

Н. Е. Король

ОСНОВНЫЕ ГРАНУЛИТЫ КАРЕЛИИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ФИНЛЯНДИИ

В докембрии Карелии и Центральной Финляндии выделены и исследованы (Володичев, Король, 1997; Король, 2003) гранулит-эндербит-чарнокитовые (ГЭЧ) комплексы или совокупность метаморфических, магматических, ультраметагенных и метасоматических пород, близких по условиям и времени образования и принадлежащих к гранулитовым этапам метаморфической эволюции архейских образований блоков земной коры. Реперными районами (рис. 1) их изучения являются – в Беломорской структуре: [1]* – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, [2] – оз. Керчуг, [3] – полуострова Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть – оз. Топозеро, [4] – губа Поньгома – п-ов Поньгомнаволоок Белого моря, в Карельской структуре: [5] – водораздел озер Пяозеро – Тикшеозеро, [6] – пос. Вокнаволоок и [7] – оз. Тулос. Кроме того, выделяются участки: [8] – реки Водлы (среднее течение) и [9] – пос. Шальского (восточное побережье Онежского озера). В Центральной Финляндии для исследований используются данные (Raavola, 1984) по району оз. Варпайсьярви – [F].

В ГЭЧ комплексах [1–6, 8–9, F] выделяются два, а в [7] – четыре этапа метаморфической эволюции (Король, 2003). Первый (I) гранулитовый этап осуществляется во всех комплексах в режиме умеренных и (или) пониженных давлений и в пределах колебаний температур 750–870 °С по схеме В. А. Глебовицкого (Фашии метаморфизма..., 1990). В ГЭЧ комплексе [7] Тулосского блока выделяется второй гранулитовый этап или гранулитовый метаморфизм II (Володичев и др., 1994; Володичев, 1997) 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 ± эпидот-амфиболитовой [1–9, F], иногда до зеленосланцевой [5, 6, 9] фации. В Беломорской структуре [1–4] диафторические процессы отражают коллизионный этап ее развития и соответствуют высокотемпературному (вторая генерация) кианитовому метаморфизму (Володичев, 1990, 2002). Давление при диафторезе, по сравнению с таковым гранулитовым, значительно

но 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.

Беломорские [1–4] и тикшеозерско-пяозерский [5] ГЭЧ комплексы представлены супракрустальными гранулитами основного [1–5], среднего [1–4] и кислого [1, 3, 4] составов, тесно ассоциирующими с ними магматическими породами ряда: ультрабазиты – основные ультрабазиты – меланократовые габброиды [1–4], габброанортозиты – анортозиты [1]; породами единой магматической серии: габброиды – габбродиориты – гиперстеновые (диориты – кварцевые диориты – тоналиты ± плагиограниты) [1–2, 4, 5] – и связанными с ними порфириовидными чарнокитоидами топозерского и вичанского типов [1, 3, 4]; ультраметагенными и интрузивными эндербитами – чарнокитоидами [1–5] периода региональной мигматизации и гранитизации. Геологическая последовательность формирования гранулитовых пород соответствует представленной выше в ГЭЧ комплексах [1–3, 5]. На п-ове Поньгомнаволоок [4] интрузивные и жильные эндербиты – чарнокиты предшествуют образованию пород единой магматической серии от габброидов до гиперстеновых кварцевых диоритов – пироксеновых гранодиоритов (Первый и Второй Поньгомнаволоокские массивы). В ГЭЧ комплексах Карельской структуры [6–7, 9] и Варпайсьярвинского блока [F] состав преимущественно «двухкомпонентный» – супракрустальные гранулиты и эндербиты ± чарнокиты.

Наиболее ранними компонентами ГЭЧ комплексов являются супракрустальные породы (вероятно, в большей степени метавулканиды) – гранулиты основного, среднего и кислого составов, составляющие ≤5% от всех гранулитовых образований. В большинстве ГЭЧ комплексов преобладают основные гранулиты (ОГ), в Тулосском [7] на территории оз. Короппи – оз. Перюкс – оз. Широтное более распространены средние (СГ). По-видимому, последняя особенность характерна и для района [8]. В губе Поньгома [4] (Володичев, 1990) наряду с метабазами широко развиты метаандезиты и метадациты. Наименьший объем среди супракрустальных гранулитовых образований [1, 3] принадлежит их кислым разновидностям.

Обязательной составляющей всех ГЭЧ комплексов являются основные гранулиты – метаморфические (гранулитовая фация) супракрустальные породы, представленные двупироксеновыми и двупироксен-

* Номера реперных районов развития ГЭЧ комплексов в статье приводятся в квадратных скобках.

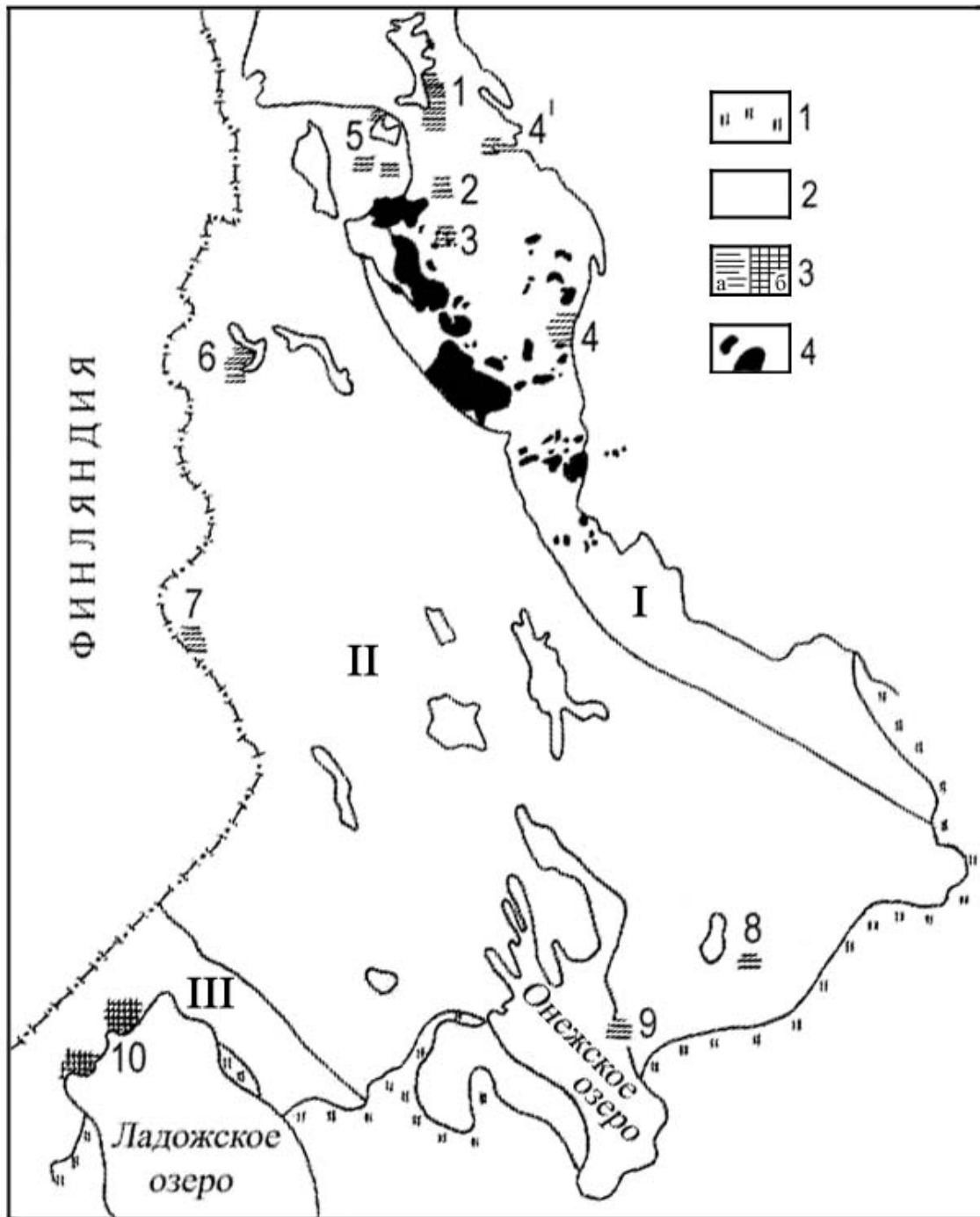


Рис. 1. Схема распространения пород гранулит-эндербит-чарнокитовых (ГЭЧ) комплексов в докембрии Карелии. Составлена О. И. Володичевым, Н. Е. Король (1997) с добавлениями автора статьи на основе «Схемы...» (Володичев, 1987):

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 тодозерского и вичанского типов и гнейсов по ним. Районы развития ГЭЧ комплексов: 1 – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, 2 – оз. Керчуг, 3 – п-ва Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть, 4 – губа Поньгома, п-ов Поньгомнаволоок, 4' – пос. Чула, 5 – оз. Тикшеозеро – оз. Пяозеро, 6 – оз. Верхнее Куйто (пос. Вокнаволоок), 7 – оз. Тулос, 8 – р. Водла, 9 – пос. Шальский, 10 – Северо-Западное Приладожье

амфиболовыми кристаллическими сланцами. Условно к этой группе нами отнесены пользующиеся достаточно широким распространением практически во всех районах амфиболиты, связанные с кристаллическими сланцами взаимопереходами и образовавшиеся

по ним в условиях гранулитовой фации при повышенной активности водно-натриевых флюидов.

Спецификой геологического положения основных гранулитов ГЭЧ комплексов является их фрагментарность или распространение в виде ксенолитов среди

магматических интрузивных образований, а также в качестве участков и блоков субстрата в зонах мигматизации. Содержание ксенолитов ОГ в интрузивных породах может быть различным и не имеет четких закономерностей как в пределах одного, так и всех ГЭЧ комплексов. Трудность выявления двупироксеновых кристаллических сланцев при полевых наблюдениях связана с мелкозернистостью состава и преобладающим развитием двупироксен-амфиболовых парагенезисов гранулитовой фации. Последние преимущественно и фиксируются исследователями. Однако в ксенолитах основных гранулитов в ряде случаев микроскопически можно наблюдать редкие небольшие по размерам участки двупироксеновых разновидностей, иногда с незначительным содержанием наложенной буровато-зеленой роговой обманки (Нв)*. Реже встречаются и чистые двупироксеновые кристаллические сланцы, даже [1] с редкими жилками эндербитов ранней мигматизации. Ксенолиты двупироксеновых и двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцев обычно имеют неправильную (или) округлую, линзовидную, вытянутую и другие формы, размеры от десятка сантиметров до нескольких метров, четкие и резкие контакты.

В областях развития мигматитов [1–2, 5–7, F] (от жильных и ветвистых до агматитов и небулитов) субстрат, представленный основными гранулитами (двупироксен-амфиболовыми кристаллическими сланцами), может составлять до 60–80% [1, 2, 4] общей площади. В «полях» [1, 4–6, 7] эндербитов – чарнокитов его содержание уменьшается до 10% (и менее). В участках с наименьшей сохранностью субстрата ксенолиты обычно имеют небольшие размеры, неправильную или округлую, линзовидную форму и резкие, четкие контакты с эндербитами. Характер контактов преимущественно сохраняется и в зонах мигматизации с увеличенным содержанием субстрата, где двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы слагают различных размеров (от <1 до нескольких метров) участки и блоки неправильной формы, инъецированные жильным материалом преобладающе эндербитового состава. Встречаются и ксенолиты-останцы более крупных размеров среди мигматитовых полей и интрузивных пород [1, 6] с аналогичным типом контактов между гранулитовыми участками и магматическими или ультраметабазальными образованиями. Эндербиты часто инъецируют (ветвистый, сетчатый характер мигматитов) или прорывают в виде жил ксенолиты-останцы.

Практически во всех формах проявления основных гранулитов, сложенных двупироксен-амфиболовыми кристаллическими сланцами [1–2, 4–7, 9, F], наблюдаются их постепенные переходы к более меланократовым зонам и участкам, соответствующим амфиболитам гранулитовой фации. В районе р. Водлы [8] супракрystalльные амфибол-биотитовые гнейсы преимущественно среднего состава и содержащиеся в них в виде реликтовых участков и линз амфиболиты являются единственными образованиями, которые

сохранили признаки «гранулитового существования» ГЭЧ комплекса среди диафоритов по ним и поздним мигматитам.

Первичная природа основных гранулитов обычно неизвестна, так как высокотемпературный метаморфизм затушевывает первоначальные признаки пород. По вытянутым реликтовым участкам гранулитов, иногда перемежающихся по составу от основных до средних и кислых, часто предполагается их эффузивное происхождение [1, F]. Единственным местом, где достоверно определена первично вулканическая природа пород, преобразованных в гранулиты, является участок Вичаны [3] оз. Кереть (Володичев, 1990), где сохранились эффузивы главным образом основного, а также среднего и кислого составов, подверженные самому раннему статическому гранулитовому метаморфизму. При последующей перекристаллизации в изофациальных условиях они теряют первичные эффузивные признаки и в дальнейшем наблюдаются в ксенолитах среди эндербитов и чарнокитов как основные, средние, кислые гранулиты.

Петрографическая характеристика ОГ сводится к следующему. Супракрystalльные гранулиты основного состава – двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы (табл. 1) имеют, как правило, мелкозернистое (реже среднезернистое) строение и темно-серую и серую окраску.

Двупироксеновые кристаллические сланцы в ГЭЧ комплексах очень редки. Как уже отмечалось, в районе [3] О. И. Володичевым (1990) были описаны metabазальты – тонкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы, сохранившие первичные структурно-текстурные признаки вулканитов. Наименее метаморфизованные из них представлены тонкозернистой плотной афанитовой породой с бластофитовой или долеритовой (?) структурой (рис. 2). В породах присутствует плагиоклаз (Pl – 55–77% An) с хорошо выраженной лейстовидной формой зерен. Мелкие зерна пироксенов (моноклинный – Срх и ромбический – Нур) заполняют промежутки между плагиоклазами. Специфика этих пород (Володичев, 1990) заключается в сложности разделения метаморфических и магматических пироксенов, хотя метаморфическая перекристаллизация их очевидна. Данные образования фиксируют вместе с метавулканитами среднего и кислого составов самый ранний период метаморфической эволюции, проявленный только в ГЭЧ комплексе [3]. Описанные выше metabазальты в следующий, первый, период гранулитовой эволюции перекристаллизуются (рис. 3) в мелко-, среднезернистые двупироксеновые кристаллические сланцы с гранобластовой структурой и массивной текстурой (рис. 4). Наблюдаются и тектонизированные разновидности ОГ с немаглобластовой структурой и плоскопараллельной текстурой. Парагенезисы metabазальтов и основных гранулитов по ним представлены в табл. 2. В мелко-, среднезернистых их разновидностях под влиянием эмбрионального процесса эндербитовой мигматизации появляется наложенная буровато-зеленая роговая обманка. Двупироксеновые кристаллические сланцы, часто с незначительным развитием Нв, наблюдаются (рис. 5) и в ГЭЧ комплексе [1], их парагенезисы представлены в табл. 2. Они также имеют гранобластовые структуры

* Символы минералов: Нв – амфибол – обыкновенная роговая обманка, Bt – биотит, Нур – гиперстен, FNур – феррогиперстен, Qz – кварц, Срх – моноклинный пироксен, Pl – плагиоклаз, An – анортит.

Таблица 1

Средние химические составы основных гранулитов ГЭЧ комплексов Карелии и Центральной Финляндии

№ 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	49,09	1,10	14,77	3,25	9,10	0,18	7,44	10,65	2,62	0,54	0,12	1,06	99,92	55,02	62,41	8
2	48,21	1,00	15,01	3,04	9,20	0,189	8,35	10,53	2,45	0,55	0,11	1,26	99,90	52,42	59,45	43
3	48,72	0,89	14,61	3,28	8,61	0,22	8,09	10,56	2,69	0,80	0,09	1,20	99,76	51,56	59,51	17
4	48,44	0,98	14,88	3,13	9,04	0,20	8,18	10,55	2,53	0,61	0,11	1,22	99,87	52,50	59,80	68
5	49,55	0,91	16,29	2,09	9,28	0,19	7,47	11,29	2,14	0,09	0,12	0,45	99,87	55,40	60,35	7
6	49,22	0,91	15,89	1,87	9,99	0,18	8,70	10,47	1,91	0,30	0,11	0,55	100,10	53,45	57,68	6
7	49,40	0,91	16,10	1,99	9,61	0,19	8,04	10,91	2,03	0,18	0,12	0,50	99,98	54,45	59,06	13
8	48,07	1,07	14,30	3,43	10,50	0,24	7,12	10,99	2,25	0,43	0,12	1,29	99,81	59,59	66,18	4
9	49,14	0,94	14,85	3,88	8,12	0,18	6,55	9,45	4,08	0,89	0,16	1,28	99,52	55,35	64,69	1
10	49,66	0,92	16,45	3,29	6,62	0,17	6,31	10,64	3,33	1,07	0,14	1,26	99,86	51,20	61,10	4
11	49,56	0,92	16,13	3,41	6,92	0,17	6,36	10,40	3,48	1,03	0,14	1,26	99,78	52,11	61,89	5
12	49,96	0,87	15,15	3,40	8,64	0,20	6,52	9,68	3,19	1,04	0,15	1,16	99,96	56,99	64,87	13
13	49,47	0,81	15,31	3,00	7,82	0,20	7,54	9,28	3,33	1,14	0,21	1,56	99,67	50,91	58,93	8
14	49,77	0,85	15,21	3,25	8,33	0,20	6,91	9,53	3,24	1,08	0,17	1,31	99,85	54,66	62,63	21
15	49,27	1,48	16,12	3,09	7,11	0,18	6,94	8,37	3,23	1,21	–	–	–	50,60	59,51	13
16	48,86	0,80	14,62	5,01	7,68	0,20	7,25	9,64	3,11	0,94	–	–	–	51,44	63,64	4
17	50,02	1,27	15,89	3,50	6,98	0,18	6,58	8,41	3,33	1,18	–	–	–	51,47	61,43	23
18	50,87	0,72	15,88	10,85†	–	0,17	6,88	10,19	3,17	0,56	–	–	99,29	–	61,20	9

Примечание. 1–4 – [ГЭЧ комплексы 1–2]: 1 – двупироксеновые (± амфиболсодержащие) кристаллические сланцы, 2 – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, 3 – амфиболиты гранулитовой фации, 4 – средний состав этих пород, оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг; 5–7 – [3]: 5 – метабазальты (тонкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы с сохранением реликтовых офитовых структур), 6 – мелко-, среднезернистые двупироксеновые кристаллические сланцы, 7 – средний состав этих пород, п-ова Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть; 8 – [5] – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, архипелаг островов в СЗ части оз. Тикшеозеро; 9–11 – [6]: 9 – двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, 10 – амфиболиты гранулитовой фации, 11 – средний состав этих пород, пос. Вокнаволоок; 12–14 – [7]: 12 – амфиболсодержащие двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, 13 – амфиболиты гранулитовой фации, 14 – средний состав этих пород, оз. Тулос – оз. Корoppi – оз. Перюкс – оз. Широное; 15 – [9] – амфиболсодержащие двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, амфиболиты гранулитовой фации, пос. Шальский – восточное побережье Онежского озера; 16 – [8] – амфиболиты гранулитовой фации, р. Волда (среднее течение); 17 – [8–9] – средний состав основных гранулитов двух предыдущих районов; 18 – [F] – двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, амфиболиты гранулитовой фации, оз. Варпайсьярви Центральной Финляндии.

При составлении таблицы были использованы следующие рукописные и печатные материалы: Король, 1990 – [1–2]; Володичев, 1990, 1997 – [1–3], [7]; Коншин, 1990 – [5]; Володичев и др., 1985 – [6]; Свириденко, 1974 – [6–7]; Кожевников, 1987 – [7]; Костин, 1989 – [8–9]; Лобач-Жученко и др., 1984 – [9]; Paavola, 1984 – [F].

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

Таблица 2

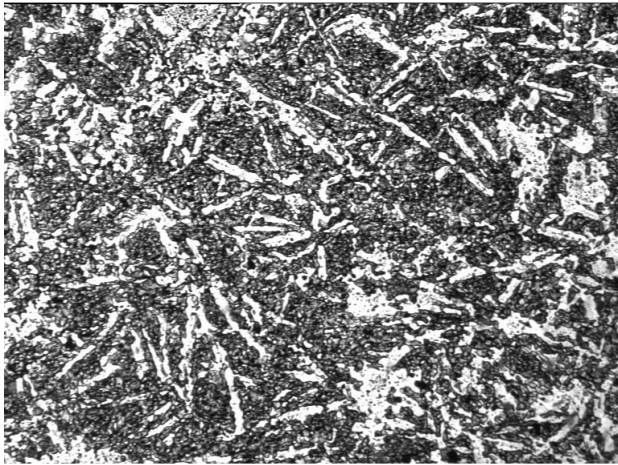
Парагенезисы основных гранулитов Карелии и Центральной Финляндии

№	Парагенезисы	Породы
1	Нур + Срх + Pl ₇₅	Двупироксеновые кристаллические сланцы
2	Нур _{40–50} + Срх _{26–35} + Нб _{39–51} ^{1,45–1,68} + Pl _{51–70}	Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
3	Нб ₄₈ + Pl _{40–55}	Амфиболиты гранулитовой фации
4	Нур _{41–44} + Срх _{29–31} + Нб _{42–46} ^{1,56–2,74} + Pl _{>50}	Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
5	Нур _{40–50} + Срх _{26–35} ± Нб _{39–51} ^{1,45–2,74} + Pl _{51–75}	Двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
6	Нб ₄₈ + Pl _{40–55}	Амфиболиты гранулитовой фации
7	Нур + Срх + Pl _{55–77}	Метабазальты – тонкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы
8	Нур _{43–46} + Срх ₃₁ + Pl _{51–59}	Мелко-, среднезернистые двупироксеновые кристаллические сланцы
9	Нб + Pl _{40–50}	Незначительная амфиболитизация двупироксеновых кристаллических сланцев
10	Нур _{36–42} + Срх _{20–25} ± Нб + Pl _{>50}	Двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
11	Нб + Pl	Амфиболиты гранулитовой фации
12	Нур ₄₈ + Срх ₃₆ + Нб ₅₁ ^{2,06} + Pl _{>50}	Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
13	Нур + Срх _{33–39} + Нб _{45–53} ^{1,47–1,70} + Pl _{>50}	Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
14	Нб _{47–54} ^{1,42–1,80} + Pl ₄₀	Амфиболиты гранулитовой фации
15	FNур ₅₅ + Срх ₃₉ + Нб _{56–57} ^{1,92–2,07} + Bt + Pl _{40–50}	Реметаморфизованные двупироксеновые кристаллические сланцы с Нб и Bt
16	FNур ₅₃ + Срх + Нб _{51–52} ^{2,75–2,81} + Bt ₅₀ ^{4,35} + Pl _{40–45}	Реметаморфизованные двупироксеновые кристаллические сланцы с Нб и Bt
17	Нур-FНур _{50–54} + Срх _{30–41} + Нб ₅₁ ^{1,65–2,14} ± Bt + Pl _{50–55}	Двупироксен-амфиболовые (±Bt) кристаллические сланцы
18	Нб ₄₅ ^{1,44} + Pl _{40–48} ± Bt	Амфиболиты гранулитовой фации
19	Нб ₅₃ ^{1,81–2,25} ± Bt ₄₇ ^{4,00} + Pl ₄₀	Амфиболиты гранулитовой фации
20	Нур ₄₇ + Срх + Pl _{50–55}	Двупироксеновые кристаллические сланцы
21	Нур + Срх + Нб + Pl _{50–55}	Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
22	Нб + Pl _{40–50}	Амфиболиты гранулитовой фации
23	Нур _{42–47} + Срх _{29–33} ± Нб _{40–44} ^{2,20–2,42} ± Bt _{38–43} ^{4,36–4,75} + Pl _{40–55}	Двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
24	Нур _{35–46} + Срх _{24–34} ± Нб _{33–49} ^{1,70–2,40} + Pl _{>50}	Двупироксеновые и двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы
25	Нб + Pl _{40–45}	Амфиболиты гранулитовой фации

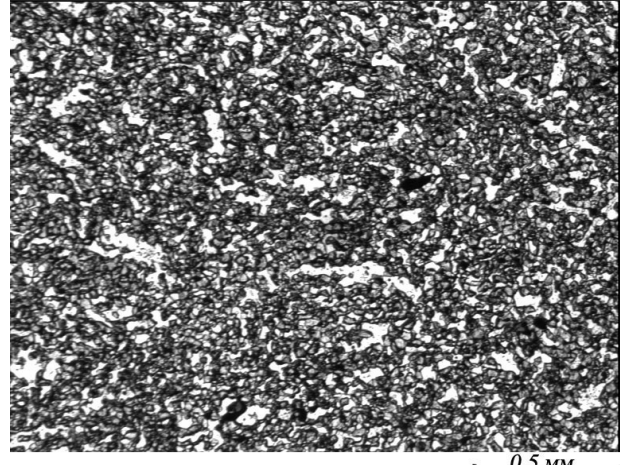
Примечание. 1–3 – [1] – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро, 4 – [2] – оз. Керчуг, 5–6 – [1–2] – оз. Нотозеро – оз. Ковдозеро и оз. Керчуг; 7–9 – [3] – п-ва Вичаны и Мундиннаволоок оз. Кереть; 10–11 – [4] – губа Поньгома и п-ов Поньгомнаволоок Белого моря; 12 – [5] – оз. Тикшеозеро; 13–14 – [6] – р-н пос. Вокнаволоок; 15–16 – [7] – оз. Корoppi – оз. Перюкс – оз. Широное; 17–18 – [7] – оз. Тулос; 19 – [8] – р. Волда; 20–23 – [9] – р-н пос. Шальского – восточное побережье Онежского озера; 24–25 – [F] – оз. Варпайсьярви (Центральная Финляндия).

Для составления парагенезисов автором использованы: фактический шлифовый материал – собственный [ГЭЧ комплексы 1–2, 3, 6, 7], О. И. Володичева [1–4, 6, 7, 9, F], В. А. Коншина [1, 3, 5, 6], Л. С. Головановой [1], А. С. Семенова [1, 3], Е. И. Лобанок [7], Л. П. Свириденко [7], В. Н. Кожевникова [7], В. А. Костина [9]; а также рукописные и печатные материалы – Король, 1990; Володичев, 1990, 1997; Крылова, Климов, 1978; Другова и др., 1977; Коншин, 1987, 1990; Коншин, Щипцова, 1990; Свириденко, 1974; Котова, 1993; Котова и др., 1995; Лобач-Жученко и др., 1989; Костин, 1989; Paavola, 1984.

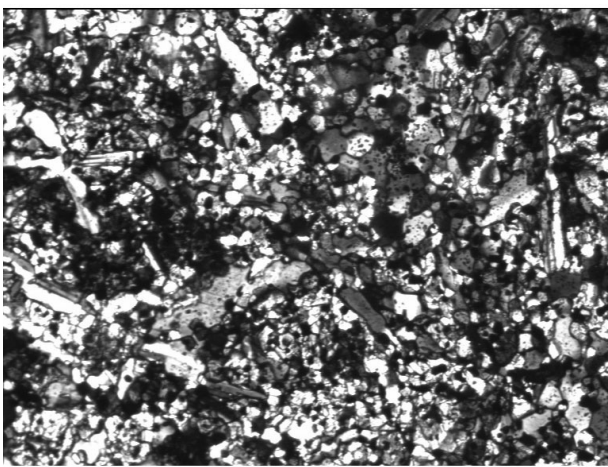
Цифры внизу символов железо-магнезиальных минералов обозначают общую железистость F – (Fe²⁺ + Fe³⁺/Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mg) × 100%, у плагиоклазов – содержание анортита, сверху у амфиболов и биотитов – TiO₂ в весовых процентах.



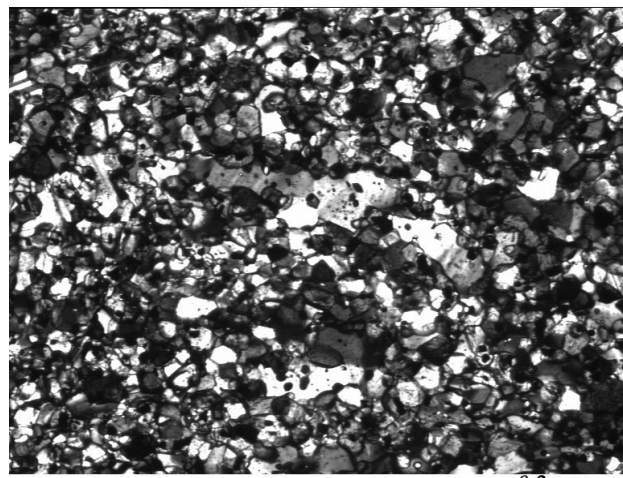
а



а



б



б

Рис. 2. Метабазальты – тонкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы с сохранением элементов первичных эффузивных структур

Бластоофитовая структура с хорошо выраженной лейстовидной формой зерен плагиоклаза и участками начальной перекристаллизации данного минерала в мелкозернистый гранобластовый агрегат. Шлиф В-2202, без анализатора (а) и с анализатором (б). Полуостров Вичаны оз. Кереть [3]

и массивные текстуры. Двупироксеновые кристаллические сланцы, слагающие ксенолит в интрузивном теле габбродиоритов – гиперстеновых диоритов губы Миронова и пронизанные жилками эндербитов ранней мигматизации, содержат самый основной для ГЭЧ комплекса [1] плагиоклаз (75% An) – битовнит. Из всей группы ОГ только в двупироксеновых кристаллических сланцах районов [1, 3] присутствуют плагиоклазы, достигающие содержаний 75–77% An (битовниты). В целом для этих разновидностей пород характерны лабрадоры – битовниты (табл. 2). Ранние двупироксеновые парагенетические ассоциации (табл. 2), чаще всего в виде реликтовых участков среди двупироксен-амфиболовых, обнаружены в основных гранулитах из ксенолитов в Карлицком интрузивном массиве эндербитов – чарнокитов района [9] и в субстрате мигматитов [4 – губа Поньгома], в

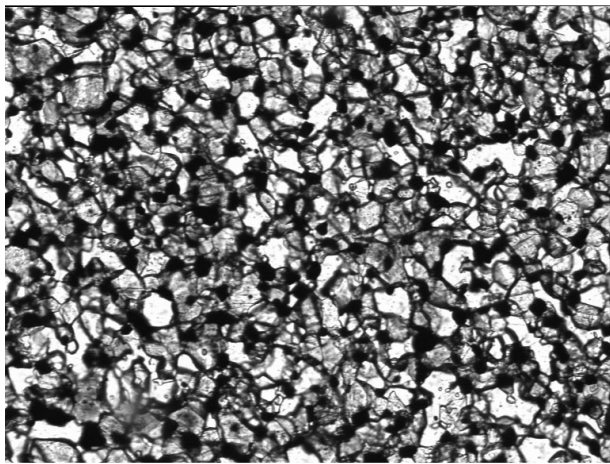
Рис. 3. Перекристаллизация метабазальтов в мелкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы

Лейстовидные формы зерен плагиоклаза (а), заполненные его мелкозернистым перекристаллизованным гранобластовым агрегатом (б). Шлиф В-2511-5, без анализатора (а) и с анализатором (б). Участок Вичаны [3]

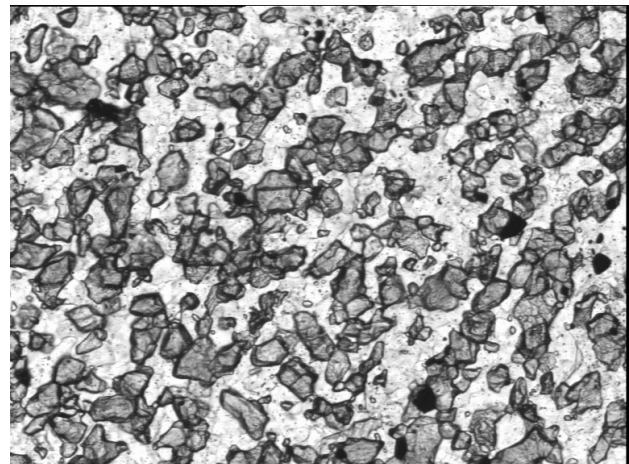
редких случаях (рис. 6) – в ОГ среди эндербитов пос. Вокнаволок [6]. Подобные парагенезисы выделяет среди двупироксеновых амфиболитов* Варпайсъярвинского блока [F] и Е. Паавола (Paavola, 1984), они, вероятно, тоже самые ранние.

Таким образом, для всех двупироксеновых кристаллических сланцев ГЭЧ комплексов районов [1, 3, 4, 6, 9, F] наиболее характерны следующие особенности: гранобластовые структуры, в основном массивные текстуры; парагенезис – Нур + Сrx + Pl (лабрадор – битовнит); сохранность в виде реликтов среди амфиболитованных в гранулитовой фации их разновидностей. Первичная базальтовая природа

* Двупироксеновый амфиболит (Paavola, 1984) – по петрографическим данным аналог двупироксен-амфиболового кристаллического сланца.



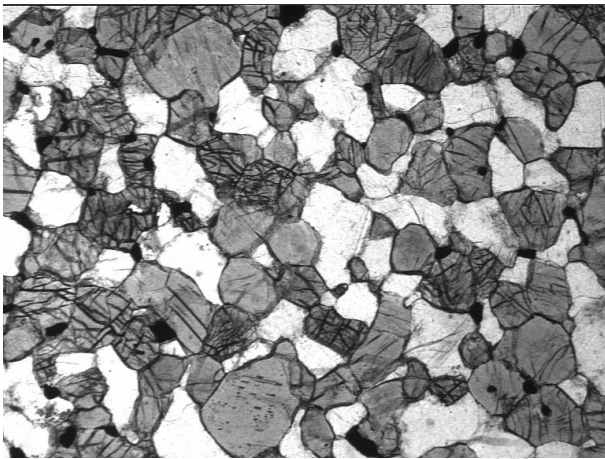
а



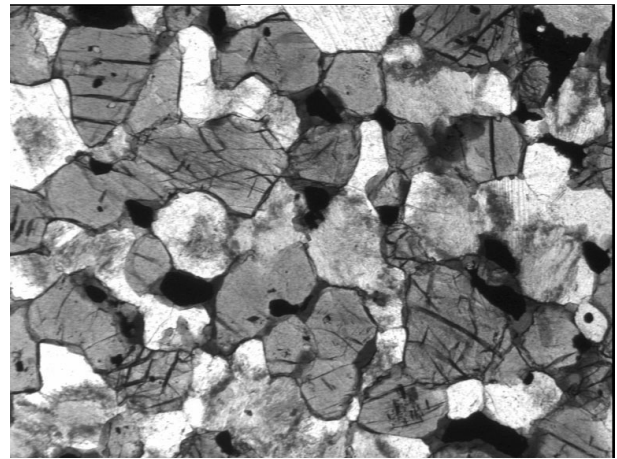
б

Рис. 4. Мелкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы по metabазальтам участка Вичаны [3]

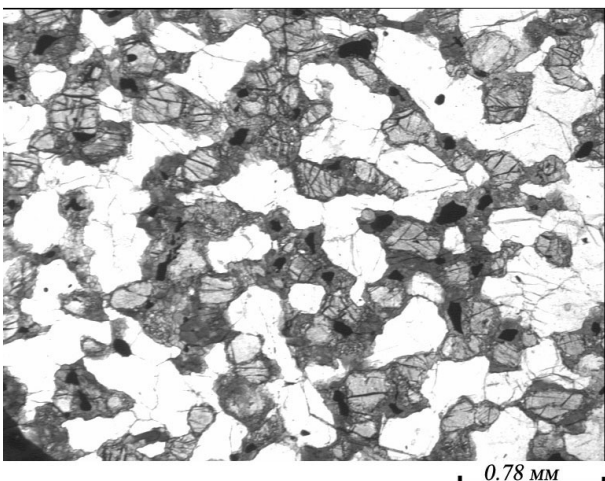
Шлифы – В-2511-5-3 (а), А-750-6 (б), без анализатора



а



б



в

Рис. 5. Мелкозернистые двупироксеновые кристаллические сланцы:

а – практически без буровато-зеленой роговой обманки, б – с незначительным ее развитием (редкие каймы по пироксенам, участки), в – амфиболсодержащие. Шлифы: В-2502-1 (а), К-2229 (б), К-2225-1 (в) – без анализатора. Оз. Нотозеро [1]

двупироксеновых кристаллических сланцев достоверно устанавливается только на участке Вичаны [3], наложенная амфиболитизация здесь практически не проявлена.

Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы (табл. 1) представлены в ГЭЧ комплексах [1–7, 9, F]. От двупироксеновых разновидностей они отличаются повышенным содержанием буровато-зеленой

[1–2, 4, 6–7, 9], бурой – буровато-зеленой [5, 9], бурой [7], коричневатой-зеленой [F] роговой обманки и понижением количества плагиоклаза. Породы характеризуются гранобластовыми, но чаще немагнотранобластовыми структурами, массивными, реже гнейсовидными текстурами и равновесными соотношениями $\text{Hyr} + \text{Srx} + \text{Hb} + \text{Pl}$ (табл. 2, рис. 7). Минералогические исследования показали, что составы ромбического и моноклинного пироксенов в двупироксен-амфиболовых кристаллических сланцах по сравнению с двупироксеновыми не изменяются, а плагиоклазы либо покрисляются, либо остаются прежними (Король, 2003). В конкретном районе [1] установлено покрипление плагиоклазов при переходе от двупироксеновых (75% An) к двупироксен-амфиболовым (60% An) кристаллическим сланцам (Король, 1990).

В районе оз. Широкого [7] О. И. Володичевым (1997) изучены преобразования основных гранулитов в их реметаморфизованные разновидности в изофациальных условиях (гранулитовый метаморфизм II). При перекристаллизации ОГ наблюдается формирование крупных пойкилопорфиобластических пироксенов; реже плагиоклазов с включениями кварца; новообразованных буровато-зеленой и бурой (ярко-бурой) роговых обманок и ярко-коричневого биотита. По характеру и времени кристаллизации были выделены первая и вторая генерации (рис. 8) в каждом из отличающихся по цвету амфиболов и в биотите; детально изучены особенности составов и соотношения с пироксенами каждой из них, образовавшихся, вероятно, соответственно на первой и главной стадиях процесса перекристаллизации гранулитов (гр. мет. II). Данным автором определено соответствие двух генераций роговых обманок и одновременных с ними ярко-коричневых биотитов условиям гранулитовой фации II и более поздний характер их образования относительно ранних гранулитовых парагенезисов (гр. мет. I). Реметаморфизованные (гр. мет. II) основные гранулиты представлены бескварцевыми среднезернистыми двупироксеновыми кристаллическими сланцами с варьирующим содержа-

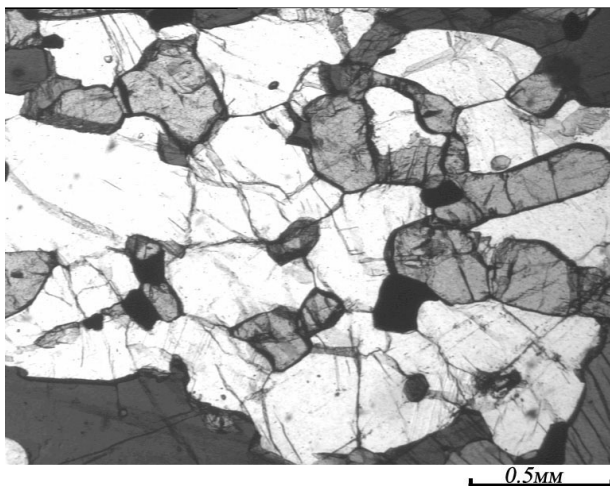
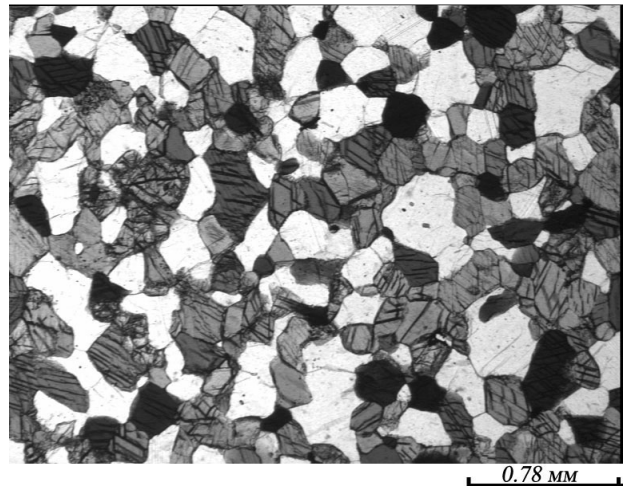


Рис. 6. Реликтовые участки двупироксеновых кристаллических сланцев (с незначительным содержанием Hb) среди двупироксен-амфиболовых, из ксенолита в эндебитах

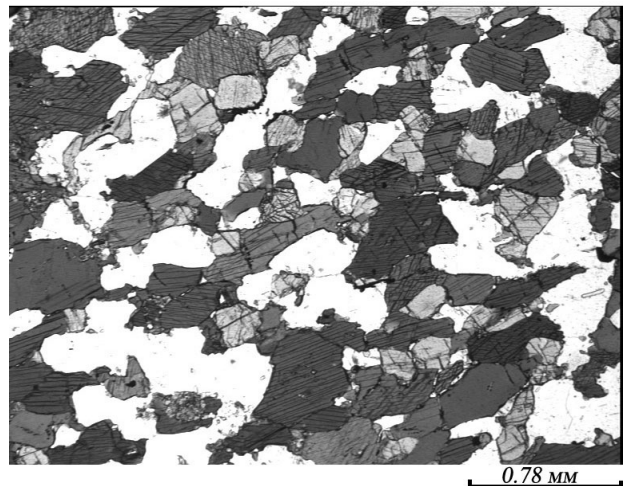
Шлиф К-2322-30, без анализатора. Пос. Вокнаволок [6]

нием буровато-зеленой и бурой роговых обманок. Структура пород немагнотранобластовая с участками пойкилопорфиобластической. По содержанию амфиболов выделяются, кроме приведенных выше, двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы и амфиболиты, двупироксеновые кристаллосланцы с ярко-коричневым Vt и Hb (буровато-зеленой и бурой). Парагенезисы последних представлены в табл. 2 (№ 15 и 16). Там же (табл. 2, № 17) приведена парагенетическая ассоциация ОГ, совмещающая условия первого гранулитового метаморфизма и второго для района оз. Тулос [7], составленная автором статьи по материалам Л. П. Свириденко (1974) и Л. Н. Котовой и др. (1995). В парагенезисе ГЭЧ комплекса [7] – реметаморфизованных основных гранулитов и нерасчлененных (на гр. мет. I и II) – входит феррогиперстен, реже гиперстен на границе с ГНур. В остальных районах развития ОГ ромбический пироксен представлен только гиперстеном.

Подобные описанным выше, но менее изученные процессы наблюдаются и в ГЭЧ комплексе района



а



б

Рис. 7. Двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы с гранобластовыми (а) и немагнотранобластовыми (б) структурами

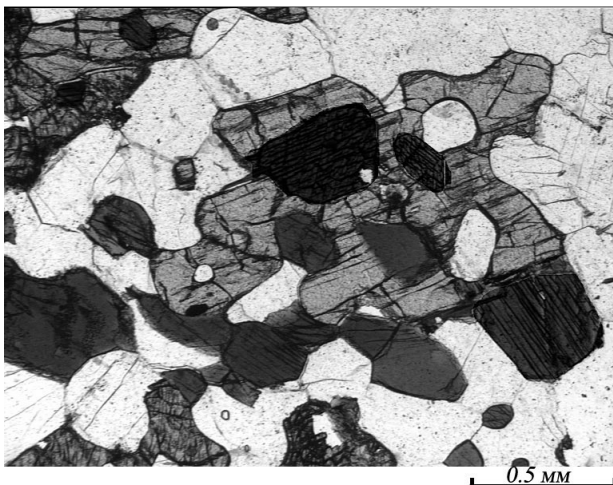
Шлифы: В-2153а-2 (а) и К-848 (б), без анализатора. Район оз. Нотозеро [1]

[9]. В табл. 2 приведен парагенезис (№ 23) основных гранулитов, включающий их перекристаллизацию в изофациальных условиях с укрупнением зерен минералов и появлением ярко-коричневого биотита. Плаггиоклазы в перекристаллизованных ОГ [7, 9] покрываются от лабрадора до андезина.

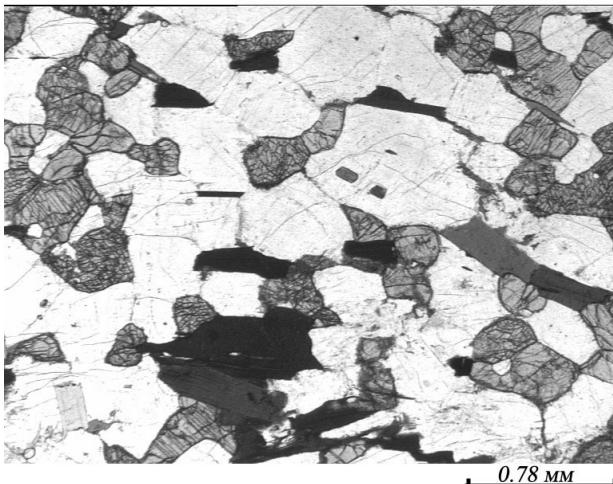
Амфиболиты гранулитовой фации [1–2, 4–9, F] – мелко-, среднезернистые, темно-серые и темные породы, состоят, в основном, из буровато-зеленой [1, 2, 4, 6, 7, 9], бурой – буровато-зеленой [5, 9], бурой, коричневой [8], коричневатозеленой [F] роговой обманки и равновесного с ней плаггиоклаза (40–50, до 55% An) – лабрадора – андезина (табл. 1, 2). Амфиболиты характеризуются гранонематобластовыми и нематобластовыми структурами (рис. 9, а), массивными и гнейсовидными текстурами. Породы образуются по

двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам в зонах локального усиления амфиболитации в условиях гранулитовой фации. Иногда в амфиболитах сохраняются (рис. 9, б) реликтовые пироксены [1, 2, 5, 6]. Парагенезисы амфиболитов гранулитовой фации представлены в табл. 2. Составы роговых обманок (Король, 2003) при превращении кристаллосланцев в амфиболиты либо не изменяются [1–2, 6], либо незначительно уменьшается железистость (F) и содержание TiO_2 в них [7] (табл. 2). В районе р. Водлы [8] амфиболиты являются единственными представителями основных гранулитов ГЭЧ комплекса и содержат наряду с бурой – коричневой роговой обманкой парагенетичный ярко-коричневый биотит (Vt) гранулитовой фации (табл. 2).

Итак, общими петрографическими особенностями для амфиболитов всех ГЭЧ комплексов [1–2, 4–9, F] являются: образование по двупироксен-амфиболовым кристаллическим сланцам; идентичность структур;



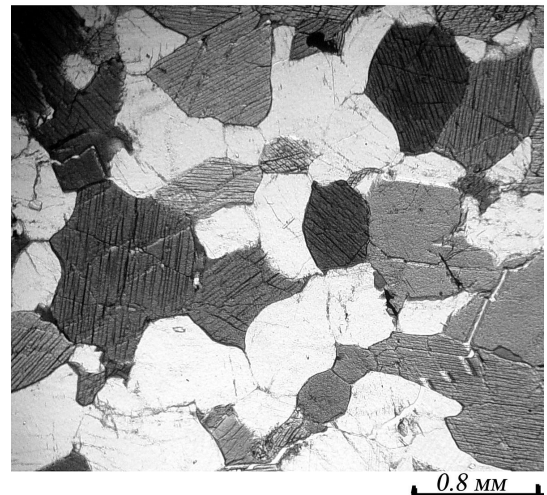
а



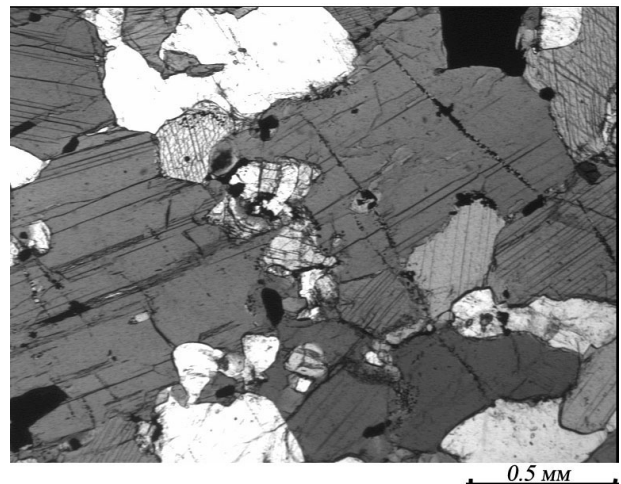
б

Рис. 8. Формы выделения бурой роговой обманки (а) и ярко-коричневого биотита (б) в реметаморфизованных основных гранулитах

Hb₁ и Vt₁ (первая генерация) – субидiomорфные, идиоморфные и близкие к ним включения в пироксенах и плаггиоклазах; Hb₂, Vt₂ (вторая генерация) – зерна неправильной формы, развивающиеся по пироксенам. Шлифы: Л-14-7 (а), К-34-1 (б), без анализатора. Район оз. Широтного – восточное побережье оз. Тулос [7]



а



б

Рис. 9. Амфиболиты гранулитовой фации

Равновесные амфибол (Hb) и плаггиоклаз (а); реликты гиперстена (центральная часть снимка) в буровато-зеленой роговой обманке (б). Шлифы: В-202в (а) и В-1423-5 (б), без анализатора. Районы: восточное побережье Онежского озера [9] и оз. Керчуг [2]

Hb + Pl (преимущественно) парагенезисы, с ± Vt – в районе [8] и, очевидно, в зонах реметаморфизованных основных гранулитов (гр. мет. II) [7].

Средние химические анализы основных гранулитов всех ГЭЧ комплексов приведены в табл. 1 и отражены на диаграмме AFM (Irvine, Baragar, 1971), разделяющей поля толеитового и известково-щелочного составов (рис. 10). По району оз. Тулос [7] используются анализы пород, претерпевших процессы гранулитового метаморфизма I и II. Величины общей железистости (F %) колеблются в средних химических анализах ОГ (табл. 1) ГЭЧ комплексов в пределах значений: 59,06 [3] – 59,51 [9] – 59,80 [1–2] – 61,20 [F] – 61,43 [8–9] – 61,89 [6] – 62,63 [7] – 66,18 [5]. К толеитовой серии пород можно отнести основные гранулиты ГЭЧ комплексов [1–2, 3, 5], к известково-щелочной вблизи толеитовой – [6, 8–9], к границе обеих серий – [7, F].

Основные гранулиты, являясь важным составным компонентом ГЭЧ комплексов, несут признаки их сложной метаморфической эволюции. В самый ранний период I гранулитового этапа осуществляется статический метаморфизм гранулитовой фации с формированием первых двупироксен-плаггиоклазовых парагенетических ассоциаций в метабазах, сохранивших структурно-текстурные признаки эффузивов. Данное явление фиксируется на участке Вичаны [3]. В первом периоде I этапа в условиях двупироксеновой субфации гранулитовой фации формируются двупироксеновые кристаллические сланцы во всех рассматриваемых ГЭЧ комплексах. Метабазальты р-на Вичан перекристаллизовываются в аналогичные породы.

Установлено (Король, 1987, 1990, 2003), что с периодом региональной мигматизации и гранитизации, в большинстве комплексов [1–2, 5–7, 9, F] завершающим I гранулитовый этап, связана гранулитовая ам-

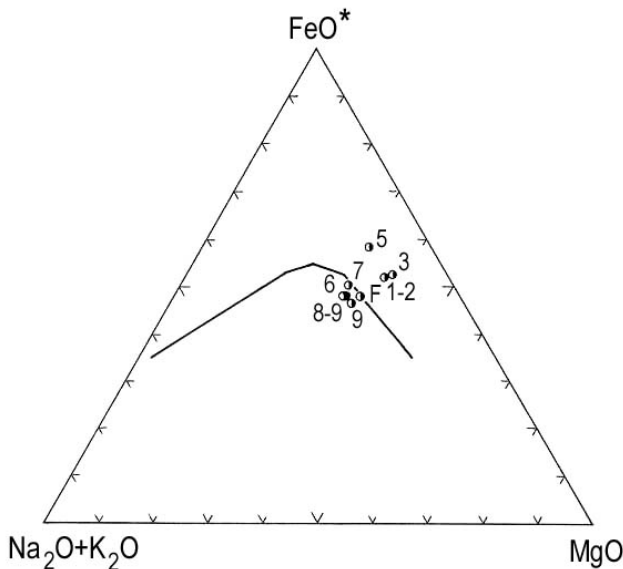


Рис. 10. Сводная диаграмма AFM – (Na₂O + K₂O) – FeO* – MgO точек средних химических составов основных гранулитов ГЭЧ комплексов [1–3, 5–9] Карелии и Центральной Финляндии [F]

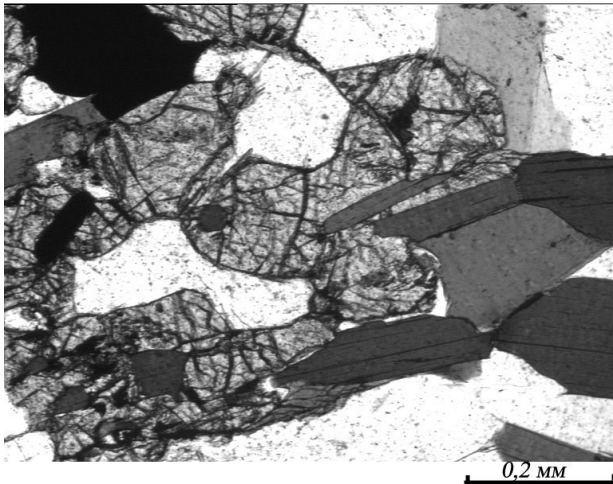
Номера точек и ГЭЧ комплексов совпадают и соответствуют порядковым номерам химических анализов табл. 1: 1–2 – № 4, 3 – № 7, 5 – № 8, 6 – № 11, 7 – № 14, 8–9 – № 17, 9 – № 15, F – № 18

фиболизация – образование титанистой буровато-зеленой роговой обманки (Hb) по пироксенам в ранних парагенезисах пород. Расчеты на примере ГЭЧ комплексов [1–2, 6] показывают, что в основных гранулитах с плаггиоклазом, содержащим более 50% An, для амфиболизации пироксенов необходим привнос H₂O и Na₂O по схеме: Hур + Срх + Pl_{>50} + H₂O + Na₂O → Hb + Qz. При основности плаггиоклазов менее 50% An реакция протекает под влиянием только водного флюида. Таким образом, привнос натрия и воды при эндербитовой мигматизации и повышение потенциала щелочей в гранулитовой фации способствуют частичной, а при увеличении интенсивности – полной амфиболизации пироксенов и формированию Hур + Срх + Hb + Pl и Hb + Pl парагенезисов в основных гранулитах. Преобразование двупироксеновых в двупироксен-амфиболовые кристаллические сланцы (рис. 5, 7) и далее в амфиболиты осуществляется в условиях от двупироксен-роговообманковой до роговообманковой субфации гранулитовой фации. Для амфиболитов р. Водлы [8] в связи с отсутствием явно выраженных признаков эндербитовой мигматизации предполагается их метаморфическая эволюция по аналогии с основными гранулитами других районов исследований. При этом несомненным является их формирование в пределах гранулитовой фации.

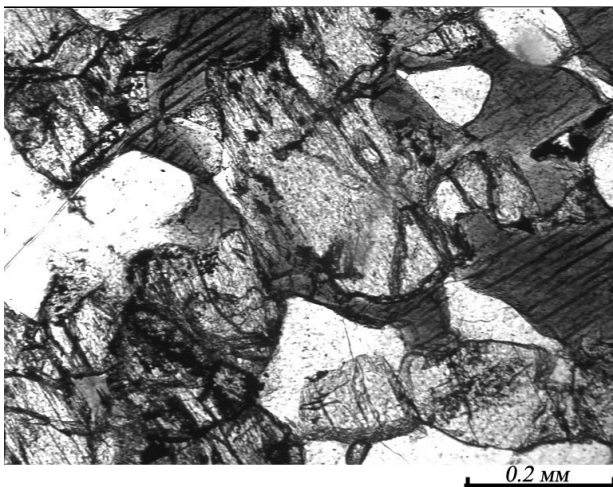
После завершения процессов региональной мигматизации и гранитизации, вероятно, под воздействием остаточных Na±K-водных флюидов основные гранулиты ГЭЧ комплекса [9] испытывают влияние поздней изофациальной перекристаллизации (рис. 11), часто с укрупнением одноименных гранулитовых минералов и возникновением новообразованных Hур + Срх + Hb + Vt + Pl парагенезисов (табл. 2), нивелирующих более ранние. Петрографические признаки подобных изменений встречены и в ОГ пос. Вокнаволок [6].

Гранулитовый метаморфизм II, или второй гранулитовый этап метаморфической эволюции ГЭЧ комплекса [7] Тулосского блока, представляет собой, вероятнее всего, заверченный процесс поздней изофациальной перекристаллизации до стадии деструктивных изменений пород. Реметаморфические преобразования основных гранулитов [7] в этих условиях приводят к формированию (см. петрографические описания) среднезернистых двупироксеновых кристаллических сланцев с двумя генерациями роговых обманок и биотитов. Разделение новых парагенетических ассоциаций и ранних в подобных породах достаточно сложно (табл. 2).

В условиях метаморфизма гранулитовой фации основные гранулиты могут подвергаться метасоматическим преобразованиям. С эндербитовой мигматизацией в районе оз. Керчуг [2] связаны локальные проявления микробазификации (перемещение Mg и Fe), приводящие к образованию на контактах основных гранулитов и жил эндербитов крупнозернистых двупироксеновых с амфиболом и плаггиоклазом пород. Процесс осуществляется по схеме реакции: Hур₄₁ + Срх₃₁ + Hb₄₆ + Pl_{>50} + MgO + Na₂O → Hур₃₅ + Срх₂₆ + Hb₄₀ + Pl₃₄ + FeO. В результате в железно-магнетизальных минералах понижается железистость (F), под воздействием натриевых флюидов по окисляются плаггиоклазы (до 34% An). В крупнозернистых двупироксеновых породах по сравнению с основными гранули-



а



б

Рис. 11. Проявления поздней изофацальной перекристаллизации в основных гранулитах

Взаимопрорастания ярко-коричневого биотита (а) или буровато-зеленого амфибола (б) с новообразованным укрупненным гиперстеном. Шлифы: В-221а (а) и В-221а-в2 (б), без анализатора. Восточное побережье Онежского озера [9]

тами увеличивается содержание MgO (от 8 до 14%), уменьшаются – суммарное железо (FeO + Fe₂O₃ – от 14 до 11%) и железистость F (от 48,8 до 30,1%), резко понижается Al₂O₃ (от 15 до 6%). Преобразования идут в сторону сдвига состава пород к основным плагиоклазовым ультрабазитам. Суть процесса – локальное проявление магнезиального метасоматоза как отражение микробазификации, сопряженной с привнесением натриевых флюидов при мигматизации.

В ГЭЧ комплексе [3] метасоматические жилы – тонкозернистые породы, часто зональные, в метавулканиках (основных гранулитах) отражают проявления Fe-Mg, Ca, Fe-Ca-Mg метасоматоза (Володичев, 1990) как гранулитовой фации, так и часто с продолжением на этапе диафтореза. Анализ материалов Е. Паавола (Paavola, 1984) и собственные петрографические наблюдения в шлифах привели автора статьи к мнению о том, что в Варпайсьярвинском блоке [F] в гранулитовой, переходящей в амфиболитовую фации фиксируются различные стадии кислотного выщелачивания,

сопряженные с комплементарным магнезиальным метасоматозом, приводящие к формированию гранат-кордиерит-силлиманитовых пород по основным гранулитам (Король, 2003).

На II – [1–6, 8–9, F] или на III и IV – [7] этапах метаморфической эволюции в ГЭЧ комплексах осуществляется диафторез гранулитовых образований. При этом происходят преобразования гранулитовых пород, проявленные чаще всего повсеместно и интенсивно при наложенных метаморфических и (или) в сочетании с метасоматическими процессах; стабилизация новообразованных парагенезисов и их возможные дальнейшие изменения. Процессы диафтореза, преобразующие как ОГ, так и все гранулитовые породы ГЭЧ комплексов, достаточно многогранные и многоплановы (Король, 2003) и требуют детального изложения в отдельной статье. Далее будет приведена их краткая характеристика, основанная на тщательном геолого-петрологическом исследовании.

Общими закономерностями развития диафтореза в основных гранулитах, в геологическом аспекте их изучения, являются: статические и (или) динамические условия изменения пород; преобразования в пределах границ их первоначального распространения; сохранение во многих случаях реликтов ОГ среди частичной или даже практически полной их переработки; постепенные, по мере усиления диафторического процесса, переходы исходных гранулитовых пород в производные – амфиболитовой фации и отсутствие резких контактов между ними. При этом одним из признаков обнаружения гранулитовых образований среди площадей распространения диафторитов в любом районе (ГЭЧ комплексе) могут служить находки реликтовых участков мелкозернистых темных – темно-серых исходных основных гранулитов среди темно-синевато-черных, иногда с чуть блестящим оттенком, мелко-, среднезернистых амфиболитов амфиболитовой фации.

Петрологические исследования (Король, 1990, 2000, 2003) показали, что на этапах диафтореза в основных гранулитах наблюдаются процессы: амфиболитизации – образование куммингтонита [1–3, 5–7, 9, F] и голубовато-зеленой роговой обманки – Nb^{II} [1–7, 9, F], менее титанистой, чем гранулитовая – Nb^I; а также – гранатизации [1, 4, 7, F], реже – биотитизации [6]; сопряженные – биотитизации и амфиболитизации [4–8, 9], гранатизации и амфиболитизации [1, 3], гранатизации и биотитизации [1, 4], иногда гранатизации – амфиболитизации – биотитизации [6, 7]. В результате по основным гранулитам образуются преимущественно в условиях амфиболитовой фации амфиболитизированные и (или) биотитизированные и (или) гранатизированные их разновидности и амфиболиты (±) гранатовые, биотитовые. В ГЭЧ комплексе [1] иногда наблюдается небольшое локальное развитие неравномернозернистых гранат-биотитовых пород в узких трещинах ОГ и маломощные зонки гранат-биотитовых гнейсов на контактах гранулитов основного состава и жильных эндробитов. В беломорских ГЭЧ комплексах [1–4] детально изучены преобразования основных гранулитов в диопсид-плагиоклазовые и эклогитоподобные породы (Король, 1990, 2000, 2003; Володичев, 1990).

Исследованы (Король, 1990, 2003) различные типы диафторических реакций, характеризующие

изменения минерального состава и преобразования парагенезисов в ходе наложенных процессов, а также химизм исходных и производных пород. Диафторез осуществлялся под воздействием глубинных флюидов ($\pm \text{H}_2\text{O}$, SiO_2 , Na_2O), иногда с участием летучих компонентов (CO_2 , Cl , SO_3). Основными типами диафторических процессов, приводящих к изменению основных гранулитов в ГЭЧ комплексах [1–9, F], являются не только изохимическая или близкая к ней

перекристаллизация, но и сочетание обменной метаморфической перекристаллизации с привносом ($\pm \text{K}$, Ca , Na , Mg , Fe) или выносом ($\text{Mg} \pm \text{Fe}$) ряда компонентов.

Основные супракрустальные гранулиты, как одни из наиболее ранних пород ГЭЧ комплексов [1–9, F], проходят сложную полиэтапную метаморфическую эволюцию и являются неотъемлемой составляющей архейских образований Балтийского щита.

ЛИТЕРАТУРА

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*. Петрозаводск, 1997. С. 21–106 (Фонды КарНЦ РАН).

Володичев О. И. *P-T-t тренды эволюции метаморфизма при формировании позднеархейской Беломорской коллизонной структуры // Карелия и РФФИ: Тез. докл. науч. конф., посвящ. 10-летию РФФИ (1–3 окт. 2002 г.)*. Петрозаводск, 2002. С. 59–60.

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

Володичев О. И., Конишин В. А., Король Н. Е. *Геология и петрология гранулитовых и интрузивных эндербит-чарнокитовых комплексов архея // Гранулитовые и мигматитовые комплексы Карелии и их роль в формировании земной коры Балтийского щита: Отчет по теме 67*. Т. I. Петрозаводск, 1985. 206 с. (Фонды КарНЦ РАН).

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

Другова Г. М., Климов Л. В., Крылова М. Д. *О ранних этапах гранулитового метаморфизма в Беломорском комплексе // ДАН СССР*. 1977. Т. 234, № 3. С. 665–668.

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

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

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

Конишин В. А., Щитцова Н. И. *Структурно-метаморфические и ультраметаморфические преобразования гранитных и гранито-гнейсовых комплексов архея // Геологическое строение и развитие земной коры Северной Карелии: Отчет по теме 97*. Т. I. Петрозаводск, 1990. 202 с. (Фонды КарНЦ РАН).

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. *Образование эклогитоподобных пород при диафторических процессах в гранулитовом комплексе Северной Карелии (Западное Беломорье) // Материалы 2-го Всерос. Петрографического совещания «Петрография на рубеже XXI века (итоги и перспективы)»*. Т. II. Сыктывкар, 2000. С. 189.

Король Н. Е. *Метаморфическая эволюция архейских гранулит-эндербит-чарнокитовых комплексов Карелии и Центральной Финляндии // Автономный раздел отчета по теме 158 «Эндогенные режимы метаморфизма в различных геодинамических обстановках докембрия Карелии»*. Петрозаводск, 2003. 364 с. (Фонды КарНЦ РАН).

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.

Котова Л. Н., Чекулаев В. П., Лобач-Жученко С. Б., Байкова В. С. *Условия минералообразования позднеархейского гранулитового метаморфизма Фенно-Карельской гранит-зеленокаменной области // Зап. ВМО*. 1995. № 1. С. 24–34.

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

Лобач-Жученко С. Б., Дук В. Л., Крылов И. Н. и др. *Геологические и геохимические типы ассоциаций тоналит-плагиогранитных серий архея // Природные ассоциации серых гнейсов архея (геология и петрология)*. Л., 1984. С. 17–51.

Лобач-Жученко С. Б., Сергеев С. А., Левченков О. А. и др. *Водлозерский гнейсовый комплекс раннего архея и его структурно-метаморфическая эволюция // Изотопная геохронология докембрия*. Л., 1989. С. 14–45.

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

Фашии метаморфизма восточной части Балтийского щита / Отв. ред. В. А. Глебовицкий. Л., 1990. 144 с.

Irvine T. N., Baragar W. R. A. *A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Can. J. Earth Sci.* 1971. Vol. 8. P. 523–548.

Raavola J. *On the Archean high-grade metamorphic rock in the Varpaisjarvi area, Central Finland // Geol. Surv. Finl.* 1984. Bull. 327. 33 p.