

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ В СЕВЕРНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ И ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР МЕТАМОРФИЗМА КИАНИТОВОГО И АНДАЛУЗИТОВОГО ТИПОВ РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА

Начало изучению метаморфической зональности Северного Приладожья было положено Н. Г. Судовиковым (1954). Более поздние исследования были опубликованы в работах В. И. Кицула (1963), В. И. Лебедева и Ю. В. Нагайцева (Лебедев и др., 1964; Нагайцев, 1965; Нагайцев, Лебедев, 1968) и В. А. Глебовицкого (Судовиков и др., 1970).

На основании личного изучения и учитывая предыдущие исследования, автор данной статьи в Северо-Ладожской метаморфической провинции, представляющей собой отличный пример серии фаций переходной группы низкого давления по А. Мияширо (Miyashiro, 1961), выделяет 6 метаморфических зон (табл. 1, рис. 1): 1) биотита, 2) граната, 3) ставролита, 4) силлиманита, 5) «второго силлиманита» (силлиманит-калиево-полевошпатовая зона) и 6) гиперстена.

Зона биотита (или зона биотит-хлоритовой субфации) является зоной наименьшей степени метаморфизма в Северном Приладожье. Как показали исследования парагенетических ассоциаций на всей площади Северного Приладожья, выделявшаяся ранее В. И. Кицулом (1963) зона хлорита (или зона серицит-хлоритовой субфации) на этой территории отсутствует. Даже так называемые ятулийские образования, обнажающиеся по северному берегу оз. М. Янисъярви, метаморфизованы в условиях биотит-хлоритовой субфации фации зеленых сланцев.

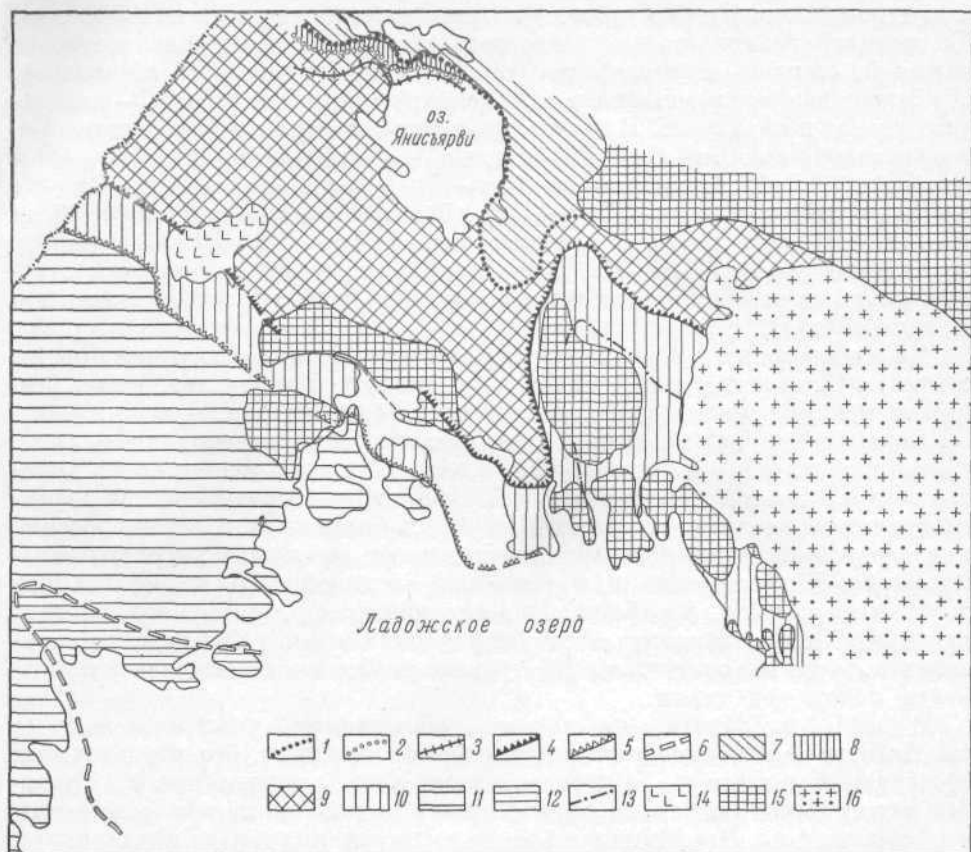
Зона биотита или зона биотит-хлоритовой субфации впервые выделена и закартирована в Северном Приладожье автором. Эта зона располагается на крайнем севере области развития ладожской серии в пределах Советского Союза, к югу от оз. М. Янисъярви и к северу и востоку от оз. Б. Янисъярви (см. рисунок). Она ограничена от зон более высокого метаморфизма изоградой граната. Ширина зоны биотита в пределах развития пород ладожской серии достигает 5 км, в районе к востоку от оз. Б. Янисъярви, где зона биотита образует глубокий залив на юг, в сторону прогиба между Коккосельским и Кирявалахтинским гранито-гнейсовыми куполами фундамента ладожской серии.

В метапелитах зоны биотита широко развита ассоциация Би—Сер—Кв (\pm Хл, Руд, Аб), реже встречается ассоциация без биотита: Сер—Кв (\pm Хл, Аб, Руд). Из акцессорных минералов наиболее обычны циркон, апатит, эпидот, ортит, турмалин, лейкоксен, рудные минералы (главным образом ильменит, в небольшом количестве—магнетит, пирит, пирротин и халькопирит).

Парагенетические ассоциации и жильные образования в породах питкьярантской и ладожской серий Северного Приладожья

Фация	Субфация	Зона	Целиты	Породы, богатые кальцием	Жильные породы
Зеленосланцевая	Биотит-хлоритовая	Биотита	Би—Сер—Кв (\pm Аб, Руд)	Акт—Би—Аб (\pm Эп, Хл, Карб, Руд, Сф)	Кварцевые жилы
			Изограда граната		
Эпидот-амфиболитовая		Граната	Гр—Анд—Би—Сер—Кв (\pm Пл, Руд), Анд—Корд—Би—Сер—Кв (\pm Пл, Руд)		
			Изограда ставролита		
Амфиболитовая	Андалузит-ставролит-альмандиновая	Ставролита	Гр—Ст—Би—Кв (\pm Сер, Пл, Руд), Ст—Би—Анд—Кв (\pm Сер, Пл, Руд), Анд—Би—Корд—Кв (\pm Сер, Пл, Руд)	Гр—Ди—Рог—Пл—Кв (\pm Карб, Эп, Сф, Би)	Пегматиты
			Изограда силлиманита		
	Силлиманит-альмандин-мусковитовая	Силлиманита	Гр—Би—Силл—Пл—Кв, Гр—Би—Му—Кпш—Пл—Кв	Гр—Рог—Кумм—Би—Пл (\pm Би), Гр—Ди—Рог—Пл—Кв (\pm Би, Карб)	
			Изограда силлиманит + калиевый полевой шпат		
Силлиманит-альмандин-калево-полевошпатовая	Второго силлиманита	Изограда мигматита			
		Гр—Корд—Силл—Кпш—Пл—Кв—Би (\pm Руд)	Гр—Корд—Силл—Кпш—Пл—Кв—Би (\pm Руд)		
Гранулитовая	Амфибол-гранулитовая	Гиперстена	Изограда гиперстена		
			Гр—Би—Ги—Пл—Кв, Гр—Би—Корд—Силл—Кпш—Пл—Кв	Рог—Ги—Пл—Кв, Рог—Ди—Ги—Пл—Кв	

В метапелитах зоны биотита Северного Приладожья совершенно отсутствуют ассоциации с хлоритоидом при широком развитии в более высокотемпературных зонах ставролита. Обычно считается, что образование ставролита в таких случаях происходит за счет хлоритоида. Однако Хошек (Hoschek, 1967) показал, что хлоритоидные породы имеют еще



Карта метаморфической зональности Северного Приладожья. Составил Д. А. Великославинский с использованием материалов В. И. Лебедева, Ю. В. Нагайцева (Лебедев и др., 1964; Нагайцев, 1965; Нагайцев, Лебедев, 1968), В. А. Глебовицкого и А. А. Харитонова (Судовиков и др., 1970).

Изограды: 1 — граната, 2 — ставролита, 3 — первых пегматоидных обособлений, 4 — силлиманита (ассоциирующегося с мусковитом), 5 — мигматита (совпадающая с изографой второго силлиманита, ассоциирующегося с калиевым полевым шпатом), 6 — гиперстена; метаморфические зоны: 7 — биотита, 8 — граната, 9 — ставролита, 10 — силлиманита (или силлиманит-альмандин-мусковитовой субфации), 11 — второго силлиманита (или силлиманит-альмандин-калиево-полевошпатовой субфации), 12 — гиперстена (или амфибол-гранулитовой субфации); 13 — линии появления граната с размерами, превышающими 1 см в поперечнике; 14 — основные породы; 15 — фундамент ладожской серии (докарельские образования); 16 — рапакиви.

более узкое поле химических составов, чем ставролитовые, а ставролит возникает не только за счет ассоциации Хлд—Кв—Му—Хл, но и за счет ассоциации Кв—Му—Би—Хл. На диаграммах *AKF*, *ACF* и *AFM* Хошека с полями составов хлоритоид- и ставролитсодержащих пород составы ставролитовых пород Северного Приладожья не попали в поле хлоритоида. Это, по-видимому, может служить основанием считать причиной отсутствия хлоритоида в Северном Приладожье неподходящий состав пород; при этом основное отличие их от хлоритоидных пород заключается в повышенном содержании магния и кальция.

В карбонатных породах развиты ассоциации: Трем—Карб (\pm Кв, Аб, Би, Руд, Сф), в метадиабазе встречается ассоциация Акт—Би—Аб (Пл) (\pm Эп, Хл, Карб).

Зона граната (или зона эпидот-амфиболитовой фации) в Северном Приладожье пока еще недостаточно изучена и закартирована только по южному берегу оз. М. Янисъярви (рис. 1) и северо-восточному берегу оз. Б. Янисъярви. Ширина зоны 1—1.5 км. Ее внешней границей служит изограда граната, а со стороны зон более высокой степени метаморфизма она отделена изоградой ставролита.

В зоне граната в метапелитах появляются новые минералы — кордиерит, гранат и андалузит. В метапелитах зоны граната широко распространены ассоциации: Би—Сер—Пл—Кв, Гр—Би—Сер—Пл—Кв, Анд—Би—Сер—Кв (\pm Пл), Анд—Гр—Би—Сер—Кв (\pm Пл), Корд—Анд—Би—Кв (\pm Пл), Корд—Би—Сер—Кв (\pm Пл). Все эти ассоциации могут быть сведены к двум полным ассоциациям: 1) Гр—Анд—Би—Сер—Кв и 2) Анд—Корд—Би—Сер—Кв. Характерно отсутствие ассоциаций с существующими кордиеритом и гранатом столь частых в зоне силлиманита и гиперстена.

Из аксессуарных минералов встречены апатит, циркон, рутил, ортит, эпидот, лейкоксен, рудный минерал (ильменит). Плаггиоклаз, очень редкий и мелкий, представлен, по-видимому, олигоклазом.

Богатых кальцием пород в зоне граната не встречено.

Зона ставролита (или зона андалузит-ставролит-альмандиновой субфации) четко выделяется между изоградой ставролита, отделяющей ее от зон более низкого метаморфизма, и изоградой силлиманита, отделяющей ее от зон более высокого метаморфизма. Ширина зоны меняется от 25 км западнее оз. Б. Янисъярви до 3 км на востоке, в районе западного контакта Салминского массива рапакиви. Зона ставролита образует глубокий залив на юг между Кирьявалахтинским и Коккосельским гранито-гнейсовыми выступами фундамента ладожской серии.

В зоне ставролита, на хорошо обнаженном участке к югу от оз. М. Янисъярви, выделяются две подзоны: северная, без пегматитовых обособлений, и южная — с пегматитовыми обособлениями (рис. 1). Границей между этими подзонами служит линия появления первых пегматоидных обособлений. Эта линия конформна с изоградами граната и ставролита. Изограда ставролита и линия появления первых пегматоидных обособлений впервые в Северном Приладожье закартированы автором.

В зоне ставролита в метапелитах появляется новый минерал — ставролит, возникающий, по-видимому, за счет мусковита и биотита, а в богатых кальцием породах — сине-зеленая роговая обманка и моноклинный пироксен.

Зона ставролита впервые в Северном Приладожье была выделена Ю. В. Нагайцевым (1965) под названием «андалузит-ставролитовой зоны». Им же наиболее полно были рассмотрены парагенетические ассоциации этой зоны. Однако он ошибочно указывает, что в метаморфической зональности Северного Приладожья, установленной им в районе хут. Натселька, андалузит появляется после ставролита. Нами андалузит был встречен еще в зоне граната.

В подзоне ставролита без пегматоидных обособлений обычны ассоциации: (1) Би—Кв (\pm Сер, Пл), (2) Гр—Би—Кв—(\pm Сер, Пл), (3) Гр—Би—Анд—Кв (\pm Сер, Пл), (4) Гр—Анд—Ст—Би—Кв (\pm Сер, Кв), (5) Ст—Би—Кв (\pm Сер, Пл).

Из них (1), (2) и (3) встречены были еще в зоне граната, причем ассоциация (3) в условиях зоны ставролита является явно неравновесной и представляет собой, по-видимому, «реликтовую», хотя и довольно частую

в этой подзоне ассоциацию. Неравновесна и мало распространена ассоциация (4), являющаяся переходной от типичной ассоциации зоны граната Гр—Би—Анд к обычной в зоне ставролита ассоциации Анд—Би—Ст или Гр—Ст—Би , где реакция Гр+Анд=Ст не дошла до конца.

В подзоне ставролита с пегматоидными обособлениями «реликтовая» ассоциация (3) чрезвычайно редка, не встречена и неравновесная ассоциация (4). Так что практически андалузит и гранат в этой подзоне ставролита вместе не встречаются. В подзоне ставролита с пегматоидными обособлениями к ассоциациям (1), (2), (5) прибавляются ассоциации: (7) $\text{Анд—Ст—Би—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$, (8) $\text{Анд—Би—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$, (9) $\text{Корд—Анд—Би—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$, (10) $\text{Корд—Би—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$.

Все эти ассоциации вместе с ассоциациями (1), (2) и (5) равновесные, и их можно выразить тремя полными ассоциациями: $\text{Гр—Ст—Би—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$, $\text{Ст—Би—Анд—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$, $\text{Анд—Би—Кор—Кв} (\pm \text{Сер, Пл})$.

Как и в зоне граната, не ассоциируются вместе кордиерит и гранат, что отмечается и Ю. В. Нагайцевым, а также А. А. Предовским и др. (1967). Ассоциации с микроклином (типа Би—Му—Эп—Ми—Кв) очень редки и похоже на то, что микроклины в них реликтовый (обломочный или первичномагматический в кислых метаэффузивах).

Из аксессуарных минералов в метапелитах зоны ставролита встречены турмалин, апатит, эпидот, ортит, циркон, лейкоксен и рудные минералы, среди которых особенно выделяются ильменит и пирит. Кварц-полевошпатовые, в том числе пегматоидные обособления и прожилки в зоне ставролита представлены плагиоклазовыми разновидностями. Лишь перед самой изгородью силлиманита появляются микроклиновые пегматоидные жилки, массовые же проявления микроклиновых пегматитовых обособлений и жил наблюдаются уже в зоне силлиманита.

В богатых CaO породах зоны ставролита вместо актинолита появляется сине-зеленая глиноземистая роговая обманка, а вместо тремолита — диопсид.

В подзоне ставролита без пегматитов встречены ассоциации: $\text{Рог—Пл—Кв} (\pm \text{Би, Эп, Сф})$, $\text{Ди—Карб} (\pm \text{Рог})$. В подзоне с пегматитовыми обособлениями наряду с ассоциациями предыдущей подзоны появляются ассоциации с гранатом: $\text{Гр—Рог—Би—Пл—Кв} (\pm \text{Сф, Карб})$ и $\text{Гр—Ди—Рог—Пл—Кв} (\pm \text{Карб, Эп, Сф})$, однако последняя ассоциация встречается редко. Все эти ассоциации в породах, богатых CaO , по-видимому, равновесные.

Зона силлиманита (или зона силлиманит-альмандин-мусковитовой субфации) располагается между изгородью силлиманита на севере и линией появления первых мигматитов на юге зоны, близко совпадающей с изгородью второго силлиманита (силлиманита, сосуществующего с калиевым полевым шпатом). Зона силлиманита отличается относительно малой и мало меняющейся шириной, порядка 5—6 км.

Закартированная нами изгородь силлиманита довольно близко совпала с высокотемпературной границей зоны среднего метаморфизма по схеме геологического строения северо-западного Приладожья, составленной Ю. В. Нагайцевым (Лебедев и др., 1964); в более поздней статье В. П. Петров и О. А. Беляев (1968) проводят изгородь силлиманита почти точно по южной границе зоны среднего метаморфизма Ю. В. Нагайцева. Закартированная нами изгородь мигматита также хорошо совпала с северной (низкотемпературной) границей зоны ультраметаморфизма Ю. В. Нагайцева (Лебедев и др., 1964).

Зона силлиманита протягивается с запада на восток, захватывая южную часть Каламской интрузии основных и ультраосновных пород,

далее проходит южнее Кирьявалахтинского выступа фундамента ладожской серии, и на крайнем востоке в зоне силлиманита оказывается вся восточная группа выступов фундамента ладожской серии, включая крупнейший из них — Коккосельский.

В зоне силлиманита в метapelитах исчезают андалузит и ставролит и появляется ранее не встречавшийся в метapelитах силлиманит (обычно фибролит). В узкой полосе, прилежащей к изограде силлиманита, встречается реликтовый ставролит, обычно интенсивно замещающийся мусковитом.

Минеральные ассоциации в метapelитах зоны силлиманита: Би—Му—Пл—Кв, Гр—Би—Му (\pm Пл, Кв), Силл—Би—Му—Кв (\pm Пл), Силл—Би—Пл—Кв, Силл—Гр—Би—Му—Кв (\pm Пл), Ми—Би—Пл—Кв, Ми—Му—Би—Пл—Кв. Все они могут быть выражены двумя полными ассоциациями: Гр—Би—Силл—Пл—Кв и Гр (?)—Би—Му—Кш—Пл—Кв. Ассоциации с кордиеритом в этой зоне не изучены, и можно только предполагать, что они существенно не отличаются от ассоциаций с кордиеритом в предыдущей зоне.

Встречающиеся с внутренней стороны изограды силлиманита ассоциации со ставролитом (Ст+Силл+Би+Пл+Кв, Ст+Силл+Гр+Би+Му+Пл+Кв) являются явно неравновесными, повсюду за изоградой силлиманита ставролит замещается слюдистыми минералами. Поэтому трудно согласиться с существованием выделенной Ю. В. Нагайцевым ставролит-силлиманитовой подзоны прогрессивного метаморфизма в составе силлиманитовой зоны Северного Приладожья (Нагайцев, 1965, рис. 1, б). Исчезновение в силлиманитовой зоне (или в зоне силлиманит-альмандин-мусковитовой субфации) парагенезисов с андалузитом и ставролитом отмечается в работе А. А. Предовского и др. (1968).

Из аксессуарных минералов в метapelитах зоны силлиманита встречаются турмалин, апатит, анатаз, циркон, рутил, эпидот, ортит, лейкоксен, рудный минерал (главным образом ильменит и пирит).

В породах, богатых СаО, зоны силлиманита встречены минеральные ассоциации: Рог—Пл—Кв (\pm Би, Карб), Гр—Рог—Пл—Кв (\pm Би, Карб), Рог—Кумм—Пл—Кв (\pm Би), Гр—Рог—Кумм—Би—Пл—Кв. Очень широко развиты ассоциации с моноклинным пироксеном: Гр—Ди—Рог—Пл—Кв (\pm Би, Карб), Ди—Рог—Пл—Кв (\pm Би, Карб). Встречаются ассоциации с микроклином: Рог—Пл—Ми—Кв.

В целом отличие от предыдущей зоны ставролита скорее качественное: значительно шире развиты ассоциации с диопсидом. Редкие ассоциации с куммингтонитом встречались и в зоне ставролита.

Зона мигматитов или второго силлиманита (зона силлиманит-альмандин-калиево-полевошпатовой субфации) располагается к югу от уже описанной зоны силлиманита. В ней появляется равновесная ассоциация силлиманит+калиевый полевошпат. Для этой зоны применялись названия: зона второго силлиманита, зона ортоклаза, зона микроклина, микроклин-силлиманитовая зона. В. Гвидотти (Guidotti, 1963) рекомендует название «силлиманит-калиево-полевошпатовая зона», поскольку калиевый полевошпат может быть предшествен микроклином или ортоклазом. Однако это название очень длинное и мы предпочли пользоваться термином «зона второго силлиманита».

Высокотемпературной границей зоны второго силлиманита служит изограда гиперстена. Ширина зоны второго силлиманита не установлена, так как вся область гнейсов и мигматитов к югу от Лахденпохьи вплоть до северной границы Выборгского массива рапакиви систематическому изучению с точки зрения метаморфизма не подвергалась. Появляющиеся к югу от Лахденпохьи участки пород, метаморфизованных в условиях

гранулитовой фации, имеют как будто бы островной характер, со всех сторон окружены породами зоны второго силлиманита. Однако и сейчас уже можно сказать, что зона второго силлиманита в пределах Северного Приладожья занимает наибольшую площадь среди зон других степеней метаморфизма.

В зоне второго силлиманита становится неустойчивым мусковит, замещающийся устойчивой ассоциацией силлиманит+калиевый полево-шпат.

Широко развитые в метапелитах зоны второго силлиманита ассоциации: Гр—Би—Пл—Кв, Гр—Би—Корд—Кпш—Пл—Кв, Гр—Би—Кпш—Пл—Кв, Би—Кпш—Пл—Кв, Гр—Би—Силл—Кпш—Пл—Кв, Би—Корд—Силл—Кпш—Пл—Кв являются, по-видимому, фракциями полной ассоциации Гр—Корд—Силл—Кпш—Пл—Кв—Би, которую отмечают как равновесную Ю. В. Нагайцев (1965), В. И. Лебедев и Ю. В. Нагайцев (1968). Эта ассоциация, с точки зрения минералогического правила фаз, может рассматриваться как равновесная лишь в случае, если калиевый полево-шпат обогащен натрием, а плагиоклаз существенно кальциевый, или если кристаллизация шла при недостатке воды, т. е. воду тогда можно считать независимым компонентом.

Наиболее вероятным кажется соблюдение второго условия. На границе гранулитовой фации и в области $P-T$ гранулитовой фации можно предполагать в породах при кристаллизации недостаток воды.

Зона гиперстена (или зона роговообманково-гранулитовой субфации) является самой высокотемпературной зоной в метаморфической зональности Северного Приладожья. Зона гиперстена была выделена и околонтурна работами Н. Г. Судовикова и В. А. Глебовицкого (Судовиков и др., 1970), Ю. В. Нагайцева и В. И. Лебедева (1968). Работами автора зона гиперстена почти не затронута. Зона гиперстена слагает, по данным Н. Г. Судовикова и др. (1969), два массива среди зоны второго силлиманита: северный в районе Ляхденпохьи и южный в районе Куркийоки. В. И. Лебедев и Ю. В. Нагайцев (1968, рис. 1) объединяют оба массива в одно целое. В зоне гиперстена появляется новый минерал — гиперстен и в богатых СаО породах исчезает куммингтонит.

В метапелитах зоны гиперстена, по В. И. Лебедеву и Ю. В. Нагайцеву, наиболее распространенными ассоциациями являются уже рассмотренная ранее в зоне второго силлиманита ассоциация Гр—Би—Кор—Силл—Кпш—Пл—Кв и определяющая зону гиперстена ассоциация Гр—Ги—Би—Пл—Кв.

В породах, пересыщенных кальцием, В. А. Глебовицкий (Судовиков и др., 1969, табл. 13) выделяет ассоциации: Рог—Ги—Пл—Кв, Ги—Пл—Кв, Рог—Ди—Ги—Пл—Кв, Ди—Ги—Пл—Кв.

Сравнение температур в андалузитовом и кианитовом типе регионального метаморфизма. В табл. 2 приведены рассчитанные с помощью гранат-биотитового геотермометра Л. Л. Перчука (1967) температуры метаморфизма в разных метаморфических зонах при андалузитовом типе (Северное Приладожье) и кианитовом типе (Северо-Балкальское нагорье, Шотландское нагорье) регионального метаморфизма.

Гранат-биотитовый геотермометр был выбран вследствие незначительности влияния давления на распределение Mg и Fe между биотитом и гранатом (Перчук, 1967, стр. 16), а также ввиду наличия сравнительно большого количества анализов пар гранат—биотит из разных регионов развития метаморфической зональности. Несмотря на известную условность рассчитанных и приведенных выше температур метаморфизма, в первую очередь вследствие недостаточно большого объема материала, особенно

Сопоставление метаморфических зон (фаций и субфаций) кианитового и андалузитового типов регионального метаморфизма по температурам метаморфизма

Региональный метаморфизм кианитового типа	Региональный метаморфизм андалузитового типа
	Зона гиперстена, $T = 695-760^\circ$, $M = 4.95-5.19$
Зона второго силлиманита, $T = 670-720^\circ$	
Зона силлиманита, $T = 650-670^\circ$	Зона второго силлиманита, $T = 630-695^\circ$, $M = 4.70-4.95$
Зона кианита, $T = 630-650^\circ$, $M > 4.70$	
Зона ставролита, $T = 580-630^\circ$, $M = 4.45-4.70$	Зона силлиманита, $T = 600-630^\circ$, $M = 4.54-4.70$
Зона граната, $T = 480-580^\circ$, $M < 4.45$	Зона ставролита (с пегматитами), $T = 520-600^\circ$, $M = 4.36-4.54$
	Зона ставролита (без пегматитов), $T = 505-520^\circ$, $M = 4.33-4.36$
	Зона граната, $T = 435-505^\circ$, $M = 4.21-4.33$

по низкотемпературным субфациям (зон граната и ставролита), представляется все же интересным провести сравнение температур метаморфизма в кианитовом и андалузитовом типах метаморфизма. Такое сравнение можно было бы провести и на основании метаморфических индексов Фроста, которые в условных единицах отражают относительную температуру метаморфизма, а для такого сравнения достаточно знания относительных температур.

В табл. 2 приведено такое сопоставление метаморфических зон, субфаций и фаций кианитового и андалузитового типов регионального метаморфизма по температурам метаморфизма. Как видно, наблюдается очевидный сдвиг в сторону более высоких температур в зонах (или субфациях) кианитового типа регионального метаморфизма по сравнению с одноименными зонами (или близкими по минеральному составу и поэтому часто одноименными субфациями) андалузитового типа метаморфизма. К выводу о большей высокотемпературности «изофациальных» биотитов и гранатов кианитового типа регионального метаморфизма по сравнению с биотитами и гранатами андалузитового типа автор пришел на основании изучения химического состава биотитов с целью использования их в качестве показателя степени и типа регионального метаморфизма (Великославинский, 1968, стр. 224).

Интересно сравнить температуры появления ставролита и силлиманита в каждом из этих двух типов метаморфизма.

Ставролит в андалузитовом типе метаморфизма (в случае Северного Приладожья) возникает, по-видимому, при температурах, близких к 505—520°. В кианитовом типе температура появления ставролита определяется примерно в 580°.

Наиболее четко определяется появление силлиманита. В андалузитовом типе метаморфизма силлиманит появляется при температуре около 600°, а в кианитовом — только при температуре более 650°.

Интересно отметить, что в достоверных примерах метаморфической зональности кианитового типа не описаны зоны силлиманит-альмандин-кальево-полевошатовой субфации и гранулитовой фации. В то же время эти зоны часто отмечаются и подробно описаны в андалузитовом типе метаморфизма (Северное Приладожье, пропровинции метаморфической зональности Новой Англии, плато Абукума в Японии). Возможно, это связано с тем, что температура, необходимая для возникновения минеральных ассоциаций этих субфаций в условиях давлений кианитового типа, или не достигается или достигается очень редко.

Сдвиг в сторону более низких температур в метаморфических зонах андалузитового типа регионального метаморфизма по сравнению с «изофациальными», или точнее соответствующими метаморфическими зонами кианитового типа регионального метаморфизма, находится в прямой связи с положительным наклоном кривых равновесия реакций дегидратации и декарбонатизации, которые с понижением давления будут совершаться при более низкой температуре. Такой вывод согласуется с величинами метаморфического индекса Фроста (Frost, 1962), с эволюцией химического состава гранатов (Miyashiro, 1953) и биотитов (Великославинский, 1968) и с данными экспериментальных исследований.

Попытка сопоставить полученные интервалы температур для субфаций кианитового и андалузитового типов регионального метаморфизма с экспериментальными данными, а также химические анализы и расчет температур будут приведены в другой работе автора. Здесь же только укажем, что в андалузитовом типе регионального метаморфизма (Северное Приладожье) давление оценивается в 4—5 кбар, а в кианитовом (Северо-Байкальское нагорье, Шотландия) — примерно в 7 кбар.

ЛИТЕРАТУРА

- Великославинский Д. А. 1968. Химический состав биотитов как показатель степени и типа регионального метаморфизма. МГК, XXIII сессия, Докл. сов. геологов, Проблема 4, изд. «Наука», Л.
- Кицул В. И. 1963. Петрология карбонатных пород ладожской формации. Изд. АН СССР, М.
- Лебедев В. И., Ю. В. Нагайцев, В. Е. Поточкая, Е. Д. Прудников, Ю. С. Шапкина, Г. М. Юрова. 1964. Материалы к изучению минералогии метаморфических пород северо-западного Приладожья. В сб.: Минералогия и геохимия, Изд. ЛГУ.
- Нагайцев Ю. А. 1965. К характеристике метаморфической зональности ладожской формации. Вестник ЛГУ, сер. геол. и географ., № 18, вып. 3.
- Нагайцев Ю. А., Лебедев В. И. 1968. О соотношении состава железомagneзиальных минералов метаморфических пород. Вестник ЛГУ, сер. геол. и географ., № 12, вып. 2.
- Черчук Л. Л. 1967. Равновесия породообразующих минералов. Автореф. докт. дисс., ИГЕМ, М.
- Петров В. П., Беляев О. А. 1968. О последовательности развития метаморфических процессов в Северном Приладожье. В сб.: Вопросы магматизма и метаморфизма, т. 3, Изд. ЛГУ.
- Предовский А. А., В. П. Петров, О. А. Беляев. 1967. Геохимия рудных элементов метаморфических серий докембрия. Изд. «Наука», Л.
- Судовиков Н. Г. 1954. Тектоника, метаморфизм, мигматизация и гранитизация пород ладожской серии. Тр. ЛАГЕД АН СССР, вып. 4, М.—Л.