

Н. Е. Король

ЭНДЕРБИТЫ ПЕРИОДА РЕГИОНАЛЬНОЙ МИГМАТИЗАЦИИ И ГРАНИТИЗАЦИИ В ГРАНУЛИТ-ЭНДЕРБИТ-ЧАРНОКИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ КАРЕЛИИ*

Общее представление

Термин «эндербит» впервые был введен С. Тилли (Tilley, 1936) при описании чарнокитовых пород Земли Эндерби в Антарктиде. Этим словом были названы кислые составляющие чарнокитовой серии с ромбическим пироксеном и плагиоклазом (олигоклазом или андезином), который являлся существенным полевым шпатом в породах по сравнению с чарнокитами, где присутствуют как $P1^{**}$, так и ортоклаз. Причем последний минерал в составе чарнокитоидов часто превалирует над первым. Согласно классификации В. М. Шемякина и К. А. Шуркина (1971), к эндербитам относятся тоналиты – плагиограниты, содержащие ромбический пироксен ряда гиперстен – феррогиперстен, к мангероэндербитам – Нур кварцевые диориты. Автором статьи при описании гиперстенсодержащих магматических образований применяется сочетание классификаций – «Магматические горные породы...» (1983), В. М. Шемякин, К. А. Шуркин (1971), В. М. Шемякин (1976). Под эндербитами понимаются гиперстенсодержащие кварцевые диориты – тоналиты – плагиограниты, с долей условности – Нур диориты. Чарнокиты рассматриваются как гиперстенновые гранитоиды калиевого ряда, чарноэндербиты – Нур гранодиориты. Формирование всех этих пород, независимо от их генезиса (магматического, ультраметагенного, метасоматического), обычно связано с проявлением метаморфизма гранулитовой фации.

Ранее автором статьи (Король, 2003, 2005а, б) была изучена полиэтапная метаморфическая эволюция архейских гранулит-эндербит-чарнокитовых (ГЭЧ)

комплексов [1–9 и F]* Карелии (рис. 1) и Центральной Финляндии. Первый (I) гранулитовый этап содержит от одного до четырех периодов развития и осуществляется во всех комплексах в режиме умеренных и (или) пониженных давлений и в пределах колебаний температур 750–870 °С. Для него характерны полный (1, 2, 3 периоды) и упрощенный (1, 2 периоды) типы метаморфической эволюции, что соответствует ГЭЧ комплексам [1–5] и [6, 7, 9, F]. В ГЭЧ комплексе [7] выделяется второй гранулитовый этап, или гранулитовый метаморфизм II (Володичев, 1997; Володичев и др., 1994) с повышением верхнего предела температур от 800 до 850 °С и увеличением давления от 5 до 6–7 кб по отношению к РТ-условиям предыдущего.

Для ГЭЧ комплексов [1–6, 8–9, F] – второй (II), а для [7] – третий (III) и четвертый (IV) этапы метаморфической эволюции являются диафторическими. Они осуществляются при ретроградном снижении температур в условиях от амфиболитовой [1–9, F] до \pm эпидот-афиболитовой [1–9, F], иногда до зеленосланцевой [5, 6, 9] фаций. В Беломорской структуре [1–4] диафторические процессы отражают коллизионный этап ее развития и соответствуют высокобарическому (вторая генерация) кианитовому метаморфизму (Володичев, 1990). Давление при диафторезе, по сравнению с таковым гранулитовым, значительно возрастает в беломорских ГЭЧ комплексах [1–4] и немного повышается в [8]; понижается в – [6], очень незначительно в – [7] на III и более интенсивно при переходе от III к IV этапу (Король, 2003).

Беломорские [1–4] и тикшеозерско-пяозерский [5] ГЭЧ комплексы представлены супракрустальными гранулитами основного [1–5], среднего [1–4], кислого [1, 3, 4] составов с проявлением признаков их первично-эффузивной природы [3] и породами магматического ряда – ультрабазиты – основные ультрабазиты –

* Настоящая работа была проведена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64876 и № 08-05-00322).

** Символы минералов: Ab – альбит, An – анортит, Adr – андрадит, Anz – андезин, Alm – альмандин, Bt – биотит, Crx – моноклинный пироксен, Crd – кордиерит, Di – диопсид, Ep – энстатит, FNур – феррогиперстен, Fs – ферросилит, Grs – гроссуляр, Grt – гранат, Hbl – обыкновенная роговая обманка, Нур – гиперстен, Olg – олигоклаз, Орх – ромбический пироксен, Or – ортоклаз, Pl – плагиоклаз, Prp – пирроп, Sps – спессартин, Ts – чермакит, Qtz – кварц, Wo – волластонит.

* В статье в квадратных скобках приводятся номера районов развития ГЭЧ комплексов: 1 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, 2 – оз. Керчуг, 3 – полуострова Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть, 4 – губа Поньгома и п-ов Поньгомнаволоок Белого моря, 5 – оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро, 6 – пос. Вокнаволоок, 7 – оз. Тулос, 8 – среднее течение реки Водлы, 9 – восточное побережье Онежского озера, F – оз. Варпайсьярви Центральной Финляндии.

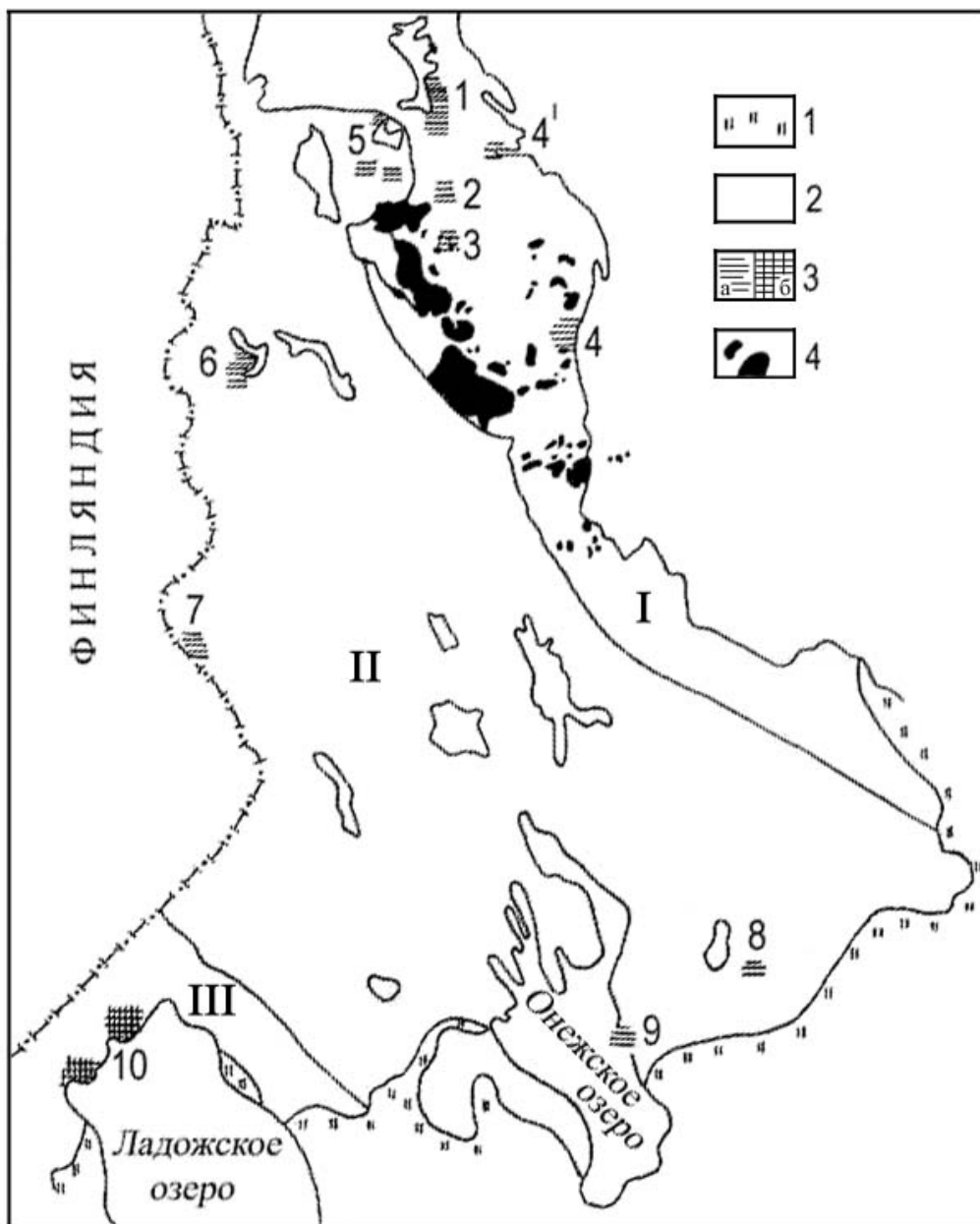


Рис. 1. Схема распространения пород гранулит-эндербит-чарнокитовых (ГЭЧ) комплексов в докембрии Карелии. Составлена О. И. Володичевым, Н. Е. Король (1997) с добавлениями автора статьи на основе «Схемы метаморфических...» (Володичев, 1987)

1 – неметаморфизованные породы верхнего протерозоя и палеозоя; 2 – докембрий Карелии (I – Беломорская структура, II – Карельская гранит-зеленокаменная область, III – Свекофеннская складчатая структура); 3 – породы ГЭЧ комплексов архея (а) и нижнего протерозоя (б); 4 – интрузии чарнокитоидов и апочарнокитоидов топорского и вичанского типов и гнейсов по ним. Районы развития ГЭЧ комплексов: 1 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, 2 – оз. Керчуг, 3 – п-ова Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть, 4 – губа Поньгома, п-ов Поньгомнаволоок Белого моря, 4' – пос. Чула, 5 – оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро, 6 – оз. Верхнее Куйто (пос. Вокнаволоок), 7 – оз. Тулос, 8 – р. Водла, 9 – восточное побережье Онежского озера, 10 – Северо-Западное Приладожье

меланократовые габброиды [1–4]; габброанортозиты – анортозиты [1]; интрузивными образованиями серии: габброиды – габбродиориты – гиперстеновые (диориты – кварцевые диориты – тоналиты ± плагиограниты) [1–2, 4, 5] – и связанными с ними порфиroidными чарнокитоидами [1, 3, 4]; ультраметагенными и интрузивными эндербитами – чарнокитоидами [1–5] периода региональной мигматизации и гранитизации. В

ГЭЧ комплексах Карельской структуры [6, 7, 9] и Варпайсьярвинского блока [F] состав преимущественно «двухкомпонентный» – супракустальные основные, реже средние гранулиты и эндербиты ± чарнокитоиды. Непременными составляющими всех комплексов являются супракустальные основные гранулиты и эндербиты, образующиеся при процессах региональной мигматизации и гранитизации.

В метаморфической эволюции ГЭЧ комплексов эндербиты могут проявляться неоднократно. О. И. Володичев (1990) выделил раннюю эндербитовую мигматизацию в Беломорском подвижном поясе [1, 2, 4]. Она была зафиксирована в виде жилков, инъецирующих супракрустальные основные и, вероятно, средние гранулиты, в субстрате губы Поньгомы Белого моря [4] и в ксенолитах кристаллических сланцев среди эндербитов Керчугского массива [2]. В районе губы Миронова оз. Нотозеро [1] в массиве габброидов – гиперстеновых (диоритов – тоналитов), среди его габбро-диоритовой разновидности, были обнаружены ксенолиты основных двупироксеновых кристаллических сланцев, инъецированных жилками эндербитов – двупироксеновых кварцевых диоритов (табл. 1–3). Породы ксенолита имеют автономную кристаллизационную сланцеватость, несогласную с таковой в габбро-диоритах (Володичев, 1990). Размеры проявлений процессов ранней эндербитовой мигматизации очень невелики.

Кроме того, в ГЭЧ комплексах [1, 4, 5] Нур диориты – тоналиты являются составной частью относительно небольших интрузивных тел дифференцированного состава в районах губы Миронова оз. Нотозеро и губы Тупой оз. Ковдозеро, п-ова Поньгомнаволоков Белого моря, оз. Пяозеро – оз. Тикшеозеро. Породы, слагающие их, объединены в магматическую серию интрузивных образований: габброиды – габбро-диориты – гиперстеновые диориты – тоналиты ± плагиограниты (Володичев, 1990; Король, 1990, 2003).

Наиболее масштабным и значимым явлением являются процессы региональной мигматизации и гранитизации, охватывающие значительную часть территорий развития всех ГЭЧ комплексов (рис. 1–7). Суть данного геологического события заключается в образовании ультраметагенных и интрузивных эндербитов и чарнокитоидов во втором [4, 6, 7, 9, F] или третьем [1, 2, 5] периоде I гранулитового этапа метаморфической эволюции комплексов (Король, 2003, 2005).

Возрастное геологическое положение эндербитов ± чарнокитоидов определяется как более позднее по отношению к супракрустальным гранулитовым образованиям [1–7, 9, F] и магматическим породам группы ультрабазиты – меланократовые габброиды [1, 4, 6, 9], и к проявлениям ранних мигматитовых жилков [1, 2, 4], и к интрузивным породам серии габброиды – гиперстеновые диориты – тоналиты ± плагиограниты [1, 5]. На п-ове Поньгомнаволоков Белого моря [4] интрузивные и жильные эндербиты – чарнокиты предшествуют образованию пород магматической серии от габброидов до гиперстеновых кварцевых диоритов – пироксеновых гранодиоритов. Вероятнее всего, что жильные эндербиты п-ова Мундиннаволоков [3] сформировались также до порфиридных чарнокитоидов топозерского и вичанского типов.

По геологическим (рис. 2–7) и петрологическим (табл. 1, 2) данным (Король, 2003, 2005) в пределах ГЭЧ комплексов, в период развития региональной мигматизации и гранитизации, можно выделить эндербиты (EZI) мигматитовых субкомплексов и (или)

жильные; кроме того, эндербиты (E), образующие поля и интрузивные массивы. Чарнокитоиды (Ч) либо входят в состав этих магматических тел, либо формируют собственные. Часто в ГЭЧ комплексах [1, 2, 4, 5, 7] фиксируется геологическое сосуществование перечисленных выше компонентных составляющих.

Первыми при процессах региональной мигматизации и гранитизации образуются эндербиты во всех формах их проявлений. В этот период формируются как отдельные или целые системы жил на площадях максимального развития супракрустальных и интрузивных гранулитовых образований, так и иногда гигантские поля мигматитов, в которых количество субстрата варьирует и, в основном, находится в подчиненном отношении к эндербитовому материалу. К этому времени приурочено и формирование интрузивных массивов эндербитов. На завершающих стадиях, при внедрении магмы, обогащенной калием, немного позже активного поступления первых ее богатых натрием порций, происходит образование интрузивных чарнокитоидов. Если объем калиевых составляющих магматических расплавов был не столь значителен, сформировались небольшие жильные тела и отдельные жилы чарнокитов [5]. Остаточный материал этого же состава способствовал образованию самых поздних жил чарнокитов [4, 9]. А калиевые флюиды стимулировали развитие метасоматических чарнокитов в «полях» эндербитов [1], что могло произойти синхронно с формированием Пажминского массива (Король, 1983).

Геологические особенности эндербитов

Эндербиты (EZI) мигматитовых субкомплексов и (или) жильные образуют прожилковые [1–7, F], полосчатые [1, 8, F], сетчатые [1, 2, 4, 5, 7], ветвистые [1, 2, 4], реже агматитовые [1, 2, 4, 7] и небулитовые [1, 2, 4, 7] типы мигматитов среди гранулитов основного [1–8, F], среднего [1, 3, 4, 7, 8] и кислого [3] составов, ультрабазитов – базитов [1, 4–6] и пород магматической серии габброиды – габбро-диориты – гиперстеновые диориты – кварцевые диориты – тоналиты [1, 5].

При эндербитовой (EZI) мигматизации жильный материал может в процентном отношении превалировать над субстратом, что широко развито в ГЭЧ комплексах [1, 4], в меньшей степени – [2, 5, 7, 78, F], незначительно – [3, 6]. Мигматизация района [8] причислена к группе EZI условно. Так как трондьемитовый жильный плагиогранитный материал, мигматизирующий амфибол-биотитовые гнейсы и амфиболиты гранулитовой фации, не содержит гиперстена, можно только предполагать его первично эндербитовую природу. В районе [3] эндербиты вместе с габброноритами (табл. 1, 3) наблюдаются только на п-ове Мундиннаволоков, где они образуют жилы и очень небольшие тела с многочисленными ксенолитами (до 30%) и являются более ранними по отношению к жильным чарнокитоидам. Габбро-диориты, ассоциирующие с эндербитами из мигматитов, встречаются (Paavola, 1984) и на Варпайсьярвинском блоке [F].

Таблица 1

Средние химические составы эндробитов

№ п.п.	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	ппп	Сумма	f	F	n
1	62,19	0,32	18,14	1,50	3,59	0,07	2,39	5,78	4,46	0,53	0,20	0,83	100,00	60,03	68,05	2
2	56,37	0,28	21,54	1,17	3,63	0,08	2,77	7,00	5,29	0,89	0,13	0,62	99,77	56,72	63,41	7
3	58,78	0,11	22,20	0,84	2,30	0,07	2,11	5,80	5,57	1,03	0,16	0,59	99,56	52,15	59,81	1
4	62,62	0,41	18,03	1,17	3,05	0,07	2,59	5,72	4,67	0,95	0,12	0,59	99,99	54,08	61,97	5
5	65,78	0,45	15,97	1,14	3,06	0,06	2,40	5,20	4,36	0,82	0,08	0,60	99,92	56,04	63,64	2
6	71,21	0,26	14,97	1,00	1,86	0,05	1,15	4,74	3,79	0,46	0,07	0,46	100,02	61,79	71,32	3
7	49,67	1,40	19,41	3,04	8,56	0,15	5,15	8,14	3,11	0,25	0,16	0,75	99,79	62,44	69,25	2
8	55,80	0,87	18,51	1,47	7,09	0,12	5,37	6,02	3,94	0,38	0,12	0,39	100,08	56,90	61,45	4
9	62,18	0,58	15,64	1,02	5,93	0,09	5,04	6,39	2,37	0,18	0,12	0,44	99,98	54,06	57,96	2
10	66,34	0,24	17,60	1,18	1,87	0,03	1,28	4,78	5,57	0,53	0,18	0,13	99,73	59,37	70,44	1
11	74,56	0,14	13,32	–	1,65 ^T	0,03	0,60	3,78	4,14	0,53	0,14	0,97	99,86	–	77,44	2
12	72,26	0,25	14,38	0,63	1,83	0,03	0,91	3,67	3,98	1,22	0,13	0,48	99,77	66,79	73,00	5
13	72,12	0,14	15,10	0,62	1,15	0,03	1,26	3,58	4,72	0,78	0,13	0,39	100,02	47,72	58,42	1
14	54,96	0,84	16,48	2,74	7,90	0,15	6,34	4,98	3,47	0,69	0,16	1,06	99,77	55,48	62,66	1
15	56,40	0,83	14,75	1,76	8,26	0,17	5,39	7,32	3,39	0,81	0,17	0,77	100,02	60,51	65,02	2
16	61,61	0,68	14,01	1,30	8,19	0,10	4,64	4,07	3,25	0,83	0,21	0,96	99,85	63,83	67,16	1
17	70,66	0,34	13,69	0,91	2,30	0,03	1,67	3,88	4,03	1,15	0,13	0,86	99,65	57,93	65,78	1
18	59,89	0,62	14,19	1,01	6,82	0,12	5,61	6,59	3,03	0,97	0,11	0,75	99,71	54,87	58,26	3
19	61,69	0,69	16,36	0,96	7,07	0,10	3,42	3,52	3,00	1,75	0,18	1,11	99,85	67,40	70,13	5
20	53,08	0,98	18,43	2,75	6,71	0,14	4,00	8,50	4,18	0,85	0,16	0,70	100,48	62,65	70,28	1
21	63,63	0,54	16,46	1,35	4,45	0,11	2,52	4,77	4,19	0,75	0,19	0,81	99,77	63,85	69,71	1
22	65,35	0,50	16,05	1,61	3,78	0,10	1,97	4,42	4,32	0,75	0,15	0,71	99,71	65,74	73,23	2
23	52,64	0,88	19,84	–	8,41 ^T	0,12	4,10	7,10	5,29	0,79	–	–	–	–	67,23	2
24	55,67	0,79	17,73	–	8,08 ^T	0,12	4,76	6,95	5,13	0,73	–	–	–	–	62,93	3
25	57,79	0,68	18,13	–	6,86 ^T	0,11	3,55	6,01	4,91	0,80	–	–	–	–	65,90	5
26	65,78	0,44	16,83	–	4,38 ^T	0,07	2,32	4,48	4,72	0,96	–	–	–	–	65,37	2
27	57,73	0,70	18,10	–	7,01 ^T	0,11	3,74	6,17	5,00	0,81	–	–	–	–	65,21	12
28	68,07	0,49	17,10	0,93	1,91	0,04	0,77	4,35	4,76	1,04	0,12	0,47	100,05	71,27	78,67	4
29	71,23	0,17	15,32	1,05	1,47	0,04	0,82	3,26	4,72	1,38	0,11	0,35	99,92	64,19	75,45	4
30	66,03	0,53	16,85	1,41	2,37	0,04	2,09	4,36	4,83	1,21	0,13	0,25	100,10	53,14	64,40	8
31	67,84	0,43	16,53	1,20	2,03	0,04	1,44	4,08	4,78	1,21	0,12	0,33	100,03	58,50	69,16	16
32	67,26	0,37	15,57	–	3,86 ^T	0,05	1,69	3,60	4,89	1,88	0,14	0,32	99,63	–	69,55	16
33	69,02	0,45	14,39	1,16	2,96	0,06	1,46	3,51	3,91	1,98	0,10	0,68	99,68	66,97	73,84	10
34	64,10	0,46	16,01	1,80	3,60	0,09	2,83	4,87	4,07	1,24	0,17	0,75	99,99	55,99	65,61	24
35	63,97	0,57	13,99	1,72	4,88	0,08	3,59	3,77	3,86	1,99	0,15	1,09	99,66	57,62	64,77	3
36	67,51	0,42	14,01	1,08	3,87	0,07	2,15	3,71	3,89	2,16	0,13	0,79	99,79	64,29	69,72	7
37	68,51	0,39	15,63	1,09	2,14	0,04	1,10	3,50	4,73	1,53	0,15	0,99	99,80	66,05	74,60	36

Примечание. 1 – двупироксеновые кварцевые диориты, жильные эндробиты ранней мигматизации, губа Миронова оз. Нотозеро; 2–27 – эндробиты (EZI) мигматитовых субкомплексов и жильные: 2 – двупироксеновые лейкодиориты субщелочного – нормального ряда, оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, 3 – пегматоидные двупироксеновые кварцевые лейкодиориты субщелочного ряда, оз. В. Пажма, 4 – двупироксеновые кварцевые диориты нормального ряда, оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг, 5 – двупироксеновые тоналиты, оз. Нотозеро и оз. Керчуг, 6 – гиперстеновые (± Сrx) плагииграниты, оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро; 7 – жильные лейко-габбронориты, ассоциирующие с эндробитами, п-ов Мундиннаволоок оз. Кереть, 8–9 – жильные (±)двупироксеновые – диориты (8) и кварцевые диориты (9), тот же район; 10 – жильный апоэндробит – амфиболовый тоналит, п-ов Поньгомнаволоок Белого моря, 11 – жильные двупироксеновые плагииграниты – плагийолейкограниты, тот же район; 12 – гиперстеновые (± Сrx) плагииграниты и апоэндробиты – биотитовые плагииграниты, оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро; 13 – апоэндробит-биотитовый плагиигранит, пос. Вокнаволоок; 14–15 – гиперстеновые (±) двупироксеновые диориты, гранулитовый метаморфизм I, оз. Широтное, 16 – гиперстеновый кварцевый диорит, гр. мет. I, оз. Широтное, 17 – апоэндробит-биотитовый плагиигранит, оз. Широтное, 18 – биотит-двупироксеновые гнейсы по эндробитам (EZI), гранулитовый метаморфизм II, оз. Широтное, 19 – гранат-биотитовые гнейсы по EZI, гр. мет. II, оз. Широтное, 20–22 – двупироксеновые: диориты (20), кварцевые диориты (21), тоналиты (22), ЮЗ берег оз. Тулос; 23–27 – жильный материал мигматитов ГЭЧ комплекса [F] оз. Варпайсьярви – габбро-диориты – гиперстеновые диориты повышенной щелочности (23), гиперстеновые субщелочные диориты (24), гиперстеновые кварцевые диориты нормального – субщелочного ряда (25), двупироксеновые тоналиты (26), средний (кварцеводиоритовый) состав эндробитов мигматитового субкомплекса (27). 28–37 – эндробиты (E), образующие поля и интрузивные массивы: 28 – гиперстеновые (± двупироксеновые) тоналиты – плагииграниты, оз. Нерпозеро – оз. Лариново, 29 – гиперстеновые (± двупироксеновые) плагииграниты, оз. Лопское – оз. Пажма, 30 – двупироксеновые тоналиты – средний состав эндробитов Керчугского массива; 31 – средний (тоналитовый) состав эндробитов оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг; 32 – двупироксеновые тоналиты – средний состав эндробитовой части Поньгомнаволоокского массива эндробитов – чарнокитов; 33 – средний плагиигранитный состав эндробитов, апоэндробитов, биотитовых и биотит-амфиболовых гнейсов по ним района оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро; 34 – средний тоналитовый состав эндробитов, пос. Вокнаволоок; 35 – гиперстен-биотитовые и биотит-гиперстеновые гнейсы по эндробитам кварцеводиоритового – тоналитового составов, формирующим поля, оз. Широтное – оз. Шуарьярви, гранулитовый метаморфизм II; 36 – диафторированные эндробиты, оз. Короппи – оз. Перюкк; 37 – средний (плагиигранитный) состав эндробитовой части Карицкого массива эндробитов – чарнокитоидов, восточное побережье Онежского озера.

При составлении таблицы и подсчете средних анализов пород автором использованы, кроме собственного, фактический материал О. И. Володичева, В. А. Коншина, Л. С. Головановой, А. С. Семенова, Е. И. Лобанов, а также следующие печатные и рукописные источники: Король, 1990 – [1–2], Володичев, 1990 – [1–3], 1997 – [7]; Володичев, Коншин, Король, 1985 – [6], Коншин, 1987 – [6], 1990, 1994 – [5], Кожевников, 1987 – [7]; Свириденко, 1974 [7]; Костин, 1989 – [9]; Paavola, 1984 – [F].

Принятые аббревиатуры: n – количество используемых химических анализов; F – (FeO + Fe₂O₃/FeO + Fe₂O₃ + MgO) × 100% – общая железистость пород; f – (FeO/FeO + MgO) – коэффициент железистости пород, окислы в весовых процентах.

Таблица 2

Геолого-петрографические особенности эндрбитов

№ п.п.	Зернистость, окраска	Структуры	Парагенезисы	Геологические особенности
1	Мелкозернистые, серые	Аллотриоморфнозернистые	Hyp + Cpx + Pl ₂₆₋₃₂ + Qtz	Ранние мигматитовые жилы
2	Мелко- [1, 3, 4, 7, ?F], средне- [1, 2, 4, 5, 7, F], крупнозернистые [1, 2, 4, 5, 7, F] и пегматоидные [1, 7], светлые, чаще серые [1, 4, 5], темно-серые [1, 2, 4-6] и темные [7]	Аллотриоморфнозернистые [1-4, 6, 7, F], иногда гипидиоморфнозернистые [5], переходные от вторых к первым [3], бластогипидиоморфнозернистые [7] с субидиоморфными кристаллами плагиоклаза	Hyp ₃₉₋₄₉ , FHyp ₅₃₋₅₄ ± Cpx ₃₃ + Pl ₂₂₋₄₂ ± Qtz, ± Or ± Bt ₄₇₋₄₉ ^{3,50-3,76}	Эндрбиты мигматитовых субкомплексов и (или) жильные
3	Мелко- [5], среднезернистые [1, 6, 7], темно-серые [1, 5-7], реже серые [5]	Аллотриоморфнозернистые [1, 5-7], гипидиоморфнозернистые [5], переходные от вторых к первым [6]	Hyp ₃₉₋₅₀ ± FHyp ₅₁₋₅₇ ± Cpx ₂₇₋₂₈ ± Bt ₄₇₋₄₈ ^{4,45-4,97} + Pl ₂₄₋₄₀ + Qtz	Эндрбиты, образующие поля
4	Мелко- [4, 9], средне- [2, 4, 9], крупнозернистые [9], темно-серые [2, 4, 9], реже серые [4, 9]	Аллотриоморфнозернистые [2, 4, 9], с участками гипидиоморфнозернистых [9], переходные от последних к первым [4, 9]	Hyp ₃₀₋₄₃ ± Cpx + Pl ₂₃₋₃₅ + Qtz, ± Or	Керчугский, Поньгомнаволоцкий, Карицкий массивы

Примечание. 1 – жильные эндрбиты ранней мигматизации; 2-4 – эндрбиты ультраметабазитов и интрузивные; 2 – мигматитовых субкомплексов и (или) жильные [1-7, F], 3 – образующие поля в районах – водоразделов оз. Нерпозеро – оз. Лариново и оз. Лопского – оз. Пажма [1], СЗ берега оз. Тикшеозеро [5], пос. Вокнаволок [6], оз. Корoppi – оз. Перюкс – оз. Широного [7], 4 – Керчугского [2], Поньгомнаволоцкого [4] и Карицкого [9] массивов.

Для составления парагенезисов, кроме собственных, автором использованы фактический шлифовый материал: О. И. Володичева, В. А. Коншина, Л. С. Головановой, Е. И. Лобанок, Л. П. Свириденко, В. Н. Кожевникова, В. А. Костина, а также следующие печатные и рукописные источники: Король, 1990, 2003; Володичев, 1990, 1997; Володичев, Коншин, Король, 1985; Крылова, Климов, 1978; Коншин, 1987, 1990, 1994; Свириденко, 1974; Котова, 1993; Костин, 1989; Raavola, 1984.

В статье цифры внизу символов железно-магнезиальных минералов обозначают общую железистость F – (Fe²⁺ + Fe³⁺/Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mg) × 100%, у плагиоклазов – содержание анортита; сверху: у биотитов и амфиболов – TiO₂ в весовых процентах, у гранатов – содержание пирропа.

Таблица 3

Парагенезисы эндрбитов ранней мигматизации, мигматитовых субкомплексов и жильных в ГЭЧ комплексах Карелии [1-7] и Центральной Финляндии [F]

№ п.п.	Районы	Парагенезисы	Породы
1	[1]	Hyp + Cpx + Pl ₂₆₋₃₂ + Qtz	Двупироксеновые кварцевые диориты – жильные эндрбиты ранней мигматизации
2	[1]	± Hbl	Незначительная амфиболитизация пород
3	[1]	Hyp ₄₃₋₄₅ + Cpx + Pl ₂₉₋₃₃ + Qtz	Двупироксеновые (лейкодиориты н.-с/щ ряда, пегматоидные с/щ кварцевые лейкодиориты, кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндрбиты (жильная часть мигматитов)
4	[2]	Hyp ₃₉₋₄₀ + Cpx + Pl ₂₉₋₃₀ + Qtz	Гиперстеновые (± двупироксеновые) кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты – эндрбиты (жильная часть мигматитов)
5	[1-2]	Hyp ₃₉₋₄₅ + Cpx + Pl ₂₉₋₃₃ + Qtz	Двупироксеновые (лейкодиориты н.-с/щ ряда, пегматоидные с/щ кварцевые лейкодиориты, кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндрбиты (жильная часть мигматитов)
6	[3]	Hyp + Cpx + Pl ₅₇₋₅₈	Жильные лейкоаббро-нориты
7	[3]	Hyp ± Cpx + Pl ₄₀₋₄₂ ± Qtz	Гиперстеновые ± двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты) – жильные эндрбиты
8	[4]	Hyp ₄₄₋₄₉ – FHyp ₃₃ ± Cpx + Pl + Qtz	Эндрбиты – жильный материал мигматитов
9	[4]	Hyp ± Cpx ¹ + Pl ₂₂₋₃₂ ± Or ± Qtz	Двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты-кварцевые монодиориты-тоналиты-плагиограниты) – жильные эндрбиты
10	[4]	± Cpx ²	Незначительная амфиболитизация пород
11	[4]	± Hbl	Незначительная амфиболитизация пород
12	[5]	Hyp ± Cpx + Bt + Pl ₂₈₋₃₀ + Qtz	Двупироксеновые плагиограниты – гиперстеновые лейкоплагиограниты – эндрбиты из жил и жильный материал мигматитов
13	[6]	Hyp + Cpx + Pl ₂₅ + Qtz	Двупироксеновые плагиограниты – жильные эндрбиты
14	[7]	Hyp ₄₆₋₄₈ ± Cpx ₃₃ + Bt ₄₇₋₄₉ ^{3,50-3,76} + Pl ₃₈₋₄₂ ± Qtz	Гиперстеновые – двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты – иногда до плагиогранитов) – эндрбиты мигматитового субкомплекса. Гранулитовый метаморфизм I
15	[7]	± Hbl	Незначительная амфиболитизация пород. Гранулитовый метаморфизм II
16	[7]	± Grt ₆₉ ²⁸	Гранатизация пород. Гранулитовый метаморфизм II
17	[7]	Hyp ₄₅₋₄₆ ± Cpx ₃₀ + Bt ₄₀₋₄₄ ^{3,19-4,41} + Pl ₂₈ + Qtz, ± Hbl	Биотит-гиперстеновые ± двупироксеновые гнейсы по эндрбитам мигматитового субкомплекса. Гранулитовый метаморфизм II
18	[7]	Bt ₄₅₋₄₆ ^{3,30-4,30} + Pl ₂₈ + Qtz	Биотитовые гнейсы по эндрбитам мигматитового субкомплекса (и по средним гранулитам). Гранулитовый метаморфизм II
19	[7]	Hyp ₄₁	Реликты гиперстена в гранат-биотитовых гнейсах по эндрбитам мигматитового субкомплекса
20	[7]	Grt ₆₉ ³⁰⁻³² + Bt ₃₉₋₄₁ ^{5,83-3,95} + Pl ₃₀₋₃₅ + Qtz ± Or	Гранат-биотитовые гнейсы по эндрбитам мигматитового субкомплекса. Гранулитовый метаморфизм II
21	[7]	Grt ₆₄₋₆₅ ³⁴⁻³⁶ + Bt ₃₄₋₃₇ ^{3,35-5,25} + Crd ₂₀₋₂₇ + Pl ₂₈₋₃₀ + Qtz	Кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы. Гранулитовый метаморфизм II
22	[7]	Hyp – FHyp ₃₄ + Cpx ¹ + Pl ₂₄₋₃₇ ± Qtz, ± Or, ± Bt	Двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндрбиты мигматитового субкомплекса. Гранулитовый метаморфизм I (?)
23	[7]	± Cpx ² , ± Hbl, ± Bt	Стадия перекристаллизации минералов в гранулитовой фации или (?). Гранулитовый метаморфизм II
24	[7]	Hyp – FHyp ₃₄ + Cpx ± Hbl ± Bt + Pl ₂₄₋₃₇ ± Qtz	Эндрбиты мигматитового субкомплекса. Неразделенный парагенезис
25	[F]	Hyp ₃₉₋₄₆ ± Cpx + Hbl ₃₈₋₄₉ ^{7,90-7,40} + Bt + Pl ₃₀ ± Qtz	Гиперстеновые (± двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты) нормального-субщелочного ряда – гиперстеновые тоналиты – эндрбиты мигматитового субкомплекса

Примечание. 1-2 – губа Миронова оз. Нотозеро, 3 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, 4 – оз. Керчуг, 5 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, оз. Керчуг, 6-7 – п-ов Мундиннаволок, 8 – губа Поньгома Белого моря, 9-11 – п-ов Поньгомнаволок Белого моря, 12 – оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро, 13 – пос. Вокнаволок, 14-21 – оз. Корoppi – оз. Перюкс – оз. Широного, 22-24 – юго-западный берег оз. Тулос, 25 – оз. Варпайсярви, Центральная Финляндия.

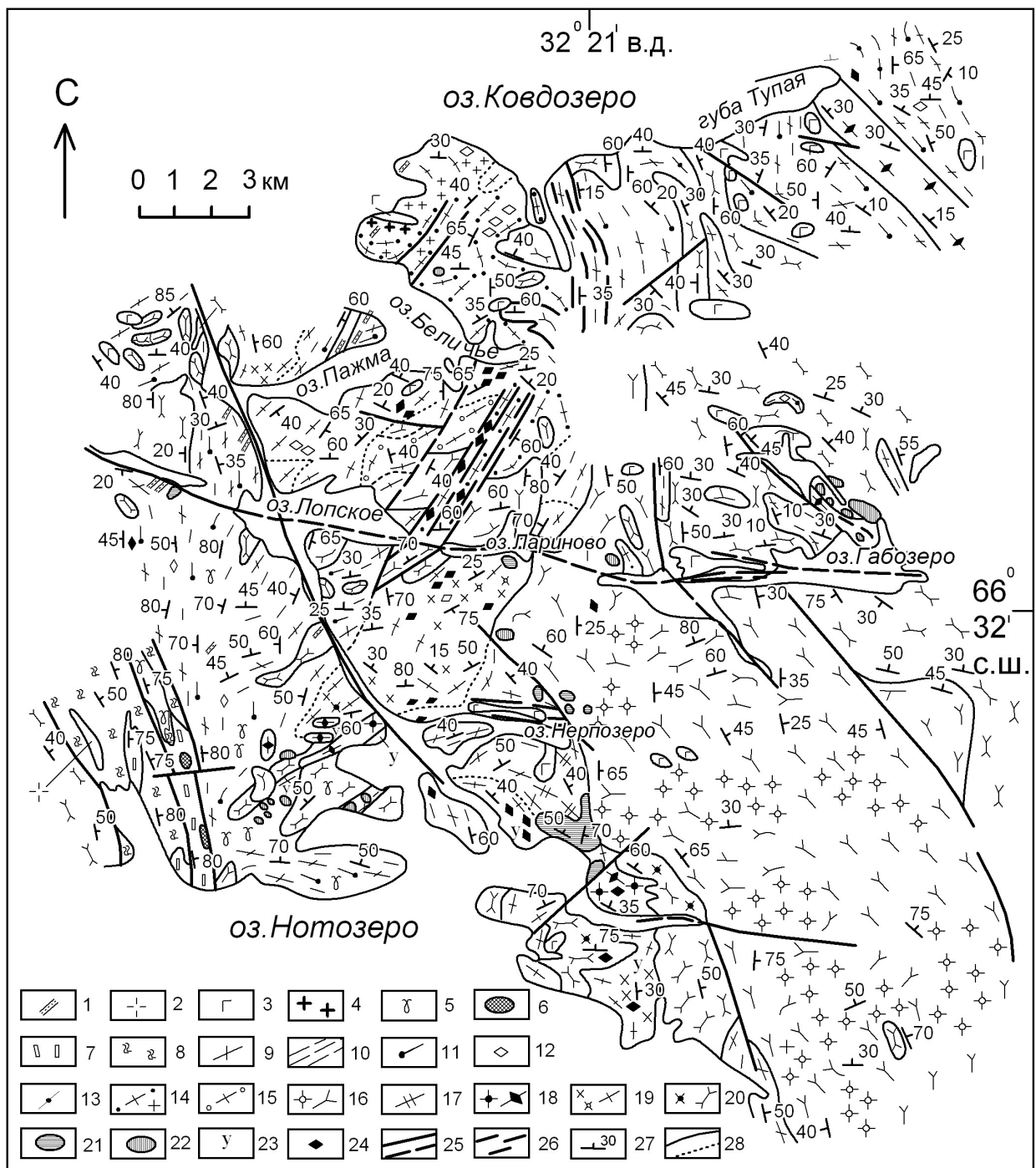


Рис. 2. Схематическая геологическая карта района оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро. Составили: О. И. Володичев, В. А. Коншин, Н. Е. Король (1985)

1 – щелочные порфиристы; 2 – пегматоидные граниты с турмалином; 3 – ультрабазиты и базиты комплекса лерцолитов – габбро-норитов; 4 – гранофировые граниты; 5 – микроклин-плагиоклазовые граниты; 6 – метанеридотиты; 7–8 – супракустальные породы Мошинской структуры: 7 – амфиболиты, амфиболовые сланцы, 8 – биотитовые, амфиболсодержащие и гранат-биотитовые (с кианитом и ставролитом) гнейсы; 9–13 – гнейсы, гранито-гнейсы, амфиболиты беломорского комплекса – диафторированные эндрбиты периода региональной магматизации и гранитизации с ксенолитами субстрата: 9 – микроклиновые биотитовые гнейсы, гранито-гнейсы, 10 – биотитовые гнейсы, 11 – амфиболовые гнейсы, 12 – амфиболиты, 13 – гранат-биотитовые и кианит-гранат-биотитовые гнейсы; 14 – плагимикроклиновые гнейсо-граниты и гнейсы; 15 – «очковые» катаклазиты; 16 – чарнокитоиды Пажминского массива, порфирированные гнейсо-граниты пажминского типа; 17 – аплитовидные гнейсо-граниты; 18 – порфирированные чарнокитоиды гранодиоритового состава, гнейсо-граниты и гнейсы по ним; 19 – эндрбиты, чарнокитоиды, ультраметангенные, гнейсо-граниты по ним; 20 – гиперстеновые (диориты-плагииграниты), гнейсы по ним; 21 – габброиды, габбро-диориты, гиперстеновые диориты, амфиболиты по ним; 22 – габброиды – габбро-анортозиты; 23 – ультрабазиты – основные ультрабазиты: перидотиты, пироксениты, шпинелевые пироксениты, амфиболиты; 24 – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы; 25 – зоны разломов; 26 – зоны милонитизации, интенсивного разгнейсования, рассланцевания; 27 – гнейсовидность; 28 – границы развития пород, резкие и постепенные

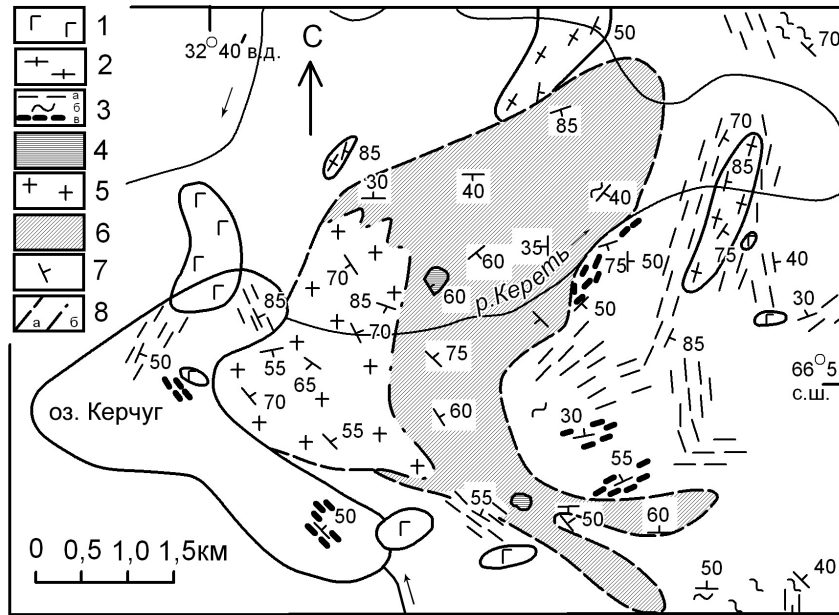


Рис. 3. Схема геологического строения района оз. Керчуг. Составлена Н. Е. Король (1979) с использованием материалов О. И. Володичева и Ю. Й. Сыстры

1 – габбро-нориты; 2 – микроклин-биотитовые гнейсо-граниты; 3 – биотитовые гнейсы (а), амфибол-биотитовые гнейсы (б), амфиболиты (в); 4 – диопсид-плагноклазовые породы; 5 – эндрбиты Керчугского массива; 6 – мигматиты по двупироксеновым и двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам; 7 – гнейсовидность и полосчатость; 8 – границы между: а – полем преимущественного развития гранулитовых образований и породами амфиболитовой фации, б – массивом эндрбитов и полем мигматитов

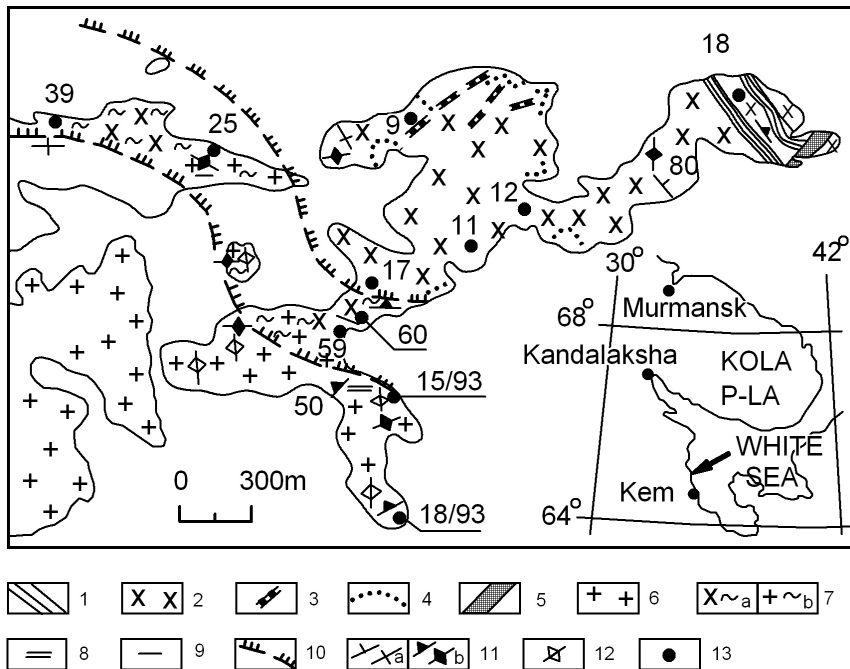


Рис. 4. Геологическая карта массива гиперстеновых диоритов. П-ов Поньгомнаволоок Белого моря. Составили: Т. Ф. Зингер, С. В. Клепенин, В. С. Байкова, И. К. Шулежко, по данным К. А. Шуркина (Zinger et al., 1996)

1 – мафические гиперстен-диопсид-плагноклазовые породы; 2 – гиперстеновые диориты; 3 – мафические дайки; 4 – пегматиты с гиперстеном и аплиты; 5 – мафические дайки 2; 6 – амфиболовые гранодиориты; 7 – дайки габбро-диабазов 3; 8 – дайки плагноклазовых амфиболитов 4; 9 – тектонические контакты (shear-zone); 10 – сланцеватость S₂; 11 – сланцеватость S₄; 12 – первично магматические плоскостные структуры; 13 – точки отбора проб

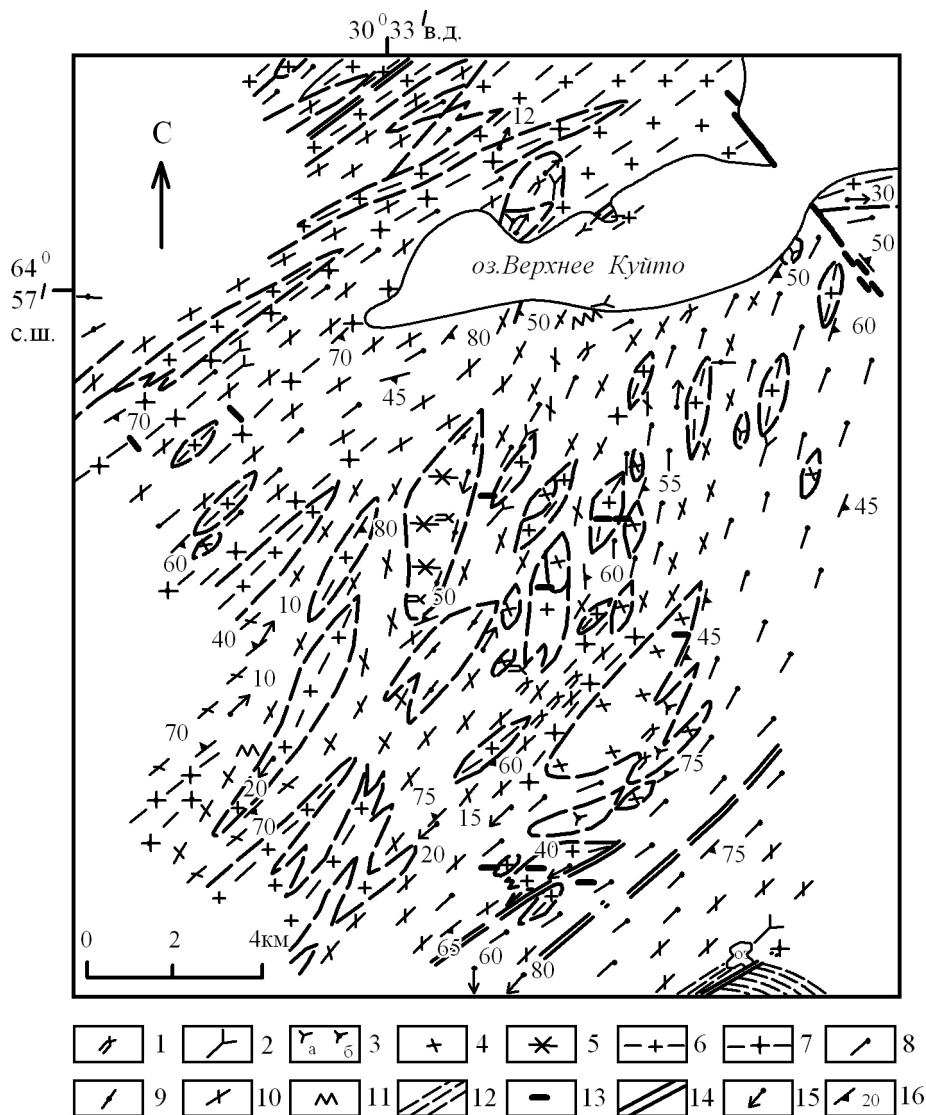


Рис. 5. Схема геологического строения района оз. Верхнее Куйто – оз. Тоухтуриньярви (Коншин, 1987):

1 – двупироксенсодержащие амфиболиты; 2 – амфиболиты; 3 – эндербиты кварцеводиоритового (а) и диоритового (б) составов; 4 – эндербиты тоналитового состава; 5 – эндербиты плагиогранитного состава; 6 – микроклин-плагиоклазовые граниты; 7 – плагиомикроклиновые граниты; 8 – амфибол-биотитовые гнейсы; 9 – гранат-биотитовые гнейсы; 10 – биотитовые гнейсы; 11 – гнейсо-сланцы; 12 – выходы пород гимольской серии; 13 – дайки основных пород; 14 – тектонические нарушения; 15 – направление погружения осей мелких складок; 16 – элементы залегания пород

Кроме того, для ГЭЧ комплексов [1, 2, 4, 7, 8, F] характерны площади мигматизации, где наряду с развитыми жильными типами процессов на участках с большим процентом сохранности субстрата распространены поля мигматитов с варьирующим его содержанием. Эндербитовый материал насыщает гранулитовые супракрупные и магматические образования и формирует участки различных размеров [1, 7, F] в зависимости от степени интенсивности процесса. На промежуточных его стадиях содержание субстрата достигает 50–40%. При усилении процесса формируются поля эндербитов (Е), напоминающие интрузивные тела, с содержанием субстрата до 10% [1, 5, 6, 7].

В ГЭЧ комплексах распространены эндербитовые массивы – Керчугский [2] и поля – район Вокнаволока [6] и чарнокитовые интрузии – Пажминская [1]. Поньгомнаволоцкий [4], Широкий [7], Карицкий [9] интрузивные массивы сложены эндербитами – чарнокитами. В эндербитовых полях чарнокиты могут встречаться либо как равноправный компонент – юго-западный берег оз. Тулос [7], либо как наложенные метасоматические образования – оз. Нерпозеро – оз. Лариново [1]. Жильные разновидности чарнокитоидов развиты только в районе [5]. В виде незначительных поздних проявлений они зафиксированы в Поньгомнаволоцком [4] и Карицком [9] эндербит-чарнокитовых массивах.

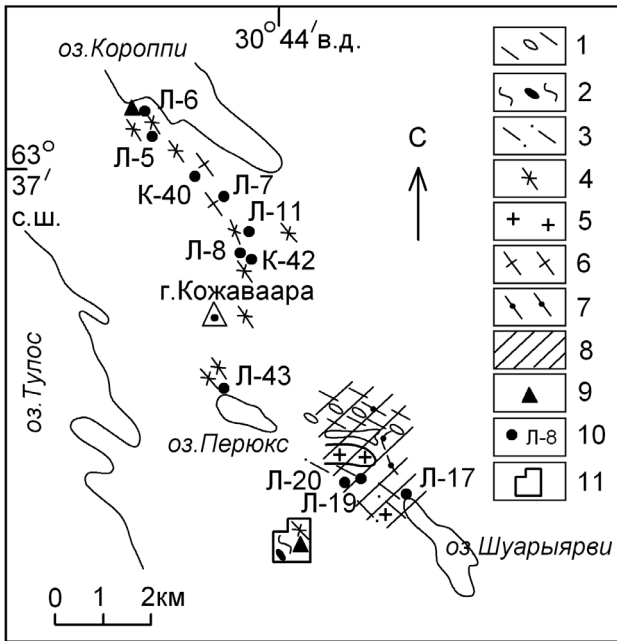


Рис. 6. Схема геологического строения района оз. Короппи – оз. Перюкс – оз. Шуарьярви, восточная часть оз. Тулос (Володичев, 1997):

1 – эндрбиты с включениями супракrustальных пород гранулитовой фации метаморфизма; 2 – гнейсы с включениями амфиболитов; 3 – биотит-гиперстеновые гнейсы – реметаморфизованные в условиях гранулитовой фации эндрбиты; 4 – биотит-амфиболовые гнейсы – эндрбиты, диафторированные в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций; 5 – чарнокиты; 6 – биотитовые гнейсы по гранитам, возможно, чарнокитам; 7 – гранат-биотитовые (± кордиерит, силлиманит) гнейсы; 8 – участки развития гранулитового метаморфизма; 9 – реликты гранулитового метаморфизма в гнейсах – диафторированных породах гранулитового комплекса; 10 – номера обнажений, в которых анализировался химический состав пород; 11 – участок «Придорожный»

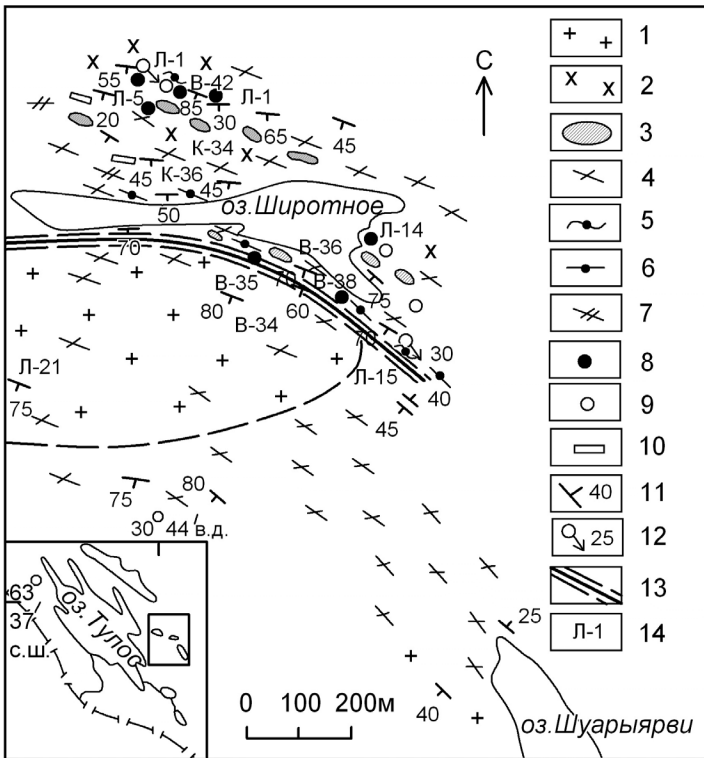


Рис. 7. Схема геологического строения района оз. Широтное – оз. Шуарьярви (Володичев, 1997):

1 – чарнокиты; 2 – эндрбиты; 3 – включения средних и основных гранулитов; 4 – разгнейсованные в условиях гранулитовой фации чарнокиты и эндрбиты; 5 – кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы; 6 – гранат-биотитовые гнейсы; 7 – биотит-амфиболовые гнейсы – диафторированные биотит-гиперстеновые гнейсы и эндрбиты; 8 – гранатизация; 9 – силлиманитизация; 10 – основные метасоматиты; 11 – элементы залегания гнейсовидности; 12 – погружение линейности и шарниров складок; 13 – разломы; 14 – номера обнажений, где изучались составы породообразующих минералов

В ГЭЧ комплексе [1] эндрбиты (Е) образуют поля на территории водоразделов озер Нерпозеро – Лариново и Лопское – Пажма, включая северный берег последнего (рис. 2). Состав эндрбитов первого района тоналит-плагиогранитный, второго – преимущественно плагиогранитный. На северном берегу оз. Пажма наблюдается крупный участок (150×150 м), напоминающий интрузивное тело эндрбитов (Е) с переходом в зоны (ЕZ1) мигматитового облика. Подобные образования, очевидно, можно связывать с инъекционно-магматическим характером мигматизации. В полях развития эндрби-

тов водораздела озер Нерпозеро – Лариново наблюдаются постепенные переходы их в чарнокиты (Ч). Последние образуют пятнистые участки с неясными очертаниями и различных размеров среди эндрбитов (Е). Подобные явления наблюдались и в эндрбитовых полях северного берега оз. Пажма и юго-западнее пролива Тюлле. Чарнокитизация, очевидно, имеет метасоматическую природу. При этом образуются гиперстеновые граниты, массивные разности которых подобны по внешнему облику чарнокитам Пажминского массива, имеющим признаки интрузивного происхождения.

В районе [2] формирование Керчугского массива (Король, 1979) эндербитов (рис. 3), сложенного преимущественно Нур тоналитами, но с вариациями от диорит-кварцеводиоритового до плагиогранитного состава, содержащими ксенолиты основных и, реже, средних гранулитов, представляющих вмещающие породы, сопровождалось интенсивной мигматизацией последних. По сути, и восточная контактовая часть массива, и площади распространения пород гранулитовой фации представляют собой зону насыщения мигматитовым материалом (рис. 3). При этом наблюдается различная степень мигматизации и большие вариации жильного материала от ветвистых и сетчатых мигматитов до агматитов и небулитов. Жильный материал представлен эндербитами (EZI), аналогичными таковым (E) в массиве. В зонах мигматизации преобладает субстрат, сложенный преимущественно двупироксен-амфиболовыми кристаллическими сланцами и амфиболитами гранулитовой фации. Образование Керчугского массива связано с периодом региональной мигматизации и гранитизации района оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро (Король, 1979).

В ГЭЧ комплексе [4] фиксируется как мигматизация (губа Поньгома Белого моря) жильным эндербитовым (EZI) материалом субстрата (основные и средние гранулиты, основные ультрабазиты), так и формирование на п-ове Поньгомнаволоков одноименного интрузивного массива эндербитов-чарнокитоидов (E-Ч) с ксенолитами и полосами супракрустальных гранулитов основного состава. Впоследствии вмещающие породы сильно диафторированы одновременно с гиперстеновыми гранитоидами массива. В последних наблюдаются и жильные разновидности (EZI), аналогичные по составу породам (E) массива. Ранее Поньгомнаволоковская интрузия рассматривалась Т. Ф. Зингер (Zinger et al., 1996) как массив гиперстеновых диоритов, что отображено на рис. 4.

На северо-западном берегу оз. Тикшеозеро [5] эндербиты кварцеводиорит-тоналит-плагиогранитного состава встречаются в виде линзовидных сохранившихся реликтовых участков среди однородного поля «серых гнейсов» (Коншин, 1994). Последние представляют собой биотит-амфиболовые и амфибол-биотитовые, биотитовые гнейсы по эндербитам. И в этом районе [5] мы наблюдаем как однородное поле эндербитов (E) с ксенолитами основных двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев, так и проявление сконцентрированных их участков в виде отдельных и сетки жил (EZI), мигматизирующих, пронизывающих основные гранулиты. Поздние жилы чарнокитов (Ч) пересекают эндербиты и гранулиты. Эндербиты (EZI) мигматизируют и породы Таваярвинского массива габброидов гиперстеновых диоритов-кварцевых диоритов-тоналитов. В. А. Коншин (1994) предполагает существование на западном берегу оз. Пяозеро полностью диафторированных интрузивных тел эндербитов.

В ГЭЧ комплексе [6] пос. Вокнаволоков (рис. 5) эндербиты (E) сохраняются в виде реликтовых линзовидных обособлений, размерами от километра до не-

скольких сантиметров в длину, среди образованных по ним амфибол-биотитовых, биотит-амфиболовых, реже гранат-амфибол-биотитовых, биотитовых, гранат-биотитовых гнейсов. Все эти породы формируют большое поле (массив?) с ксенолитами и участками основных гранулитов, реже, основных ультрабазитов, также частично или полностью диафторированных. Эндербиты (E) подразделяются на две группы. Первая – диорит-кварцеводиорит-тоналит-плагиогранитного, вторая (юпенгиваарский тип) – кварцеводиорит – преимущественно тоналит-плагиогранитного составов. Они отличаются по химизму и характеру диафторических преобразований (Король, 2003). В. А. Коншин (1987) отмечает, что иногда гиперстеновые плагиограниты второй группы обнаруживают секущее положение относительно эндербитов первой – кварцеводиорит-тоналитового ряда. Возможно, существовали две последовательные стадии формирования эндербитов (E). Жильные их разновидности (EZI) преимущественно плагиогранитного ряда, развитые в этом районе несколько менее интенсивно, мигматизируют, пересекают, пронизывают основные гранулиты и ультрабазиты, и даже массивные разновидности поля эндербитов.

Эндербиты (EZI) мигматизируют, насыщают вмещающие супракрустальные гранулиты основного и среднего состава севернее, частично восточнее оз. Широного [7] (рис. 7) и представлены разновидностями диоритового-кварцеводиоритового, реже до плагиогранитного составов. Породы подвергаются перекристаллизации при гранулитовом метаморфизме II (Володичев, 1997). На территории [7] оз. Корoppi – оз. Перюкс – к юго-востоку от оз. Широного – до северо-западного окончания оз. Шуарыярви (рис. 6, 7) эндербиты (E) преимущественно тоналит-плагиогранитного, очень редко кварцеводиоритового состава, образуют однородные поля с очень редкими небольшими ксенолитами основных и средних гранулитов. К юго-востоку от оз. Широного (южнее интрузии чарнокитоидов) и в направлении северо-западного окончания оз. Шуарыярви эндербиты реметаморфизованы в условиях гранулитового метаморфизма II и превращены в гиперстен-биотитовые и биотит-гиперстеновые гнейсы (Володичев, 1997). Однако преимущественно распространены диафторированные их (E) разновидности – апоэндербиты и превращенные в амфибол-биотитовые биотитовые, эпидот-биотитовые гнейсы.

На восточном побережье Онежского озера [9] эндербиты (E) кварцеводиорит-тоналит-плагиогранитного состава – чарнокитоиды (Ч): чарноэндербиты (Нур гранодиориты) – чарнокиты (Нур ± Сrx низкощелочные граниты – граниты – лейкограниты) – щелочнополевошпатовые чарнокиты (Нур ± Сrx субщелочные двуполевошпатовые граниты–лейкограниты) слагают интрузивный Карицкий массив. В последнем содержатся ксенолиты вмещающих пород, различных размеров и с четкими контактами, представленные основными гранулитами, основными ультра-

базитами – базитами, гиперстеновыми диоритами. В массиве отсутствуют проявления эндрбитовой (EZI) мигматизации. Из жильных разновидностей наблюдались лишь поздние чарнокитоиды – аплитовидные-лейкоократовые и пегматоидные (Костин, 1989). Все породы интрузии после ее формирования в РТ-условиях гранулитовой фации претерпели наложенную перекристаллизацию в изофациальных условиях и далее диафорез при понижении степени метаморфизма.

Петрографические особенности и химизм эндрбитов

Эндрбиты (EZI) представляют собой (табл. 2) редко светлые, чаще серые [1, 4, 5], преимущественно темно-серые [1, 2, 4–6] и темные [7 – I гранулитовый метаморфизм], мелко- [1, 3, 4, 7–I, F?] – средне- [1, 2, 4, 5, 7–I, F] – крупнозернистые [1, 2, 4, 5, 7–I, F] и пегматоидные [1, 7–I] разновидности пород. Данные образования соответствуют (табл. 3) гиперстеновым – дупироксеновым: диоритам [3, 4, 7, F] – лейкодиоритам [1] – кварцевым диоритам [1–4, 7, F] – тоналитам [1, 2, 4, 7, F] – плагиогранитам [1, 2, 4–7], реже – лейкоплагиогранитам [5], а также субщелочным (диоритам [F] – лейкодиоритам [1] – кварцевым диоритам [F] – пегматоидным кварцевым лейкодиоритам [1]) – кварцевым монцодиоритам [4]. Большинство эндрбитов имеют (табл. 2) аллотриоморфнозернистые [1–4, 6, 7, F], иногда гипидиоморфнозернистые [5] и переходные от вторых к первым [3] структуры, а также бластогипидиоморфнозернистые [7] – с субидиоморфными кристаллами плагиоклаза; текстуры – обычно массивные, реже гнейсовидные. В типичные Нур + Срх + Pl + Qtz парагенезисы этих пород (табл. 3) иногда входит красновато-коричневый [5] и ярко-коричневый [7] биотит. В эндрбитах (жильная часть мигматитов) губы Поньгомы Белого моря [4] и юго-западного берега оз. Тулос [7], наряду с гиперстеном, встречается феррогиперстен. В EZI района [7] также может присутствовать ортоклаз.

О. И. Володичевым (1997) в районе оз. Широного [7] выделен и детально описан реметаморфизм (гранулитовый метаморфизм II) эндрбитов (EZI) диоритового-кварцеводиоритового, реже до плагиогранитного составов. С наложенным процессом реметаморфизма О. И. Володичев связывает перекристаллизацию первичных минералов, особенно пироксенов с укрупнением размеров зерен и формированием пойкилопорфиобластических их форм (рис. 8). При гранулитовом метаморфизме II образуются новые – роговая обманка, биотит, гранат. В EZI, прежде всего, наблюдаются незначительные – амфиболизация, гранатизация пород (табл. 3, № 15, 16). Преобразованные эндрбиты представлены достаточно широко биотит-гиперстеновыми ± дупироксеновыми гнейсами с парагенезисом, соответствующим табл. 3 (№ 17). В породах, по сравнению

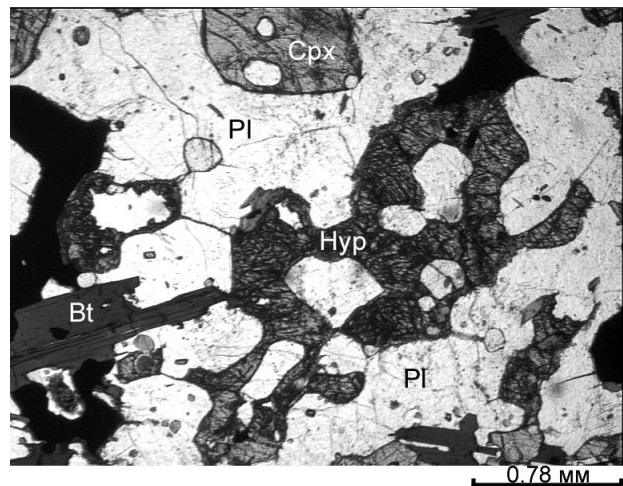


Рис. 8. Фрагмент формирования (средняя стадия) пойкилопорфиобластического зерна ромбического пироксена в эндрбите (EZI) при гранулитовом метаморфизме II
Шлиф К-36, без анализатора. Участок оз. Широного [7]

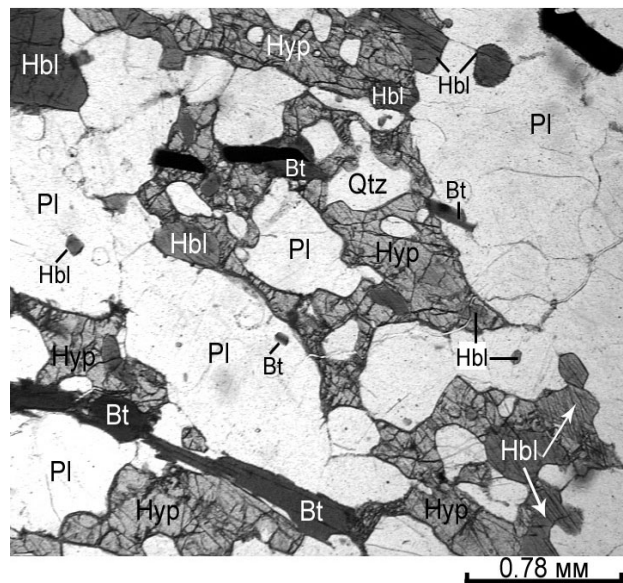


Рис. 9. Биотит-дупироксеновые гнейсы, сформировавшиеся по эндрбитам (EZI) при гранулитовом метаморфизме II

Наряду с пойкилопорфиобластическими зернами ромбического пироксена в реметаморфизованных породах фиксируются по две формы выделения Hbl и Bt. Hbl₁ и Bt₁ – мелкие, идиоморфные и близкие к ним включения в Нур и Pl. Hbl₂ и Bt₂ – зерна неправильной формы и (или) вытянутые, развивающиеся по пироксену или одновременно с ним. Шлиф L-1-3, без анализатора. Район оз. Широного [7]

с EZI, появляется буровато-зеленая роговая обманка, новообразованный более титанистый биотит; пироксены образуют скелетную пойкилопорфиобластическую форму зерен (рис. 9). Еще одной разновидностью реметаморфизованных эндрбитов являются биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы (табл. 3, № 18 и 20). В последних иногда сохраняются аналогичные описанным выше зерна гиперстена (рис. 10, табл. 3, № 19), плагиоклаз часто имеет

антипертитовое строение, могут присутствовать единичные зерна ортоклаза. Гранат образует как чистые округлые выделения, так и пойкилобласты с включениями кварца. Ярко-коричневый биотит, подчеркивающий гнейсовую текстуру, может быть либо равновесен с гранатом (Grt-Bt гнейсы), либо более ранним по отношению к нему (Bt гнейсы). Среднезернистые кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы (рис. 11, табл. 3, № 21) имеют полосатый облик, в виде чередования тонких Grt-Bt-Crd и более широких Qtz-Pl полосок. В парагенезисах этих пород, в отличие от предыдущих, содержится кордиерит и несколько более магнизиальный и менее железистый гранат, ярко-коричневый биотит с широкими вариациями титанности и более кислый плагиоклаз (табл. 3, № 21).

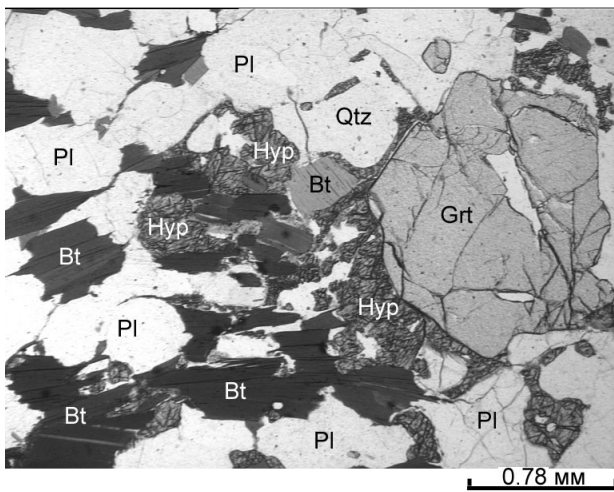


Рис. 10. Реликты ромбического пироксена в гранат-биотитовых гнейсах – реметаморфизованных при гранулитовом метаморфизме II эндербитах (EZI)

Шлиф К-33-1, без анализатора. Район оз. Широтного [7]

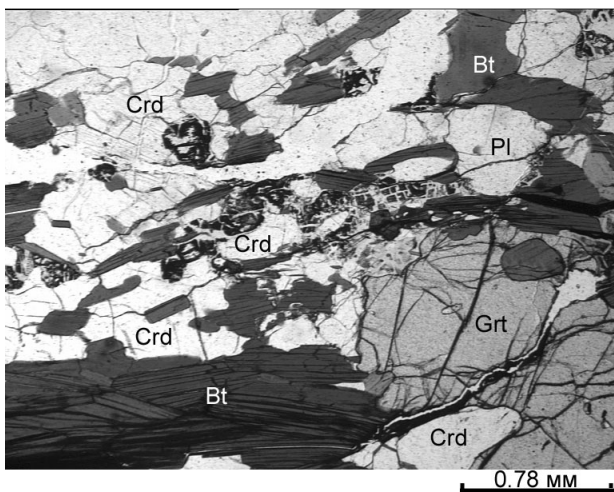


Рис. 11. Кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы (по EZI) – гранулитовый метаморфизм II

Шлиф L-15, без анализатора. Район оз. Широтного [7]

В районе юго-западного берега оз. Тулос [7] автором статьи (по шлифам Л. П. Свириденко и В. Н. Кожевникова) выделяются ранний эндербитовый парагенезис и последующая перекристаллизация (табл. 3, № 22 и 23) в изофациальных условиях с новообразованными – Cpx^2 , ярко-коричневым биотитом, а также развитой по пироксенам (Hup – FHup, Cpx^1) буровато-зеленой роговой обманки. Неразделенный парагенезис (табл. 3, № 24) может включать как две стадии гранулитового метаморфизма, так и фиксировать заключительную равновесную ассоциацию.

Последняя устанавливается и по шлифам эндербитов Варпайсьярвинского блока [F], любезно предоставленных О. И. Володичевым. В породах наблюдаются соотношения – Hup, Cpx ↔ Bt, Hup, Cpx ↔ Hbl, Bt ↔ Hbl, представляющие собой взаимные прорастания, пересечения, развитие кайм, а также реликтов одного минерала в другом и, наоборот, названные автором статьи «балансирующим равновесием». Такие явления обычно фиксируют приближающиеся к равновесным соотношения и собственно парагенетические ассоциации. В работе J. Paavola (1984) приводятся безамфиболовые разновидности основных гранулитов. Скорее всего, что ранние парагенезисы эндербитов также не содержали Hbl и, возможно, в дальнейшем испытали перекристаллизацию (рис. 12) в изофациальных условиях с формированием заключительной парагенетической ассоциации Hup + Cpx + Hbl + Bt + Pl ± Qtz (табл. 3, № 25). Следует отметить, что в жильных эндербитах Поньгомнаволоцкого массива [4] не столь интенсивно, как в [7], также наблюдается наложенная перекристаллизация (рис. 13) в изофациальных условиях ($\text{Cpx}^1 \rightarrow \text{Cpx}^2$, Hup → Cpx^2) с незначительной последующей амфибололизацией (Hbl) пород (табл. 3, № 10, 11).

Таким образом, как было описано выше, эндербиты (EZI) мигматитовых субкомплексов и (или) жильные часто имеют не только схожие или отличающиеся: состав, внешний облик, зернистость, структуры и текстуры, ранние парагенезисы; но и в некоторых ГЭЧ комплексах [4, 7, F] могут быть подвержены процессам поздней перекристаллизации. Они осуществляются в изофациальных условиях с формированием: либо новых минералов (Cpx^2 , Hbl, Bt, Grt) [4, 7], либо преобразованных эндербитов с равновесными Hup + Cpx + Hbl + Bt + Pl + Qtz парагенезисами [7, F], либо Bt–Hup–Cpx, Grt–Bt, Crd–Grt–Bt гнейсов при гранулитовом метаморфизме II. Процессы перекристаллизации EZI, возможно, имеют место и в других районах развития эндербитов, но это требует дальнейшего изучения.

Эндербиты (E), образующие поля [1, 5, 6, 7] и интрузивные массивы – Керчугский [2], Поньгомнаволоцкий [4], Карицкий [9] представлены (табл. 2) чаще всего темно-серыми [1, 2, 4–7, 9], реже серыми [4, 5, 9]; мелко [4, 5, реже 9] – среднезернистыми [1, 2, 6, 7, 9, реже 4], иногда до крупнозернистых [9] породами. Они соответствуют (табл. 4) гиперстеновым ± двупироксеновым: диоритам [4, 6] – кварцевым диоритам

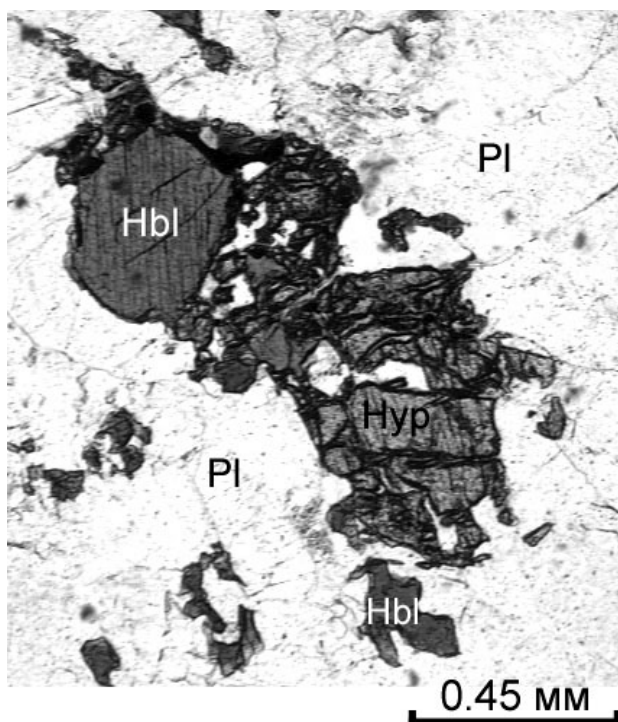


Рис. 12. Формирование коричневатозеленого амфибола по ромбическому пироксену при поздней изофациальной перекристаллизации в эндербитах (EZI)

Шлиф КР-11, без анализатора, оз. Варпайсьярви [F]

[4–6, 7–I гранулитовый метаморфизм, 9] – тоналитам [1, 2, 4–6, 7–I, 9] – плагиогранитам [1, 2, 4–6, 7–I, 9]; встречаются и $\text{Hур} \pm \text{Срх}$ субщелочные: диориты [2] – лейкодиориты [2] – кварцевые (диориты [2, 4] – лейкодиориты [2]). Структуры эндербитов чаще всего (табл. 2) аллотриоморфнозернистые [1, 2, 4–7, 9], однако в них иногда встречаются участки гипидиоморфнозернистых и наблюдаются переходы от последних к первым [4, 6, 9]. Гипидиоморфнозернистые структуры характерны и для эндербитов оз. Тикшеозеро [5]. Текстуры всех пород (Е) преимущественно массивные, редко – переходящие к гнейсовидным.

Для эндербитов Керчугского [2], Поньгомнаволоцкого [4] и Карицкого [9] массивов характерны $\text{Hур} + \text{Срх} + \text{Pl} + \text{Qtz}$ ранние парагенезисы (табл. 4, № 2, 5, 13). Ортоклаз, который встречается в Е тоналит-плагиогранитного состава [4], возможно, образуется немного позже гиперстена и плагиоклаза, также на магматической стадии, но при формировании чарнокитоидов массива. Ярко-коричневый [1], красновато-коричневый [5] и темно-красновато-коричневый [6] биотит входит в состав $\text{Hур} + \text{Срх} + \text{Pl} + \text{Qtz}$ парагенезисов (табл. 4, № 1, 8, 9) эндербитов, образующих поля [1, 5, 6]. В районе оз. Нерпозеро – оз. Лариново [1] в парагенетических ассоциациях может присутствовать феррогиперстен (табл. 4, № 1).

Редкая и очень незначительная гранулитовая амфиболитизация в виде тонких кайм или участков буровато-зеленой роговой обманки, развивающейся по ромбическому и моноклинному пироксенам, фикси-

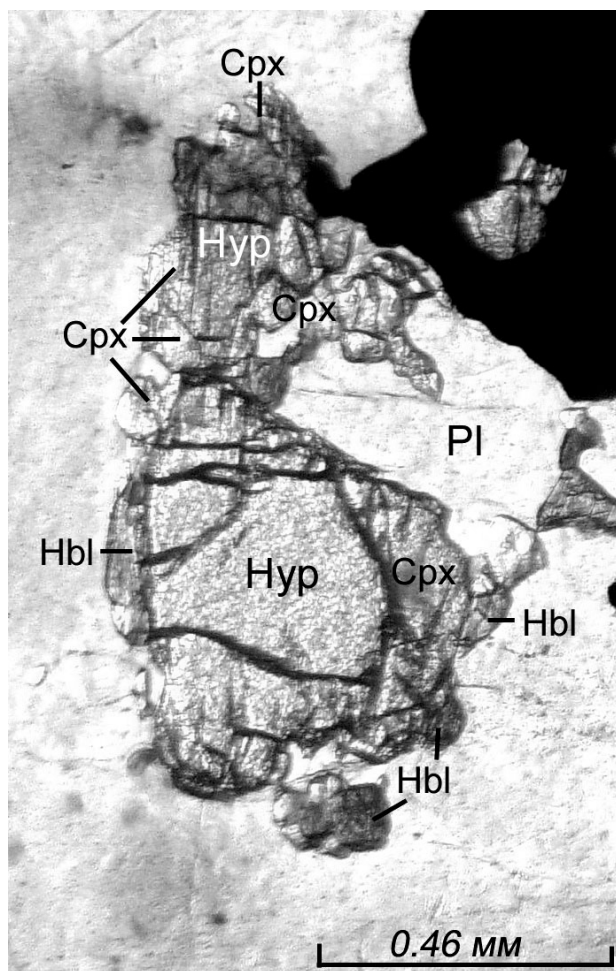


Рис. 13. Минеральные преобразования: $\text{Hур} \rightarrow \text{Срх}^2 \rightarrow \text{Hbl}$, $\text{Hур} \rightarrow \text{Hbl}$, наблюдающиеся при поздней изофациальной перекристаллизации в жильных эндербитах (EZI) Поньгомнаволоцкого массива

Шлиф Ts-2-2, без анализатора. Полуостров Поньгомнаволоки Белого моря [4]

руется в полях эндербитов [1, 6]. В районе Вокнаволока [6] возможно частичное развитие биотита и на этой стадии (рис. 14, табл. 4).

В Поньгомнаволоцком массиве [4], наряду с ранними равновесными соотношениями $\text{Hур} + \text{Срх}^1$, наблюдаются каймы Срх^2 по гиперстену и более крупные зерна моноклинного пироксена с реликтами ромбического. Таким образом, осуществляется незначительная поздняя изофациальная перекристаллизация эндербитов, в ходе которой в дальнейшем фиксируется развитие буровато-зеленой роговой обманки по гиперстену и обеим генерациям моноклинного пироксена (табл. 4, № 5 → 6 → 7). Петрографические наблюдения показали, что с аналогичным процессом связано и формирование нового парагенезиса (табл. 4, № 13 → 14) ярко-коричневого биотита с ромбическим и моноклинным пироксенами в эндербитах Карицкого массива [9]. В парагенетических ассоциациях двухпироксеновых диоритов из ксенолитов этой интрузии при поздней перекристаллизации образуется

Таблица 4

Парагенезисы эндербитов (Е), образующих поля и интрузивные массивы, ГЭЧ комплексов Карелии [1–2, 4–7, 9]

№ п.п.	Районы	Парагенезисы	Породы
1	[1]	Hyp ₄₅₋₅₀ -FHyp ₅₁₋₅₇ ± Cpx ± Bt ₄₇₋₄₈ ^{4.45-4.97} + Pl ₂₄₋₃₃ + Qtz	Гиперстеновые ± двупироксеновые (тоналиты – плагиограниты) – эндербиты, образующие «поля»
2	[2]	Hyp _{30,37-41} ± Cpx + Pl ₂₄₋₃₀ + Qtz	Гиперстеновые ± двупироксеновые (преимущественно – тоналиты-плагиограниты, в меньшей степени субщелочные – лейкодиориты-кварцевые диориты-кварцевые лейкодиориты) – эндербиты Керчугского массива
3	[1–2]	Hyp _{30,37-50} ± FHyp ₅₁₋₅₇ ± Cpx ± Bt ₄₇₋₄₈ ^{4.45-4.97} + Pl ₂₄₋₃₃ + Qtz	Гиперстеновые ± двупироксеновые (преимущественно – тоналиты-плагиограниты, в меньшей степени субщелочные – лейкодиориты-кварцевые диориты-кварцевые лейкодиориты) – эндербиты, образующие поля [1] и массив [2]
4	[1–2]	± Hbl	Редкая и очень незначительная амфиболизация пород
5	[4]	Hyp ₄₃ ± Cpx ¹ + Pl ₂₃₋₃₅ + Qtz, ± Or	Гиперстеновые ± двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты-субщелочные кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндербиты интрузивного массива
6	[4]	Cpx ²	Незначительная амфиболизация пород
7	[4]	± Hbl	Незначительная амфиболизация пород
8	[5]	Hyp + Cpx + Bt + Pl ₂₅₋₃₅ + Qtz	Двупироксеновые (кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндербиты, образующие поля
9	[6]	Hyp ₃₉₋₄₀ ± Cpx ₂₇₋₂₈ + Pl ₃₂₋₄₀ + Qtz, (+ Bt ₄₀ ^{3.82})*	Гиперстеновые ± двупироксеновые (диориты-кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндербиты, образующие поля
10	[6]	± Hbl	Незначительная амфиболизация пород
11	[7]	Hyp ± Cpx + Pl ₃₂₋₃₄ + Qtz, ± Bt	Гиперстеновые ± двупироксеновые (тоналиты-плагиограниты, редко кварцевые диориты) – эндербиты, образующие поля (массивы). Гранулитовый метаморфизм I
12	[7]	Hyp ± Cpx + Bt + Pl ₃₂₋₃₃ + Qtz ± Or, ± Hbl	Гиперстен-биотитовые и биотит-гиперстеновые гнейсы тоналитового, реже кварцеводиоритового состава по эндербитам, формирующим массивы. Гранулитовый метаморфизм II
13	[9]	Hyp ± Cpx + Pl ₂₄₋₃₅ + Qtz	Гиперстеновые ± двупироксеновые (кварцевые диориты-тоналиты-плагиограниты) – эндербиты Карицкого массива. Реликтовый ранний парагенезис
14	[9]	Hyp ± Cpx + Bt ₄₄₋₅₀ ^{3.92-5.04} + Pl ₂₀₋₃₅ + Qtz	Перекристаллизация в гранулитовой фации эндербитов Карицкого массива. Наиболее распространенный парагенезис
15	[9]	Hyp ± Cpx + Pl ₂₈₋₄₇ + Qtz	Гиперстеновые ± двупироксеновые (диориты-субщелочные диориты) из ксенолитов в эндербитах – чарнокитоидах Карицкого массива. Ранний парагенезис
16	[9]	Hyp ± Cpx ± Hbl + Bt + Pl ₂₈₋₄₇ + Qtz	Перекристаллизация в гранулитовой фации предыдущих образований, иногда с укрупнением зерен минералов

Примечание. 1 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро («поля» Е в районе оз. Нерпозеро – оз. Лариново и оз. Лопское – оз. Пажма), 2 – оз. Керчуг, одноименный массив, 3–4 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг, 5–7 – п-ов Поньгомнаволок – одноименный массив, 8 – оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро, 9–10 – пос. Вокнаволок, * – развитие биотита возможно и на стадии амфиболизации пород в гранулитовой фации, 11–12 – оз. Короппи – оз. Перюкс – оз. Широтное, 13–16 – восточное побережье Онежского озера, Карицкий массив.

не только Bt, но и Hbl (табл. 4, № 15 → 16). При этом возможно укрупнение зерен минералов. В новообразованных парагенезисах Карицкого массива между Hyp, Cpx и Bt, Hyp, Cpx и Hbl фиксируются соотношения «балансирующего равновесия», описанного ранее для EZI Варпайсъярвинского блока.

Ранний парагенезис апоэндербитов и гнейсов (табл. 4, № 11) оз. Короппи – оз. Перюкс – оз. Широтное [7] составлен по гранулитовым минералам, сохранившимся среди последующих наложенных процессов реметаморфизма и диафореза. Вероятно, от первых гипидиоморфных структур, иногда даже в измененных эндербитах (Е), остаются реликты крупных зерен частично идиоморфного плагиоклаза. Текстуры пород, очевидно, первично были массивными, для апоэндербитов характерны гломеробласты по пироксенам и буровато-зеленой роговой обманке, сложенные диафорическими амфиболами, биотитом, эпидотом. Наиболее сохранившиеся (оз. Широтное) реметаморфизованные эндербиты (гранулитовый метаморфизм II) представлены достаточно однообразными гиперстен-биотитовыми и биотит-гиперстеновыми гнейсами с лепидогранобластовыми и гранобластовыми структурами и с элементами пойкилопорфириблестической – для зерен гиперстенов. Парагенезисы по-

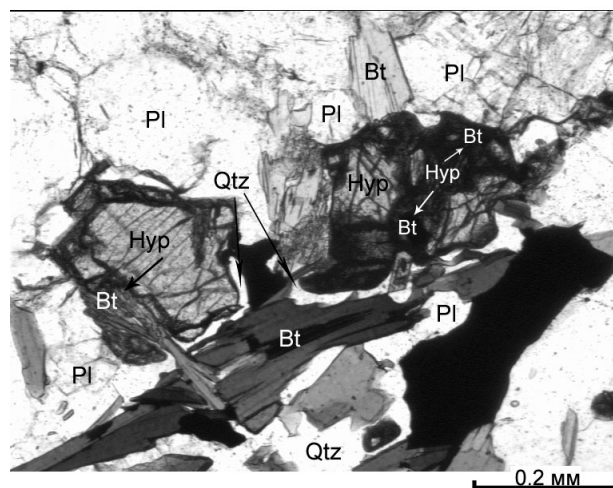


Рис. 14. Развитие темно-красновато-коричневого биотита по гиперстену в эндербитах (Е)

Процесс биотитизации возможен на стадии одновременной незначительной гранулитовой амфиболизации пород. Шлиф К-2326, без анализатора, пос. Вокнаволок [6]

род отражены в табл. 4 (№ 12). В них появляется равновесная с пироксеном и биотитом буровато-зеленая роговая обманка. Среди плагиоклазов обнаруживаются

Таблица 5

Химические анализы минералов из эндрбитов периода региональной мигматизации и гранитизации

№	Минерал	Окислы Образцы	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 ⁺	ппп	Сумма
1	Нур	V-2068-7	50,20	0,21	1,70	0,24	26,60	0,55	18,31	0,42	0,07	0,02	–	1,45	99,77
2	Нур	V-2068-8a	50,41	0,21	1,60	0,31	25,82	0,52	19,10	0,50	0,09	0,01	–	1,27	99,84
3	Нур	V-2006	48,92	0,20	2,88	1,69	24,40	–	18,81	1,24	0,07	0,01	–	1,91	100,13
4	Нур	V-1417-2	50,32	0,20	1,96	2,36	22,63	0,76	21,00	0,55	0,02	0,02	–	–	99,82
5	Нур	2381	51,78	0,04	1,50	0,90	23,40	0,45	21,60	0,46	–	–	–	–	100,13
6	Нур	176v	50,22	0,08	2,35	0,50	28,75	0,40	17,34	0,34	–	–	–	–	99,98
7	FNур	218b	49,86	0,06	1,22	0,76	31,18	0,21	16,18	0,11	–	–	–	–	99,58
8	Нур	138zh	50,20	0,07	2,45	1,90	24,21	0,40	19,13	0,46	–	–	0,95	–	99,77
9	Нур	89k	50,16	0,07	1,81	0,68	28,91	0,35	17,44	0,11	–	–	0,45	–	99,98
10	Нур	K-36	49,98	0,15	0,97	2,52	23,95	0,83	17,10	0,80	0,08	0,07	–	3,11	96,56
11	Срх	K-36	52,04	0,22	0,83	2,39	9,10	0,30	12,70	20,70	0,49	0,04	–	1,01	99,82
12	Bt	K-36	36,48	3,76	15,94	4,08	15,33	0,09	11,25	0,86	0,11	9,22	–	2,27	99,39
13	Нур	L-3-6	48,28	0,05	4,00	1,66	25,50	0,37	16,55	0,86	0,06	0,07	–	2,28	99,68
14	Bt	L-3-6	34,75	3,50	18,71	1,54	16,16	0,04	11,34	0,35	0,10	9,12	–	4,10	99,71
15	Grt	L-3-6	37,80	0,03	20,96	1,56	26,94	1,23	7,28	3,50	0,07	0,04	–	–	99,41
16	Нур	L-1-3	50,78	0,14	1,95	0,06	25,66	0,60	17,35	1,08	0,05	0,13	–	1,62	99,42
17	Срх	L-1-3	51,52	0,22	1,43	0,69	9,82	0,26	13,33	20,63	0,42	0,05	–	1,09	99,46
18	Bt	L-1-3	36,86	4,25	14,40	1,63	15,45	0,06	13,86	0,36	0,06	9,97	–	2,32	99,22
19	Bt	L-1-8	34,90	4,40	18,18	2,72	14,90	0,03	11,25	0,28	0,56	9,57	–	2,70	99,49
20	Нур	L-14-4	47,92	0,19	3,29	1,77	23,13	0,81	19,60	0,56	0,05	0,09	–	2,07	99,48
21	Bt	L-14-4	35,15	3,83	16,50	1,71	14,37	0,04	14,08	1,62	0,11	9,26	–	2,71	99,38
22	Grt	L-14-4	40,10	0,10	20,08	4,00	23,94	1,11	6,90	2,80	0,22	0,43	–	–	99,68
23	Bt	V-36-3	36,16	3,95	17,26	4,50	11,97	0,06	13,11	0,49	0,06	9,03	–	3,07	99,66
24	Grt	V-36-3	39,68	0,10	20,34	4,06	25,14	0,66	7,30	1,96	0,18	0,22	–	–	99,64
25	Bt	L-1-10	35,00	3,35	19,60	2,75	11,49	0,02	13,61	0,35	0,10	9,12	–	4,53	99,92
26	Grt	L-1-10	37,95	0,02	20,90	1,56	26,98	0,82	8,70	1,78	0,06	0,05	–	0,61	99,43
27	Bt	L-15	35,96	4,40	18,32	1,23	12,57	0,02	13,10	0,56	0,06	10,00	–	3,44	99,66
28	Grt	L-15	37,58	0,04	21,20	1,07	26,94	0,51	9,00	1,43	0,06	0,03	–	1,52	99,38
29	Crd	L-15	48,67	0,02	31,05	0,15	7,00	0,05	10,86	0,31	0,13	0,01	–	1,39	99,64
30	FNур	SV-2409	49,13	0,50	0,91	0,77	30,20	1,60	14,71	0,70	0,05	–	–	1,56	100,13
31	Нур	VK-156	50,70	0,37	2,10	4,16	22,65	0,76	18,20	0,70	0,03	0,03	–	–	99,70
32	Bt	VAK-156	35,86	4,45	16,00	4,17	15,68	0,10	11,84	0,28	0,09	8,77	–	2,56	99,80
33	FNур	V-2152-5	49,02	0,12	1,73	1,27	28,91	0,58	16,03	0,91	–	0,01	–	1,25	99,83
34	Нур	V-2197	51,00	0,25	2,00	1,35	22,63	0,53	20,20	0,35	0,03	0,03	–	1,27	99,64
35	Нур	K-3	51,44	0,18	2,50	0,43	23,18	0,67	20,17	1,24	0,02	0,02	–	0,05	99,90
36	Нур	K-4	51,14	0,08	1,04	1,56	23,59	0,64	20,32	0,18	0,04	0,03	–	1,64	100,26
37	Нур	V-2198	50,16	0,22	2,00	1,32	22,45	0,50	20,50	0,12	0,03	0,03	–	2,43	99,76
38	Нур	55zh	50,76	0,05	2,41	1,44	24,44	0,50	19,18	0,35	–	–	–	–	99,13
39	Нур	VK-927	51,21	0,24	1,45	1,26	22,91	0,21	21,20	0,84	0,02	0,02	–	–	99,36
40	Срх	VK-927	51,59	0,24	1,95	1,45	8,23	0,23	13,98	20,99	0,53	0,02	–	0,92	100,13
41	Bt	VK-927	37,08	3,82	15,71	3,85	13,13	0,09	14,15	0,28	0,06	9,18	–	2,52	99,87
42	Нур	VK-765	51,58	0,07	0,63	2,00	22,27	1,02	20,20	0,14	0,06	0,04	0,06	1,73	99,74
43	Срх	VK-765	51,83	0,05	2,55	2,80	6,46	0,44	13,52	20,56	0,38	0,06	0,10	1,41	100,06
44	Bt	Kt-18	36,00	3,92	16,13	2,18	17,11	0,13	11,25	0,06	0,14	9,05	3,70	–	99,67
45	Bt	Kt-20	38,12	4,09	15,20	1,48	16,26	0,07	11,60	0,28	0,26	8,99	3,35	–	99,70
46	Bt	Kt-18A	35,40	4,23	16,25	2,14	17,51	0,14	10,93	0,22	0,11	8,74	3,85	–	99,52
47	Bt	Kt-20B	36,18	4,23	16,05	1,65	17,04	0,13	11,49	–	0,10	9,61	3,35	–	99,83
48	Bt	Kt-99	37,02	5,04	13,88	2,58	16,43	0,13	11,34	–	0,12	9,50	3,30	–	99,34
49	Bt	Kt-105	36,90	5,00	13,82	1,93	15,93	0,12	12,38	0,06	0,09	9,42	3,20	–	98,85

Примечание. 1–30 – эндрбиты (EZI) мигматитовых субкомплексов и жильные: двупироксеновые или гиперстеновые – диориты (30) – кварцевые диориты (4) – тоналиты (5), субщелочные: лейкодиориты (1) – пегматоидные кварцевые лейкодиориты (2); эндрбиты без химических анализов пород (3, 6–9); гранулитовый метаморфизм: I – двупироксеновые диориты (10–12) и гиперстеновые кварцевые диориты (13–14), II – гранитизация последних (15), биотит-двупироксеновые (16–18) и биотитовые (19) гнейсы по EZI, гранат-биотитовые гнейсы (21–24) и реликты гиперстена (20) в них, кордиерит-гранат-биотитовые (25–29) гнейсы. 31–49 – эндрбиты (E), образующие поля и массивы: двупироксеновые кварцевые диориты (42–43), Нур ± Срх – тоналиты (31–32, 34, 44–45) – плагιοграниты (33, 35–37), (46–49 – трондьемиты по Л. Н. Котовой, 1993); эндрбиты без химических анализов пород (38); двупироксеновые диориты (39–41) из пегматоидных выделений среди эндрбитов.

Районы. [1] – 1–3, 31–33 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро; 1–2 – оз. В. Пажма, 3 – оз. Мал. Нигрозеро, 31–33 – оз. Нерпозеро – оз. Лариново (поля эндрбитов). [2] – 4–5 и 34–37 – оз. Керчуг, одноименный массив эндрбитов (EZI и E). [4] – 6–9 – губа Поньгома Белого моря; остров Белужья луда (6, 9), о. Гольшный (8), 38 – п-ов Поньгомнаволоок Белого моря, Поньгомнаволоокский массив эндрбитов – чарнокитоидов. [6] – 39–43 – пос. Вокнаволоок. [7] – 10–29 – оз. Широное (восточнее – юго-восточнее оз. Перюкс), 30 – юго-западный берег оз. Тулос. [9] – 44–49 – юго-восточное побережье Онежского озера – Каричский массив эндрбитов – чарнокитоидов.

При составлении таблицы автором были использованы следующие рукописные и печатные материалы: Король, 1990 – [1–2]; Володичев, 1990 – [1–2], 1997 – [7]; Крылова, Климов, 1978 – [2, 4]; Володичев, Коншин, Король, 1985 – [6]; Свириденко, 1974 – [7]; Котова, 1993 – [9].

Таблица 6

Кристаллохимические формулы минералов из эндрбитов периода региональной мигматизации и гранитизации

№	Минерал	Элементы Образцы	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Fe ^T	Mn	Mg	Ca	Na	K	f	F
1	Нур	V-2068-7	1,95	0,05	0,03	0,01	0,01	0,86	0,87	0,02	1,06	0,02	0,01	–	44,8	45,1
2	Нур	V-2068-8a	1,95	0,05	0,02	0,01	0,01	0,83	0,84	0,02	1,10	0,02	0,01	–	43,0	43,3
3	Нур	V-2006	1,89	0,11	0,03	0,01	0,05	0,79	0,84	–	1,09	0,05	0,01	–	42,0	43,5
4	Нур	V-1417-2	1,90	0,09	–	0,01	0,07	0,72	0,79	0,02	1,19	0,02	–	–	37,7	39,9
5	Нур	2381	1,94	0,06	0,01	–	0,03	0,73	0,76	0,01	1,21	0,02	–	–	37,6	38,6
6	Нур	176v	1,93	0,07	0,04	–	0,01	0,93	0,94	0,01	1,00	0,01	–	–	48,2	48,5
7	FNур	218b	1,95	0,05	0,01	–	0,02	1,02	1,04	0,01	0,94	0,01	–	–	52,0	52,5
8	Нур	138zh	1,92	0,08	0,03	–	0,06	0,78	0,84	0,01	1,09	0,02	–	–	41,7	43,5
9	Нур	89k	1,94	0,06	0,03	–	0,02	0,94	0,96	0,01	1,01	0,01	–	–	48,2	48,7
10	Нур	K-36	1,97	0,03	0,02	–	0,08	0,79	0,87	0,03	1,01	0,03	0,01	–	43,9	46,3
11	Срх	K-36	1,98	0,02	0,01	0,01	0,07	0,29	0,36	0,01	0,72	0,84	0,04	–	28,7	33,3
12	Bt	K-36	2,71	1,29	0,11	0,21	0,23	0,95	1,18	0,01	1,25	0,07	0,02	0,87	43,2	48,6
13	Нур	L-3-6	1,89	0,11	0,08	–	0,05	0,84	0,89	0,01	0,97	0,04	0,01	–	46,4	47,9
14	Bt	L-3-6	2,61	1,39	0,27	0,20	0,09	1,02	1,11	–	1,27	0,03	0,02	0,88	44,5	46,6
15	Grt	L-3-6	2,98	–	1,94	–	0,09	1,77	1,86	0,08	0,85	0,29	–	–	67,6	68,6
16	Нур	L-1-3	1,97	0,03	0,06	–	–	0,83	0,83	0,02	1,01	0,05	–	0,01	45,1	45,1
17	Срх	L-1-3	1,96	0,04	0,03	0,01	0,02	0,31	0,33	0,01	0,76	0,84	0,03	–	29,0	30,3
18	Bt	L-1-3	2,74	1,26	0,01	0,24	0,09	0,96	1,05	–	1,54	0,03	0,01	0,95	38,4	40,5
19	Bt	L-1-8	2,60	1,40	0,19	0,25	0,15	0,93	1,08	–	1,25	0,02	0,08	0,91	42,7	46,4
20	Нур	L-14-4	1,87	0,13	0,02	0,01	0,05	0,75	0,80	0,03	1,14	0,02	–	–	39,7	41,2
21	Bt	L-14-4	2,61	1,39	0,06	0,21	0,10	0,89	0,99	–	1,56	0,13	0,02	0,88	36,3	38,8
22	Grt	L-14-4	3,18	–	1,87	0,01	0,24	1,58	1,82	0,07	0,81	0,24	–	–	66,1	69,2
23	Bt	V-36-3	2,66	1,35	0,15	0,22	0,25	0,74	0,99	–	1,44	0,04	0,01	0,85	34,0	40,7
24	Grt	V-36-3	3,13	–	1,89	0,01	0,24	1,66	1,90	0,04	0,86	0,17	–	–	65,9	68,8
25	Bt	L-1-10	2,58	1,42	0,29	0,19	0,15	0,71	0,86	–	1,50	0,03	0,01	0,86	32,1	36,4
26	Grt	L-1-10	2,99	–	1,93	–	0,09	1,77	1,86	0,05	1,02	0,15	–	–	63,4	64,6
27	Bt	L-15	2,65	1,35	0,24	0,24	0,07	0,77	0,84	–	1,44	0,04	0,01	0,94	34,8	36,8
28	Grt	L-15	2,98	–	1,97	–	0,06	1,78	1,84	0,03	1,06	0,12	–	–	62,7	63,5
29	Crd	L-15	5,01	0,99	2,77	–	0,01	0,60	0,61	–	1,67	0,03	0,03	–	26,4	26,8
30	FNур	SV-2409	1,95	0,04	–	0,02	0,02	1,01	1,03	0,05	0,87	0,03	–	–	53,7	54,2
31	Нур	VK-156	1,93	0,07	0,02	0,01	0,12	0,72	0,84	0,02	1,03	0,03	–	–	41,1	44,9
32	Bt	VAK-156	2,66	1,34	0,06	0,25	0,23	0,97	1,20	0,01	1,31	0,02	0,01	0,83	42,5	47,8
33	FNур	V-2152-5	1,93	0,07	0,01	–	0,04	0,95	0,99	0,02	0,94	0,04	–	–	50,3	51,3
34	Нур	V-2197	1,95	0,06	0,04	0,01	0,04	0,72	0,76	0,02	1,15	0,01	–	–	38,5	39,8
35	Нур	K-3	1,94	0,06	0,05	0,01	0,01	0,73	0,74	0,02	1,13	0,05	–	–	39,3	39,6
36	Нур	K-4	1,96	0,04	–	–	0,05	0,76	0,81	0,02	1,16	0,01	–	–	39,6	41,1
37	Нур	V-2198	1,93	0,07	0,03	0,01	0,04	0,72	0,76	0,02	1,18	0,01	–	–	37,9	39,2
38	Нур	55zh	1,94	0,06	0,04	–	0,04	0,78	0,82	0,02	1,09	0,01	–	–	41,7	42,9
39	Нур	VK-927	1,94	0,06	–	0,01	0,04	0,73	0,77	0,01	1,20	0,03	–	–	37,8	39,1
40	Срх	VK-927	1,94	0,06	0,03	0,01	0,04	0,26	0,30	0,01	0,78	0,85	0,04	–	25,0	27,8
41	Bt	VK-927	2,71	1,29	0,07	0,21	0,21	0,80	1,01	0,01	1,54	0,02	0,01	0,86	34,2	39,6
42	Нур	VK-765	1,98	0,02	0,01	–	0,06	0,71	0,77	0,03	1,16	0,01	–	–	38,0	39,9
43	Срх	VK-765	1,95	0,05	0,06	–	0,08	0,20	0,28	0,01	0,76	0,83	0,03	–	20,8	26,9
44	Bt	Kt-18	2,71	1,29	0,14	0,22	0,12	1,08	1,20	0,01	1,26	0,01	0,02	0,87	46,2	48,8
45	Bt	Kt-20	2,83	1,17	0,16	0,23	0,08	1,01	1,09	–	1,28	0,02	0,04	0,85	44,1	46,0
46	Bt	Kt-18A	2,68	1,32	0,13	0,24	0,12	1,11	1,23	0,01	1,23	0,02	0,02	0,84	47,4	50,0
47	Bt	Kt-20B	2,71	1,29	0,13	0,24	0,09	1,07	1,16	0,01	1,29	–	0,02	0,92	45,3	47,4
48	Bt	Kt-99	2,79	1,21	0,02	0,29	0,15	1,04	1,19	0,01	1,27	–	0,02	0,91	45,0	48,4
49	Bt	Kt-105	2,78	1,22	0,01	0,28	0,11	1,00	1,11	0,01	1,39	0,01	0,01	0,91	41,8	44,4

Примечание. Номера анализов полностью соответствуют табл. 5. $f = (\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}) \times 100\%$ – коэффициент железистости минералов. Минералы пересчитаны по компьютерной программе TRF ИЭМ РАН – авторы: В. И. Фонарев, А. А. Графчиков, А. Н. Конилов – 7 версия.

Таблица 7

Микрозондовые анализы ромбических пироксенов из эндрбитов

Компоненты	К-II-3					58A-JPK-77	84-JVP-76	90-JVP-80	129-JVP-79
	т. 1	т. 2	т. 7	т. 10	т. 12				
SiO ₂	52,60	53,56	53,40	53,68	53,42	51,20	50,80	52,80	52,60
TiO ₂	–	–	–	–	–	0,10	0,20	0,10	–
Al ₂ O ₃	1,18	1,06	1,37	1,28	1,26	1,10	1,10	1,10	1,30
FeO	26,89	25,51	26,00	25,59	26,10	25,00	26,70	24,30	28,70
MnO	0,79	0,71	0,78	0,75	0,80	–	–	–	–
MgO	18,32	18,80	18,23	18,23	18,15	21,40	21,20	21,10	18,70
CaO	0,23	0,36	0,21	0,32	0,27	0,50	0,50	0,50	0,70
Na ₂ O	–	–	–	0,15	–	0,30	–	–	–
K ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сумма	100,0	100,0	99,99	100,0	100,0	99,60	100,5	99,90	102,0
Si	2,01	2,04	2,04	2,05	2,04	1,92	1,91	1,98	1,97
Al ^{IV}	–	–	–	–	–	0,05	0,05	0,02	0,03
Al ^{VI}	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	–	–	0,03	0,03
Ti	–	–	–	–	–	–	0,01	–	–
Fe ³⁺	–	–	–	–	–	–	0,12	–	–
Fe ²⁺	0,86	0,81	0,83	0,81	0,83	0,67	0,71	0,76	0,90
Mn	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	–	–	–	–

Окончание табл. 7

Компоненты	К-II-3					58A-JPK-77	84-JVP-76	90-JVP-80	129-JVP-79
	т. 1	т. 2	т. 7	т. 10	т. 12				
Mg	1,04	1,07	1,04	1,03	1,03	1,20	1,18	1,18	1,04
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Na	–	–	–	0,01	–	0,02	–	–	–
K	–	–	–	–	–	–	–	–	–
f (%)	–	–	–	–	–	35,83	37,57	–	–
F (%)	45,26	43,09	44,39	44,02	44,62	39,70	41,58	39,18	46,39
Тип Опх	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп
I.M.A.clas	En	En	En	En	En	En	En	En	En

Компоненты	V-2152-2					V-2152-5				
	т. 1	т. 2	т. 7	т. 9	т. 10	т. 11	т. 19	т. 1	т. 2	
SiO ₂	52,12	53,32	50,59	52,89	53,16	49,51	53,28	51,84	53,41	
TiO ₂	–	–	–	–	–	–	–	0,17	–	
Al ₂ O ₃	0,90	0,96	0,78	0,99	1,07	0,94	1,26	0,70	0,91	
FeO	29,39	27,94	32,70	28,41	28,38	33,83	27,30	27,54	27,31	
MnO	0,70	0,74	1,05	0,68	0,71	0,91	0,73	0,70	0,78	
MgO	16,44	16,61	14,48	16,41	16,23	14,21	17,04	16,68	17,22	
CaO	0,46	0,43	0,40	0,62	0,45	0,59	0,39	0,45	0,37	
Na ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
K ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Сумма	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	98,08	100,00	
Si	2,02	2,06	1,99	2,04	2,06	1,95	2,05	2,04	2,05	
Al ^{IV}	–	–	0,01	–	–	0,04	–	–	–	
Al ^{VI}	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	–	0,06	0,03	0,04	
Ti	–	–	–	–	–	–	–	0,01	–	
Fe ³⁺	–	–	–	–	–	0,05	–	–	–	
Fe ²⁺	0,95	0,90	1,07	0,92	0,92	1,06	0,88	0,90	0,88	
Mn	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	
Mg	0,95	0,96	0,85	0,95	0,94	0,83	0,98	0,98	0,99	
Ca	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Na	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
K	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
f (%)	–	–	–	–	–	56,08	–	–	–	
F (%)	50,00	48,39	55,73	49,20	49,96	57,22	47,31	47,87	47,06	
Тип Опх	Нуп-FНуп	Нуп	FНуп	Нуп	Нуп-FНуп	FНуп	Нуп	Нуп	Нуп	
I.M.A.clas	En-Fs	En	Fs	En	Fs	Fs	En	En	En	

Компоненты	V-2198								L-1-5
	т. 7	т. 8	т. 9	т. 10	т. 11	т. 12	т. 15	т. 16	т. 1
SiO ₂	54,72	54,64	54,47	56,65	54,84	56,42	54,84	54,56	51,28
TiO ₂	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Al ₂ O ₃	1,37	0,98	1,33	1,33	1,02	1,15	0,92	1,08	0,48
FeO	22,29	22,97	22,67	17,63	22,38	17,91	22,65	21,98	28,27
MnO	0,79	0,62	0,48	0,51	0,68	0,70	0,63	0,84	0,71
MgO	20,84	20,79	21,06	23,64	20,80	23,50	20,66	21,08	18,62
CaO	–	–	–	0,24	0,29	0,33	0,30	0,46	0,48
Na ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сумма	100,01	100,00	100,01	100,00	100,01	100,01	100,00	100,00	99,84
Si	2,05	2,05	2,04	2,08	2,06	2,08	2,06	2,04	1,97
Al ^{IV}	–	–	–	–	–	–	–	–	0,02
Al ^{VI}	0,06	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	–
Ti	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Fe ³⁺	–	–	–	–	–	–	–	–	0,04
Fe ²⁺	0,70	0,72	0,71	0,54	0,70	0,55	0,71	0,69	0,86
Mn	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Mg	1,16	1,16	1,18	1,29	1,16	1,29	1,16	1,18	1,06
Ca	–	–	–	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Na	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K	–	–	–	–	–	–	–	–	–
f (%)	–	–	–	–	–	–	–	–	44,79
F (%)	37,63	38,30	37,57	29,51	37,63	29,89	37,97	36,90	45,92
Тип Опх	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп	Нуп
I.M.A.clas	En	En	En	En	En	En	En	En	En

Пр и м е ч а н и е . Эндербиты (EZI): К-II-3 – двупироксеновый кварцевый диорит, оз. Нотозеро [1]; 84-JVP-76 – гиперстеновый диорит субщелочного ряда, 58A-JPK-77 и 90-JVP-80 – гиперстеновые кварцевые диориты нормального и субщелочного ряда, 129-JVP-79 – гиперстеновый тоналит, оз. Варпайсьярви, Центральная Финляндия [F]; L-1-5 – биотит-гиперстеновые гнейсы (гранулитовый метаморфизм II) по EZI, оз. Широное [7]. Эндербиты (E): V-2152-2 и V-2152-5 – двупироксеновые тоналиты и плагиограниты, образующие поля в водоразделе озер Нерпозеро – Лариново [1]; V-2198 – гиперстеновые плагиограниты Керчугского массива эндербитов [2].

Микрозондовые анализы (табл. 7–9) минералов – К-II-3, V-2152-2, V-2152-5, V-2198 выполнены в ИГ КарНЦ РАН на микроанализаторе INCA Energy-350 на базе сканирующего микроскопа VEGA II LSH. Кроме того, в статье автором использованы микрозондовые анализы по районам оз. Широного (Володичев, 1997) и оз. Варпайсьярви (Raavola, 1984).

Пироксены рассчитывались по (Cawthorn, Collerson, 1974) и с использованием компьютерной программы PX (Cebria, 1990). Наряду с используемыми в статье типами ромбических пироксенов названия данных минералов приводятся по I.M.A. classification (Morimoto, 1988).

Содержание CaO в гиперстенах из эндрбитов колеблется от 0,11 до 0,86%, с максимальным отклонением (1,24%) как в EZI района оз. Нигрозера [1], так и аналогичным по значению отдельным максимумом в Керчугском массиве [2].

В районе оз. Широного ГЭЧ комплекса [7] фиксируются некоторые закономерности изменения составов гиперстенов, связанные с перекристаллизацией пород при гранулитовом метаморфизме II. О. И. Володичевым (1997) на конкретных примерах в гиперстенах были зафиксированы уменьшение величин F, MnO и увеличение Al₂O₃, CaO при перекристаллизации средних гранулитов и чарнокитоидов Широного массива в реметаморфизованные их разновидности. Изменение параметров (F, Al₂O₃, MnO, CaO) в гиперстенах и соответствующее снижение F и увеличение Al₂O₃ и Na₂O в моноклинных пироксенах, парагенетичных с ними, может свидетельствовать, по мнению О. И. Володичева (1997), прежде всего о повышении давления при наложенном гранулитовом метаморфизме II в ГЭЧ комплексе [7]. Отсутствие анализов конкретных пар ромбических пироксенов из эндрбитов и их реметаморфизованных разновидностей не позволяет выявить эти особенности по аналогии с предыдущими. Однако даже в обобщенном варианте отмечается некоторое понижение железистости Нур от эндрбитов (46,3–47,9%) к биотит-двупироксеновым гнейсам (гр. мет. II) по ним (45,1–45,9%) (табл. 5, 6, К-36, L-3-6 и L-1-3, табл. 7, L-1-5, т. 1).

Феррогиперстены из эндрбитов – мигматитов (EZI) губы Поньгомы Белого моря [4] и ЮЗ берега оз. Тулос имеют железистость 52,5 и 54,2%, при содержаниях: Al₂O₃ – 1,22 и 0,91%, MnO – 0,21 и 1,60%, CaO – 0,11 и 0,70% (табл. 5–6, № 7 и 30). FNур из двупироксеновых тоналитов (E) оз. Нерпозера – оз. Лариново [1] являются (табл. 7, V-2152-2, т. 7, 11) наиболее железистыми (F = 55,7–57,2%). Минимальные значения F (51,3%) имеют эндрбиты плагиогранитного ряда этого же района (табл. 5–6, № 33). От тоналитов к плагиогранитам в этих феррогиперстенах увеличивается содержание Al₂O₃ (0,78–0,94 и 1,73%), CaO (0,40–0,59 и 0,91%) и уменьшается MnO (0,91–1,05% и 0,58%).

Моноклинные пироксены являются типичными минералами эндрбитов, как и всех пород ГЭЧ комплексов, и присутствуют на всех этапах их метаморфической эволюции. Парагенетические минеральные ассоциации эндрбитов, включающие Срх, представлены в табл. 2–4. Составы всех Срх по ранее принятым классификациям (Трёгер, 1980; Минералы, 1981) и оптическим данным (Король, 1990, 2003) соответствуют салитам, согласно международной классификации I.M.A. (Morimoto, 1988) – Ca-Mg-Fe пироксенам группы Quad – диопсидам и диопсид-авгитам. В шлифах эти минералы обычно бесцветны.

Исследованы химические составы моноклинных пироксенов из EZI [7] оз. Широного и из биотит-двупироксеновых гнейсов (гран. метам. II) по поро-

дам данной группы, кроме того – из E [6] пос. Вокнаволоков (табл. 5, 6, № 11 и 17, 40 и 43).

В ГЭЧ комплексе [6] Срх из эндрбитов (E) имеют железистость 26,9–27,8%, содержание Al₂O₃ колеблется от 1,95 до 2,55%, CaO – от 20,56 до 20,99%, Na₂O – от 0,38 до 0,53%. Пироксены состоят из 44% Wo, 41% En, 15% Fs. Моноклинные пироксены из EZI [7] имеют более высокую железистость (F = 33,3%) и пониженное содержание Al₂O₃ (0,83%) по сравнению с предыдущими [6], при допустимо близких величинах CaO (20,70%) и Na₂O (0,49%). В состав Срх [7] входит 44% Wo, 37% En, 19% Fs. Анализы конкретных пар Срх, характеризующие превращения эндрбитов (EZI) в биотит-двупироксеновые гнейсы при наложенном гранулитовом метаморфизме II, отсутствуют. Однако в обобщенном виде в последних относительно первых (табл. 5, 6, № 17 и 11) отмечается пониженная железистость (F = 30,3%) и повышенное содержание Al₂O₃ (1,43%), значение CaO (20,63%) и Na₂O (0,42%) в минералах практически остается прежним или даже немного уменьшается. Номинальный состав Срх из биотит-двупироксеновых гнейсов отличается от такового в EZI незначительными – понижением ферросилитовой (17%) и повышением энстатитовой (39%) составляющих, при аналогичных значениях (44%) волластонита.

Плагиоклазы из эндрбитов в большом объеме изучались преимущественно оптическим методом (Федоровский столик). Также Pl из EZI и E в ГЭЧ комплексах [1, 2] исследовались с помощью микронзондового анализа (табл. 8).

Для эндрбитов ранней мигматизации, мигматитовых субкомплексов и жильных – EZI [1–2, 4–6, F] характерны (табл. 3) олигоклазы – андезины (22–33% An). Жильные эндрбиты оз. Кереть [3] содержат (табл. 3, № 7) андезины (40–42% An). В ГЭЧ комплексе [7] оз. Широного для эндрбитов характерны плагиоклазы – 28–42% An (гр. метам. I), а в реметаморфизованных (гр. метам. II) разновидностях этих пород – 28–35% An (табл. 3, № 14 и 17, 18, 20, 21). Неразделенный (на I и II) парагенезис EZI юго-западного берега оз. Тулос включает олигоклазы – андезины с 24–37% An (табл. 3, № 24).

Эндрбиты (E), образующие поля и интрузивные массивы [1–2, 4–7, 9], характеризуются (табл. 4) олигоклазами – андезинами (23–40% An). Причем в Керчугском [2] массиве плагиоклазы из эндрбитов содержат 24–30% An, в Поньгомнаволоковском [4] – 23–35% An, в Карицком [9] – 24–35% An. Плагиоклазы с анортитовой составляющей 32–40% зафиксированы в эндрбитах района Вокнаволоков [6]. В E оз. Широного [7] и в реметаморфизованных их разновидностях содержатся (табл. 4, № 11 и 12) андезины (32–34 и 32–33% An).

Калиевые полевые шпаты в ГЭЧ комплексах Карелии представлены ортоклазами и обычно являются типоморфными минералами чарнокитоидов. Однако Og входит в состав и некоторых парагенезисов эндрбитов – EZI [4, 7] и E [4] (табл. 3, № 9, 22 и табл. 4, № 5).

Таблица 8

Микрозондовые анализы плагиоклазов из эндрбитов

Компоненты	К-II-3			V-2152-2					V-2152-5	V-2198
	т. 5	т. 6	т. 14	т. 4	т. 8	т. 15	т. 16	т. 21	т. 4	т. 13
SiO ₂	60,17	61,54	60,76	61,49	61,64	62,05	61,33	61,54	61,41	63,82
TiO ₂	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Al ₂ O ₃	23,69	24,43	23,62	24,40	24,36	23,92	24,34	24,26	24,34	22,73
FeO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
MnO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
MgO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
CaO	6,33	6,68	6,23	6,51	6,58	6,47	6,62	6,42	6,81	4,87
Na ₂ O	7,39	7,35	7,32	7,17	7,04	7,19	7,39	7,49	7,12	8,15
K ₂ O	0,21	–	–	0,42	0,38	0,38	0,33	0,28	0,32	0,43
Сумма	97,79	100,0	97,93	99,99	100,0	100,01	100,01	99,99	100,0	100,0
Si	2,75	2,75	2,78	2,75	2,76	2,78	2,74	2,75	2,75	2,85
Al ^{IV}	1,28	1,29	1,27	1,29	1,29	1,26	1,28	1,28	1,29	1,19
Ti	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Fe ²⁺	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mn	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mg	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ca	0,31	0,32	0,30	0,31	0,32	0,31	0,32	0,31	0,33	0,23
Na	0,65	0,64	0,65	0,62	0,61	0,62	0,64	0,65	0,62	0,70
K	0,01	–	–	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
X _{Ca} -An	0,32	0,33	0,32	0,33	0,34	0,33	0,32	0,32	0,34	0,24
X _{Na} -Ab	0,67	0,67	0,68	0,65	0,64	0,65	0,66	0,66	0,64	0,73
X _K -Or	0,01	–	–	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
An, %	32	33	32	33	34	33	32	32	34	24
Тип Pl	Anz	Anz	Anz	Anz	Anz	Anz	Anz	Anz	Anz	Olg

Пр и м е ч а н и е . Номера образцов эндрбитов соответствуют табл. 7.

Данные минералы являются составной частью парагенетических ассоциаций гиперстен-биотитовых и биотит-гиперстеновых гнейсов и гранат-биотитовых гнейсов – реметаморфизованных E и EZI района оз. Широтное [7] (табл. 4, № 12 и табл. 3, № 20).

Калиевое исследование структурного состояния калиевых полевых шпатов проводилось в чарнокитоидах [1] и некоторых эндрбитах (EZI и E) как оптическими (Федоровский столик) с использованием известной диаграммы А. С. Марфунина (1962), так и рентгено-структурными (Др) методами, с частичным определением химических составов (Na₂O, K₂O) минералов (Король, 1983, 1990). Как правило, калиевые полевые шпаты из парагенезисов чарнокитоидов и – редкие – в эндрбитах представлены высокими и промежуточными моноклинными ортоклазами.

Биотиты гранулитовой фации (табл. 5–6, 9) входят в состав парагенезисов (табл. 2–4) эндрбитов – EZI [5, 7], E [1, 5–7], обнаруживаются в преобразованных разновидностях пород при поздней изофациальной перекристаллизации [F, 9] и при гранулитовом метаморфизме II [7]. Вт в шлифах чаще всего имеют ярко-коричневую [1, 7, 9, F], реже красновато-коричневую [5], темно-красновато-коричневую [6] окраски.

В проанализированных (табл. 5–6, 9) биотитах содержание истонит-сидерофиллитовой молекулы изменяется от 23,0 до 71,0%, с преобладающими колебаниями 26,0–43,0%. Значения железистости (F) составляют в минералах 34,2–50,0%, преимущественно 40,1–48,8%; TiO₂ – от 3,35 до 5,25%, с преобладающими – 3,76–4,45%; K₂O – от 8,77 до 10,34%.

Биотиты из эндрбитов (E), образующих поля в районе [1] оз. Нерпозеро (табл. 5, 6, № 32, табл. 9,

V-2152-5), имеют более высокие – F (47,0–47,8%) и содержание TiO₂ (4,45–4,97%), чем таковые (39,6 и 3,82%) в районе [6] пос. Вокнаволок (табл. 5, 6, № 41). Содержание ист.-сид. молекулы и K₂O составляет в Bt [1] – 26,0–40,0% и 8,77–10,34%, а в Bt [6] – 36,0% и 9,18%. Биотиты, образующиеся при поздней изофациальной перекристаллизации в эндрбитах (E) Карицкого массива [9], характеризуются большими пределами колебаний: железистости (44,4–50,0%), TiO₂ (3,92–5,04%), ист.-сид. молекулы (23,0–45,0%) и значениями K₂O от 8,74 до 9,61% (табл. 5, 6, № 44–49).

При отсутствии анализов конкретных пар Bt, в обобщенном виде, отмечается следующая тенденция изменения их составов при реметаморфических преобразованиях эндрбитов (EZI) ГЭЧ комплекса [7] в биотит-двупироксеновые гнейсы (табл. 3, № 14 и 17). В биотитах (табл. 5, 6, № 12, 14 и 18, табл. 9, L-1-5-1, L-1-5-2) фиксируется уменьшение железистости (46,6–48,6 и 40,1–44,2%), истонит-сидерофиллитовой молекулы (40,0–66,0 и 27,0–32,0%), некоторое увеличение TiO₂ (3,50–3,76% и 4,19–4,41%), K₂O (9,12–9,22 и 9,47–9,97%). Вт из гранат-биотитовых гнейсов по EZI менее железисты (F = 38,8–40,7%), чем таковые в эндрбитах, при сопоставимых значениях других рассматриваемых параметров (табл. 5, 6, № 12, 14 и 21, 23). Биотиты (табл. 5, 6, № 25, 27, табл. 9, L-15-1, L-15-2) из кордиерит-гранат-биотитовых гнейсов (табл. 3, № 21) характеризуются минимальной из перечисленных выше железистостью (F = 34,2–36,8%). Содержания TiO₂ и K₂O в них имеют широкие пределы колебаний (3,35–5,25% и 9,12–10,00%), перекрывающие эти величины (3,83–3,95% и 9,03–9,26%) в Bt из гранат-биотитовых гнейсов (табл. 5, 6, № 21, 23). Содержание истонит-сидерофиллитовой

молекулы в рассматриваемых минералах из кордиерит-гранат-биотитовых гнейсов достигает максимальных значений (50,0–71,0%) не только для данного района, но и для всех ГЭЧ комплексов.

Таблица 9

Микрозондовые анализы биотитов из эндрбитов

Компоненты	V-2152-5	L-1-5-1	L-1-5-2	L-15-1	L-15-2
	т. 3	т. 1	т. 2	т. 1	т. 2
SiO ₂	39,49	39,41	39,22	38,81	38,96
TiO ₂	4,97	4,19	4,41	5,14	5,25
Al ₂ O ₃	14,36	14,99	15,01	17,37	17,39
FeO	18,65	17,29	18,43	13,92	13,69
MnO	–	–	–	–	–
MgO	11,82	14,53	13,12	14,42	14,86
CaO	0,12	–	–	–	–
Na ₂ O	0,25	–	–	–	–
K ₂ O	10,34	9,47	9,67	9,92	9,74
Сумма	100,00	99,88	99,86	99,58	99,89
Si	2,95	2,91	2,92	2,85	2,85
Al ^{IV}	1,05	1,09	1,08	1,15	1,15
Al ^{VI}	0,21	0,21	0,24	0,35	0,35
Ti	0,28	0,23	0,25	0,28	0,29
Fe ³⁺	–	–	–	–	–
Fe ²⁺	1,16	1,07	1,15	0,85	0,84
Mn	–	–	–	–	–
Mg	1,31	1,60	1,45	1,58	1,62
Ca	0,01	–	–	–	–
Na	0,04	–	–	–	–
K	0,98	0,89	0,92	0,93	0,91
Ист.-сид. мол. (%)	26,00	30,00	32,00	50,00	50,00
F (%)	46,96	40,08	44,23	34,98	34,15

Примечание. L-15-1, L-15-2 – кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы, оз. Широтное [7]. Номера остальных образцов пород соответствуют табл. 7.

Амфиболы не входят в состав ранних парагенезисов эндрбитов. Незначительная гранулитовая амфиболитизация EZI и E (каймы по пироксенам) наблюдается (табл. 3 и 4) в ГЭЧ комплексах [1 и 1, 6]. Кроме того, Hbl формируются и на разных стадиях поздней изофациальной перекристаллизации [4, F] эндрбитов и при гранулитовом метаморфизме II [7] и являются составной частью поздних парагенетических ассоциаций пород (табл. 3 и 4). В новообразованных парагенезисах [7, F] амфиболы обычно равновесны с ромбическим и моноклинным пироксенами, биотитом, плагиоклазом, кварцем, редко [7] с ортоклазом. В шлифах окраска амфиболов преимущественно буровато-зеленая [1, 4, 6, 7] или коричневатозеленая [F].

Исследованы химические составы Hbl (табл. 10) из эндрбитов (EZI) оз. Варпайсьярви Центральной Финляндии (Paavola, 1984). Пересчет данных минералов по (Schumacher, 1997) указывает на их принадлежность (Leake et al., 1997) к кальциевым амфиболам – чермакитам. Железистости (F) Hbl изменяются от 37,7 до 48,8%, содержания TiO₂ колеблются от 1,90 до 2,40%.

Кордиериты входят в состав парагенезисов (табл. 3, № 21) кордиерит-гранат-биотитовых гнейсов, образованных по EZI при гранулитовом метаморфизме II [7]. Химические составы данных минералов (Володичев, 1997) были проанализированы из единого образца (L-15) в одном случае (табл. 5, 6, № 29) химическим методом из монофракции, в другом – микро-

зондовым: SiO₂ (50,25%), Al₂O₃ (33,80), FeO (4,84), MgO (10,96) и Si (5,00), Al^{IV} (1,00), Al^{VI} (2,97), Fe²⁺ (0,40), Mg (1,63). В первом анализе относительно второго определено большее содержание суммарного FeO (7,15%), при практически аналогичных величинах MgO (10,86%) и меньшем значении SiO₂ (48,67), Al₂O₃ (31,05%). Соответственно, кордиериты характеризуются железистостями (F) – 26,8 и 19,7% и отношениями MgO/FeO – 1,55 и 2,27%, X_{Mg} – 0,73 и 0,80.

Таблица 10

Микрозондовые анализы амфиболов из эндрбитов

Компоненты	58A-JPK-77	84-JVP-76	90-JVP-80	129-JVP-79
	т. 2	т. 2	т. 2	т. 2
SiO ₂	41,70	41,80	44,00	43,10
TiO ₂	2,40	1,90	2,00	2,30
Al ₂ O ₃	11,90	11,70	10,90	12,10
FeO	15,20	15,60	14,70	17,00
MnO	–	–	–	–
MgO	11,30	11,90	13,60	10,00
CaO	11,00	11,20	10,80	10,50
Na ₂ O	0,70	0,80	2,20	1,60
K ₂ O	–	–	–	–
Сумма	94,20	94,90	98,20	96,60
Si	6,35	6,34	6,39	6,41
Al ^{IV}	1,65	1,66	1,61	1,59
Al ^{VI}	0,49	0,42	0,26	0,53
Ti	0,27	0,22	0,22	0,26
Fe ³⁺	0,54	0,68	0,61	0,53
Fe ²⁺	1,40	1,29	1,17	1,58
Mn	–	–	–	–
Mg	2,56	2,69	2,94	2,21
Ca	1,79	1,82	1,68	1,67
Na	0,21	0,23	0,62	0,46
K	–	–	–	–
f (%)	35,35	32,41	28,47	41,69
F (%)	43,11	42,27	37,71	48,84
(Na+K) _A	0,11	0,12	0,45	0,26
Na _B	0,10	0,11	0,17	0,20
Тип амфибола	Ts	Ts	Ts	Ts

Примечание. Номера образцов эндрбитов соответствуют табл. 7. Номенклатура амфиболов (тип амфибола) определялась по: Leake et al., 1997; расчет данных минералов проводился по: Schumacher, 1997.

Гранаты образуются в районе оз. Широтного [7] при реметаморфизме EZI – гранулитовом метаморфизме II. Исследовались химические анализы Grt (Володичев, 1997) из гранатизированных эндрбитов (табл. 5, 6, № 15 и табл. 11, № 1), гранат-биотитовых (№ 22, 24 и 2, 3) и кордиерит-гранат-биотитовых (№ 26, 28 и 4, 5) гнейсов по ним. Кроме того, изучен микрозондовый анализ (L-15) рассматриваемого минерала: SiO₂ (38,87%), Al₂O₃ (22,02), FeO (28,43), MnO (0,59), MgO (8,84) CaO (1,01) и Si (3,01), Al^{VI} (2,01), Fe²⁺ (1,84), Mn (0,04), Mg (1,02) из Crd-Grt-Bt гнейсов.

На фациальной диаграмме Alm+SpS – Grs+Adr – Prp (Другова, Глебовицкий, 1965) все перечисленные выше Grt располагаются в поле гранулитовой фации (Король, 2003). Гранаты (табл. 11) содержат: 28,4–35,5% Prp и 58,5–61,7% Alm, при колебаниях железистости (F) – 63,5–69,2%. Значение спессартина в минералах изменяется от 1,0 до 2,7%. Са-составляющая (Grs) варьирует в пределах 2,8–9,3%, а содержание Adr невелико (0,0–1,0%).

Таблица 11

**Нормативные составы гранатов из
реметаморфизованных эндрбитов мигматитовых
субкомплексов района оз. Широтного [7]**

№	Образец	Пироп Prp	Альман- дин Alm	Спес- сартин Sps	Грос- суляр Grs	Андр- дит Adr
1	L-3-6	28,40	59,20	2,70	9,30	0,40
2	L-14-4	30,00	58,50	2,60	7,90	1,00
3	V-36-3	31,50	60,80	1,50	5,50	0,70
4	L-1-10	34,10	59,20	1,70	4,80	0,20
5	L-15	35,50	59,50	1,00	3,90	0,10
6	L-15	34,20	61,70	1,30	2,80	–

Примечание. 1 – гранатизированный двупироксеновый кварцевый диорит, 2–3 – гранат-биотитовые гнейсы по EZI, 4–6 – кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы. Химические анализы гранатов (1–5) и их кристаллохимические формулы представлены в табл. 5, 6. L-15 – микрозондовый анализ.

В Grt из гранатизированных эндрбитов фиксируется минимальное содержание Prp (28,4%) при максимальных значениях спессартина (2,70%) и гроссуляра (9,30%) (табл. 11, № 1). По сравнению с ними гранаты (табл. 11, № 2, 3) из гранат-биотитовых гнейсов по EZI отличаются повышенной пироповой (30,0–31,5%) и пониженной гроссуляровой (5,5–7,9%) составляющими. Максимальным значением пироба (34,1–35,5%) при минимальных величинах железистости (63,5–64,6%) и содержания Са-компонента – Grs и Adr (2,8–4,8 и 0,0–0,2%) харак-

теризуются гранаты (табл. 6, № 26, 28 и табл. 11, № 4–6) из кордиерит-гранат-биотитовых гнейсов. Таким образом, в обобщенном виде в гранулитовых гранатах в ряду преобразований – гранатизированные EZI – Grt-Bt гнейсы – Crd-Grt-Bt гнейсы отмечается тенденция увеличения Prp и уменьшения Sps и Grs.

PT-параметры образования эндрбитов

По имеющимся химическим и микрозондовым анализам минеральных пар ромбических и моноклинных пироксенов, биотитов и ортопироксенов определены температуры и давления образования эндрбитовых парагенезисов в одной системе компьютерной программы TPF ИЭМ РАН (табл. 12). Нур ± Crx + Bt + Pl + Qtz парагенетические ассоциации (E) из полей водораздела оз. Нерпозеро – оз. Лариново [1] сформировались при температурах 759–870 °C (Bt–Orx геотермометры) при возможном давлении 6–8 кб (табл. 12, № 1–3). Эндрбиты (E) пос. Вокнаволоок [6] образовались при температурах 785–848 °C (Crx–Orx и Bt–Orx геотермометры) при соответствующих давлениях 5,5–7,5 кб (табл. 12, № 3–4). Формирование парагенезисов EZI (табл. 3, № 14) в районе оз. Широтного [7] происходит при температурах 766–831 °C (Crx–Orx и Bt–Orx геотермометры) при давлении 5 кб (табл. 12, № 6–7).

Таблица 12

**PT-параметры формирования эндрбитов мигматитовых субкомплексов (EZI) и формирующих поля (E)
в ГЭЧ комплексах [1, 6, 7]**

№	Образцы и точки микрозондо- вых анализов	Геотермометры T °C					
		Bt + Orx		Crx + Orx			
		Аранович и др., 1988	Sengupta et al., 1990	Henry, Medaris, 1976 <A>	Kretz, 1982 <A>	Kretz, 1982 	Bertrand, Mercier, 1985
1	V-2152-5 т.т. 3-1	–	832–842 6–8 кб				
2	V-2152-5 т.т. 3-2	759–771 6–8 кб	863–868 6–7 кб				
3	VK-156	870 6 кб	–				
4	VK-765			839	–	–	846–847 6–7 кб
5	VK-927	831–842 5,5–7,5 кб	–	–	788 – 848	803	785–786 5,5–7,5 кб
6	K-36	831 – 5 кб	–	–	767 – 827	–	766–5 кб
7	L-3-6	–	791–5 кб				
8	L-1-3	–	796–801 6–7 кб	–	805 – 865	–	792 6–7 кб
9	L-1-5 т.т. 1-1	–	750–752 6,5–7 кб				
10	L-1-5 т.т. 2-1	–	833–838 6–7 кб				

Примечание. 1–5 – эндрбиты (E), образующие поля: 1–2 – гиперстеновый плагиогранит, 3 – двупироксеновый тоналит, оз. Нерпозеро – Лариново [1]; 4–5 – двупироксеновые – кварцевый диорит (4) и диорит (5), пос. Вокнаволоок [6]; 6–10 – эндрбиты мигматитовых субкомплексов (EZI): 6–7 – двупироксеновый диорит (6) и гиперстеновый кварцевый диорит (7) – гранулитовый метаморфизм I, оз. Широтное [7]; 8–10 – биотит-гиперстеновые гнейсы по эндрбитам мигматитовых субкомплексов – гранулитовый метаморфизм II, оз. Широтное [7].

Для подсчета PT-параметров в единой системе компьютерной программы TPF ИЭМ РАН (В. И. Фонарев, А. А. Графчиков, А. Н. Конилов, 7 версия) автором статьи, кроме собственных, использовались химические и микрозондовые анализы О. И. Володичева, В. А. Коншина, Е. И. Лобанок.

Под влиянием остаточных $Na \pm K$ – водных флюидов, после завершения процессов региональной мигматизации и гранитизации, в эндебритах [4, 7, 9, F] фиксируется поздняя изофаціальная перекристаллизация. Новообразованные $Nur + Crx + Hbl + Bt + Pl \pm Qtz$ парагенезисы (табл. 3, № 25) в EZI Варпайсьярвинского блока [F] могли сформироваться при давлениях 5,6–7,9 кб (Hbl геобарометры), причем $P = 5,8–7,2$ кб (Blundy, Holland, 1990) соответствует температурам 750 °C (табл. 13).

Таблица 13

Некоторые значения параметров давления (P) при поздней изофаціальной перекристаллизации эндебритов мигматитового субкомплекса (EZI) оз. Варпайсьярви Центральной Финляндии

№	Образец	Hbl геобарометр (P кб)			
		Hammarstrom, Zen E-An, 1986	Hollister et al., 1987	Blundy, Holland, 1990	Schmidt, 1991
1	58A-JPK-77	6,9	6,2–7,2	7,1 – 750 °C	6,6–7,6
2	84-JVP-76	6,7	5,9–7,9	6,8 – 750 °C	6,4–7,4
3	90-JVP-80	5,6	5,8–6,8	5,8 – 750 °C	5,8–6,3
4	129-JVP-79	6,9	6,4–7,4	7,2 – 750 °C	6,6–7,6

Примечание. 1–4 – эндебриты мигматитового субкомплекса: гиперстеновые ($\pm Crx$) – кварцевые диориты нормального (1) и субщелочного (3) ряда, диориты субщелочного ряда (2), тоналиты (4).

Для определения давлений в единой системе компьютерной программы TRF ИЭМ РАН (7 версия) автором статьи использованы микронзондовые анализы гранулитовых амфиболов J. Raavola (1984).

В ГЭЧ комплексе [7] выделяется II гранулитовый этап, или гранулитовый метаморфизм II (Володичев и др., 1994; Володичев, Король, 1997), представляющий собой, вероятнее всего, завершённый процесс поздней изофаціальной перекристаллизации. Исследования показали, что парагенезисы биотит-гиперстеновых (двупироксеновых) гнейсов по эндебритам (EZI) оз. Широтного [7] образуются при температурах 750–865 °C ($Crx-Opx$ и $Bt-Opx$ геотермометры) при возможных давлениях 6–7 кб (табл. 12, № 8–10). Гранат-биотитовые гнейсы по EZI формируются в условиях: $T = 750–860$ °C ($Grt-Bt$ геотермометры), соответствующих значениям $P = 6–7$ кб (табл. 14, L-14-4, V-36-3). Становление парагенезисов кордиерит-гранат-биотитовых гнейсов, по данным $Grt-Bt$, $Grt-Crd$, $Bt-Crd-Grt$ геотермометров, происходит в диапазоне температур от 752 до 858 °C при аналогичных предыдущим породам давлениям (табл. 14, L-15).

Влияние эндебритов на метаморфическую эволюцию ГЭЧ комплексов

Эндебритам принадлежит значительная роль в метаморфической эволюции ГЭЧ комплексов. Установлено, что независимо от принадлежности к периодам I гранулитового этапа и конкретным ГЭЧ комплексам привнос натрия и воды при эндебритовой мигматизации и повышение потенциала щелочей в гранулитовой фации способствуют частичной, а при увеличении интенсивности полной амфиболизации пироксенов в ранних гранулитовых парагенезисах пород (Король, 2003, 2005, 2007). В ходе процесса

Таблица 14

PT-параметры образования гранат-биотитовых и кордиерит-гранат-биотитовых гнейсов по эндебритам мигматитового субкомплекса [7]

№	L-14-4	V-36-3	L-1-10	L-15	L-15, т.т. 1-1-1	L-15, т.т.2-1-1	Геотермометры
	T °C						
1	750–756	781–790	787–796	814–823	769–778	752–760	Thompson, 1976
2	–	–	–	761–765	–	–	Holdway, Lee, 1977
3	–	–	–	824–829	–	–	Holdway, Lee, 1977
4	–	–	772	780	–	–	Goldman, Albee, 1977
5	764–768	807–812	815–820	851–856	792–796	769–774	Ferry, Spear, 1977
6	759	806	–	–	–	–	Ferry, Spear, 1978 <A>
7	777–782	825–830	–	–	–	–	Ferry, Spear, 1978
8	–	–	804	808	783	776	Глебовицкий, Другова, 1979
9	810–815	849–854	854–859	–	820–825	795–800	Hodges, Spear, 1982
10	856–860	–	–	–	839–844	813–818	Pigage, Greenwood, 1982
11	–	–	–	–	853–858	826–831	Hoinkes, 1986
12	–	–	–	769	763	763	Курепин, 1991 <A>
13	–	–	–	–	809	809	Курепин, 1991
14	–	–	–	–	758	766	Курепин, 1991 <C>
15	–	–	–	820–814	–	–	Wells, 1979
16	–	–	–	813–841	–	–	Лаврентьева, Перчук, 1981
17	–	–	–	808	–	–	He Shaoyuan, Fang Qinghao, 1984
18	–	–	–	855	–	–	Ellis, 1986
19	–	–	–	756–827	–	–	Bhattachaya et al., 1988
20	–	–	–	845–850	–	–	Fonarev, Graphchikov, 1991

Примечание. 1, 2, 4–11 – $Grt+Bt$; 12–14 – $Bt+Crd+Grt$; 3, 15–20 – $Grt+Crd$ геотермометры. Пределы колебаний температур в геотермометрах: № 1–3, 5, 7, 9–11, 15–16, 19–20 соответствуют давлениям 6–7 кб.

Образцы: L-14-4, V-36-3 – гранат-биотитовые, L-1-10, L-15 – кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы, сформировавшиеся по эндебритам (EZI), при гранулитовом метаморфизме II.

Для пересчета PT-параметров в единой системе компьютерной программы TRF ИЭМ РАН (7 версия) автором статьи использованы химические и микронзондовые анализы О. И. Володичева (1997).

образуется обогащенный титаном амфибол. Расчеты показывают, что для гранулитовой амфиболитизации основных гранулитов с плагиоклазом, содержащим более 50% An, необходим привнос Na и H₂O, для средних и кислых (Pl < 50% An) – достаточно участия только водного флюида. Таким образом, под воздействием эндрбитов осуществляется преобразование Nur + Crx + Pl парагенезисов основных гранулитов и метагбброидов в Nur + Crx + Hbl + Pl и далее, при усилении мигматизации, в Hbl + Pl. В условиях от двупироксен-роговообманковой до роговообманковой субфаций гранулитовой фации осуществляется переход от двупироксеновых к двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам и амфиболитам.

После формирования парагенетических ассоциаций в эндрбитах под воздействием остаточных водных флюидов происходит гранулитовая амфиболитизация в средних и кислых породах ГЭЧ комплексов с минимальным проявлением в самих эндрбитах. Ранние парагенезисы чарнокитоидов, завершающих процессы региональной мигматизации и гранитизации, как правило, не содержат амфибола.

Заключение

Эндрбиты региональной мигматизации и гранитизации образуются на заключительных периодах первого гранулитового этапа метаморфической эволюции ГЭЧ комплексов Карелии и Центральной Финляндии. Масштабы их развития в региональном плане и влияние на гранулитовые образования достаточно велики. Своим генезисом эндрбиты инициируют гранулитовую амфиболитизацию более ранних пород в ГЭЧ комплексах и сами становятся частью метаморфических преобразований. После формирования эндрбиты вместе со всеми породами могут быть подвержены поздней изофациальной перекристаллизации или гранулитовому метаморфизму II.

Данные термобарометрии эндрбитов, приведенные в этой статье, практически совпадают с таковыми, установленными в различных гранулитовых образованиях каждого из районов исследований (Король, 2003). Это может свидетельствовать о том, что в течение первого гранулитового этапа развития ГЭЧ

комплексов PT-параметры оставались постоянными, с определенными различиями в каждом из районов, но в пределах колебаний 750–870 °C и в режиме умеренных и (или) пониженных давлений (Король, 2003). Соблюдается закономерность увеличения давления при переходе – гранулитовый метаморфизм I–II [7].

На II [1–6, 8–9, F] или на III и IV [7] этапах метаморфической эволюции в ГЭЧ комплексах происходит диафторез эндрбитов, как и всех гранулитовых образований, в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой, иногда до зеленосланцевой, фаций. При этом осуществляются процессы амфиболитизации (формирование куммингтонита и умеренно титанистых амфиболов), биотитизации, гранатизации и их сопряженные проявления. Эндрбиты преобразуются в амфиболовые, биотитовые, амфибол-биотитовые и биотит-амфиболовые, гранат-биотитовые, гранат-биотит-амфиболовые апоэндрбиты и гнейсы, теряя свой прежний облик и приобретая новый, типичный для большинства пород докембрийских структур Карелии. При геологических наблюдениях в любом районе исследований поисковым признаком обнаружения гранулитовых образований среди площадей распространения диафторитов могут служить реликтовые зерна гиперстена, сохраняющиеся среди наложенных кайм, скоплений минеральных агрегатов – куммингтонита, амфибола, граната в жильных измененных эндрбитах. Эти находки обычно позволяют восстановить первичную гранулитовую природу пород и их исходный состав. Диафторез в ГЭЧ комплексах осуществляется под воздействием глубинных флюидов (Король, 2003). Основными типами диафторических процессов, изменяющих облик эндрбитов, являются – сочетание метаморфической перекристаллизации с метасоматическим привносом ($\pm K$) или выносом ($\pm Na, Mg, Ca$) ряда компонентов (Король, 2003). Изохимическая и близкая к ней перекристаллизации проявлены реже. Процессы диафтореза эндрбитов достаточно разносторонни и сложны и требуют изложения в отдельной статье.

Благодарности. Автор выражает большую благодарность д. г.-м. наук О. И. Володичеву (ИГ КарНЦ РАН) за предоставленный фактический материал, консультации и критические замечания.

ЛИТЕРАТУРА

Аранович Л. Я., Лаврентьева И. В., Косякова Н. А. Биотит-гранатовый и биотит-ортопироксеновый геотермометры: калибровка с учетом переменности содержания Al в биотите // Геохимия. 1988. № 5. С. 668–676.

Володичев О. И. Метаморфизм // Геология Карелии. Л., 1987. С. 152–162, 171–175.

Володичев О. И. Беломорский комплекс Карелии (геология и петрология). Л., 1990. 245 с.

Володичев О. И. Тулосозерская структура // Метаморфизм архейских гранит-зеленокаменных систем докембрия Карелии. Отчет по теме 131. Фонды КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1997. С. 21–106.

Володичев О. И., Король Н. Е. Геология и метаморфизм пород гранулитовой фации беломорского комплекса // Петрология глубокометаморфизованных комплексов Карелии. Петрозаводск, 1983. С. 5–26.

Володичев О. И., Король Н. Е. Гранулит-эндрбит-чарнокитовые комплексы Карелии // Тез. докл. междунар. совещ. «Докембрий Северной Евразии». СПб., 1997. С. 22–23.

Володичев О. И., Кошкин В. А., Король Н. Е. Геология и петрология гранулитовых и интрузивных эндрбит-чарнокитовых комплексов архея // Гранулитовые и мигматитовые комплексы Карелии и их роль в формировании земной

коры Балтийского щита. Отчет по теме 67. Т. I. Фонды КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1985. 206 с.

Володичев О. И., Король Н. Е., Лобанок Е. И. К метаморфизму пород района оз. Корoppi – оз. Перюкс – оз. Шуарыярви // Вопросы геологии, магматизма и метаморфизма докембрия Карелии. Операт.-информ. материалы ИГ КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1994. С. 50–55.

Глебовицкий В. А., Другова Г. М. Границы фаций и субфаций пород, бедных СаО, по данным гранат-биотитовой термо- и барометрии // Проблемы физико-химической петрологии (метаморфизм, магматизм). М., 1979. Т. 1. С. 34–46.

Другова Г. М., Глебовицкий В. А. Некоторые закономерности изменения состава граната, биотита, роговой обманки при региональном метаморфизме // Региональный метаморфизм докембрийских формаций СССР. М.; Л., 1965. С. 33–46.

Кожевников В. Н. Геологическая эволюция Тулосского блока // Гранитоиды архея юго-восточной части Балтийского щита. Л., 1987. С. 11–65.

Кониин В. А. Геология и метаморфизм района оз. Верхнее Куйто – Тоухтуриньярви (Вокнаволоцкий блок, Западная Карелия) // Ранний докембрий Карелии. Петрозаводск, 1987. С. 70–89.

Кониин В. А. Гранитоиды Пяозерско-Тикшеозерского поднятия // Докембрий Северной Карелии. Петрозаводск, 1990. С. 116–141.

Кониин В. А. О таварвинском комплексе // Докембрий Северной Карелии. Петрозаводск, 1994. С. 77–115.

Король Н. Е. Гранулиты и эндрбиты района оз. Керчуг // Вопросы геологии и петрологии докембрийских комплексов Карелии. Операт.-информ. материалы ИГ КФ АН СССР. Петрозаводск, 1979. С. 17–26.

Король Н. Е. Чарнокитоиды Пажминской интрузии и их метаморфические преобразования // Петрология глубокометаморфизованных комплексов Карелии. Петрозаводск, 1983. С. 84–92.

Король Н. Е. Метаморфическая эволюция гранулитового комплекса Северной Карелии // Тез. докл. IV Регионального петрографического совещания по Европейской части СССР «Магматизм, метаморфизм и геохронология докембрия Восточно-Европейской платформы в связи с крупномасштабным картированием». Петрозаводск, 1987. С. 138–139.

Король Н. Е. Метаморфическая эволюция гранулитового комплекса Северной Карелии: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1990. 346 с.

Король Н. Е. Метаморфическая эволюция архейских гранулит-эндрбит-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-эндрбит-чарнокитовых комплексов Карелии и Центральной Финляндии // Материалы Междунар. (X Всерос.) петрографического совещания «Петрография XXI века». Апатиты, 2005а. Т. 3. С. 143–145.

Король Н. Е. Метаморфическая эволюция гранулит-эндрбит-чарнокитовых комплексов Беломорского подвижного пояса (Северная Карелия) // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минералогия. Материалы науч. конф. и путеводитель экскурсии. Петрозаводск, 2005б. С. 191–195.

Король Н. Е. Особенности гранулитовой амфиболитизации в гранулит-эндрбит-чарнокитовых комплексах Карелии // Минералогия, петрология и минералогия докембрийских комплексов Карелии: Материалы юбилейной науч. сессии, посвящ. 45-летию Института геологии Карельского

НЦ РАН и 35-летию Карельского отделения РМО. Петрозаводск, 2007а. С. 41–46.

Король Н. Е. Гранулитовая амфиболитизация в гранулит-эндрбит-чарнокитовых комплексах Карелии // Материалы II Рос. конф. «Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя» по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб., 2007б. С. 151–155.

Костин В. А. Гранитоиды и метасоматиты Водлозерского блока. Петрозаводск, 1989. 164 с.

Котова Л. Н. Условия метаморфизма гнейсо-гранитных ареалов Карелии: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 1993. 270 с.

Крылова М. Д., Климов Л. В. Ромбические пироксены Беломорского комплекса // Геохимия. 1978. № 9. С. 1395–1402.

Курепин В. А. Термодинамические условия образования гранат-кордиерит-биотитовой ассоциации в бердичевских гранитах (Украинский щит) // Минералогический журнал. 1991. Т. 13, № 1. С. 76–97.

Лаврентьева И. В., Перчук Л. Л. Кордиерит-гранатовый термометр // Докл. АН СССР. 1981. Т. 259, № 3. С. 697–700.

Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. М., 1983. Ч. 2. С. 371–768.

Марфуниин А. С. Полевые шпаты – фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение // Труды ИГЕМ АН СССР. Вып. 78. М., 1962. 275 с.

Минералы. Справочник. Т. III, вып. 2. М., 1981. 614 с.

Свириденко Л. П. Метаморфизм докембрия и гранитообразование в раннем докембрии Западной Карелии. Л., 1974. 155 с.

Трегер В. Е. Таблицы для оптического определения породобразующих минералов. М., 1980. 185 с.

Шемакин В. М. Чарнокитоиды раннего докембрия. Л., 1976. 179 с.

Шемакин В. М., Шуркин К. А. Чарнокитовые комплексы Восточной части Балтийского щита // Проблемы магматизма Балтийского щита. Л., 1971. С. 225–231.

Bertrand P., Mercier J.-C. C. The mutual solubility of coexisting ortho- and clinopyroxene: toward an absolute geothermometer for the natural system? // Earth and Planet. Sci. Letters. 1985. Vol. 76, N 1/2. P. 109–122.

Bhattacharya A., Mazumdar A. C., Sen S. K. Fe-Mg mixing in cordierite: constraints from natural data and implications for cordierite-garnet geothermometry in granulites // Amer. Mineral. 1988. Vol. 73, N 3/4. P. 338–344.

Blundy Y. D., Holland T. Y. B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1990. Vol. 104, N 2. P. 208–224.

Cawthorn R. G., Collerson K. D. The recalculation of pyroxene end-member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analyses // Amer. Mineral. 1974. V. 59, N 11–12. P. 1203–1208.

Cebria J. M. PX: A program for pyroxene classification and calculation of end-members // Amer. Mineral. 1990. Vol. 75. P. 1426–1427.

Ellis D. J. Garnet-liquid Fe²⁺ – Mg equilibria and implication for the beginning of melting in the crust and subduction zones // Amer. J. of Science. 1986. Vol. 286, N 10. P. 765–791.

Ferry J. M., Spear F. S. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet // Carnegie inst. Year Book. 1977. Vol. 76. P. 579–581.

Ferry J. M., Spear F. S. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1978. Vol. 66. P. 113–117.

- Fonarev V. I., Graphchikov A. A.* Two-pyroxene thermometry: a critical evolution // Progress in metamorphic and magmatic petrology. A memorial volume in honor of D. S. Korzhinskiy. Edt. L. L. Perchuk. Cambridge University Press. Cambridge, 1991. P. 65–92.
- Goldman D. S., Albee A. L.* Corellation of Mg/Fe partitioning between garnet and biotite with O_{18}/O_{16} partitioning between quartz and magnetite // Amer. J. Science. 1977. Vol. 277. P. 750–787.
- Hammarstrom J. M., Zen E-An.* Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // Amer. Mineral. 1986. Vol. 71, N 11/12. P. 1297–1313.
- He Shaoyuan, Fang Qinghao.* Discussion on the Cd-Ga geothermo-barometer // Journal of the Guilin College of Geology. 1984. Vol. 2. P. 19–29.
- Henry D. J., Medaris L. G.* Application of pyroxene and olivine-spinel geothermometers to the alpine peridotites in Southwestern Oregon // Geol. Soc. Amer. Abstr. with Programs. 1976. Vol. 8. P. 913–914.
- Hodges K. V., Spear F. S.* Geothermometry, geobarometry and the Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire // Amer. Mineral. 1982. Vol. 67, N 11/12. P. 1118–1134.
- Hoinkes G.* Effect of grossular-content in garnet on the partitioning of Fe and Mg between garnet and biotite. An empirical investigation on staurolite-zone from the Austroalpine Schneeberg Complex // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1986. Vol. 92, N 3. P. 393–399.
- Holdway M. J., Lee S. M.* Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical and natural observations // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1977. Vol. 63. P. 175–198.
- Hollister L. S., Grissom G. C., Peters E. K. et al.* Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons // Amer. Mineral. 1987. Vol. 72, N 3–4. P. 231–239.
- Irvine T. N., Baragar W. R. A.* A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Cen. J. Bartn Sci. 1971. Vol. 8. P. 523–548.
- Kretz R.* Transfer and exchange equilibria in a portion of the pyroxene quadrilateral as deduced from natural and experimental data // Geochim. Cosmochim. Acta. 1982. Vol. 46, N 3. P. 411–421.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S. et al.* Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // Eur. J. Mineral. 1997. Vol. 9, N 3. P. 623–651.
- Morimoto N.* Nomenclature of pyroxenes // Mineral. Mag. 1988. Vol. 52. Part 4. P. 535–550.
- Paavola J.* On the Archean high-grade metamorphic rock in the Varpaisjarvi area, Central Finland // Geol. Survey of Finland. 1984. Bull. 327. 33 p.
- Pigage L. C., Greenwood H. J.* Internally consistent estimates of pressure and temperature: the staurolite problem // Amer. J. Sci. 1982. Vol. 282, N 7. P. 943–969.
- Schmidt M. W.* Amphibole composition as a function of buffer assemblage and pressure: an experimental approach // EOS, Transactions, American Geophysical Union. AGU Fall Meeting. 1991. Vol. 72, N 44. P. 547.
- Schumacher J. C.* The estimation of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles / Nomenclature of amphiboles. Report... // Eur. J. Mineral. 1997. Vol. 9, N 3. P. 643–651.
- Sengupta P., Dasgupta S., Bhattacharya P. K., Mukherjee M.* An orthopyroxene – biotite geothermometer and its application in crustal granulites and mantle-derived rocks // J. Metamorphic Geol. 1990. Vol. 8, N 2. P. 191–197.
- Thompson A. B.* Mineral reactions in pelitic rock. II calculations of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations // Amer. J. Science. 1976. Vol. 276. P. 425–454.
- Tilley C.* Enderbite, a new member on the charnockite series // Geol. Mag. 1936. Vol. 73, N 7. P. 312–316.
- Wells P. R. A.* P-T conditions in the Moines of the Central Highlands, Scotland // J. Geol. Soc. London. 1979. Vol. 136. P. 663–671.
- Zinger T. F., Götze J., Levchenkov O. A. et al.* Zircon in polydeformed and metamorphosed precambrian granitoids from the White sea tectonic zone, Russia: morfology, cathodoluminescence, and U-Pb chronology // International Geology Reviev. 1996. Vol. 38. P. 57–73.