формировании был (табл. 2, № 8) Са метасоматоз при подчиненной роли Fe-Mg. Осуществлялся привнос летучих (CO_2 , SO_3 , Cl) компонентов (рис. 15, б).

Метасоматические эклогитоподобные породы, сформировавшиеся по основным гранулитам, слагают ксенолиты и в черноэндербитах Восточно-Вичанского массива (фактический материал О. И. Володичева). В этих гранат-клинопироксен-плагиноклазовых породах

иногда встречаются единичные реликты гиперстена (рис. 15, в).

Проведено сравнение средних химических составов эклогитоподобных пород районов оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг [1–2], п-ова Поньгомнаволока Белого моря [4], полуостровов Вичаны и Мундиннаволока оз. Кереть [3] (табл. 2, № 3, 5, 7, 8; рис. 10). Оказалось, что максимальными содержаниями СаО (22,43%) при минимальных – Fe_2O_3 (2,95%) и FeO (1,65%), MgO (0,25%) и суммы щелочей (0,30%) характеризуются метасоматические ЕКЛ гранулитовой фации из ксенолитов в эндербитах [3]. При приведенных соотношениях железа и магния железистость их достаточно высока ($F = 94,85\%$). Минимальными значениями СаО (9,08%) обладают гранат-клинопироксен-плагиноклазовые породы из «зон закалки» шаров метабаазальтов Вичанского участка [3]. Эклогитоподобные породы амфиболитовой фации оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг по отношению к таковым п-ова Поньгомнаволока Белого моря (табл. 2, № 3 и 5; рис. 10) характеризуются более высокими значениями железистости ($F = 71,59$ и $64,37\%$), СаО (12,77 и 11,88%) и пониженными – MgO (5,13 и 7,51%).

Таким образом, в ГЭЧ комплексах [1–2, 4] диафторическое преобразование основных гранулитов в эклогитоподобные породы в БПП связано с метаморфизмом беломорского типа амфиболитовой и (или) эпидот-амфиболитовой фаций. Суть процесса – сочетание метаморфической обменной перекристаллизации с привносом Са и выносом Mg. В ГЭЧ комплексах [3] ЕКЛ образуются при Са, Mg, Fe метасоматозе, при различных сочетаниях этих компонентов, в условиях как гранулитовой, так и таковой переходящей в амфиболитовую фации. Все эти превращения являются составной частью диафторических процессов, изменяющих облик пород ГЭЧ комплексов [1–4] и определяющих современный вещественный состав архейских образований БПП.

ЛИТЕРАТУРА

- Володичев О. И. Метаморфизм фации дистеновых гнейсов (на примере беломорского комплекса). Л., 1975. 170 с.
- Володичев О. И. Эволюция метаморфизма полициклического беломорского комплекса // Цикличность и направленность процессов регионального метаморфизма. Л., 1977. С. 57–79.
- Володичев О. И. Беломорский комплекс Карелии (геология и петрология). Л., 1990. 245 с.
- Володичев О. И. Р-Т-т тренды эволюции метаморфизма при формировании позднеархейской Беломорской коллизионной структуры // Карелия и РФФИ: Тез. докл. науч. конф., посвящ. 10-летию РФФИ (1–3 окт. 2002 г.). Петрозаводск, 2002. С. 59–60.
- Другова Г. М., Климов Л. В., Крылова М. Д. О ранних этапах гранулитового метаморфизма в Беломорском комплексе // ДАН СССР. 1977. Т. 234, № 3. С. 665–668.
- Король Н. Е. Метаморфическая эволюция гранулитового комплекса Северной Карелии: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1990. 346 с.
- Король Н. Е. Образование эклогитоподобных пород при диафторических процессах в гранулитовом комплексе Северной Карелии (Западное Беломорье) // Материалы 2-го всерос. петрографического совещания «Петрография на рубеже XXI века (итоги и перспективы)». Т. II. Сыктывкар, 2000. С. 189.
- Король Н. Е. Метаморфическая эволюция архейских гранулит-эндербит-чарнокитовых комплексов Карелии и Центральной Финляндии: Автономный раздел отчета по теме 158 «Эндогенные режимы метаморфизма в различных геодинамических обстановках докембрия Карелии» // Фонды КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2003. 364 с.
- Король Н. Е. Метаморфическая эволюция гранулит-эндербит-чарнокитовых комплексов Беломорского подвижного пояса // Материалы науч. конф. «Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минералогия». Петрозаводск, 2005а. С. 143–145.
- Король Н. Е. Основные гранулиты Карелии и Центральной Финляндии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск, 2005б. С. 18–28.
- Irvine T. N., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Can. J. Earth Sci. 1971. Vol. 8. P. 523–548.