

ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ПИРОКСЕНЫ ИЗ ДОКЕМБРИЙСКИХ АНОРТОЗИТОВ КОРОСТЕНЬСКОГО МАССИВА УКРАИНСКОГО ЩИТА

М.К. Суханов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ), РАН, Москва, 1950su@mail.ru

Высокоглиноземистые пироксены с ламелями плагиоклаза найдены в анортозитах массивного типа Коростеньского массива Украинского щита. Пироксены обнаружены в ксенолитах самой ранней анортозитовой серии Федоровского плутона, которые, в свою очередь, находятся в породах более поздней главной анортозитовой серии. Содержания глинозема в пироксенах составляют от 4.79 до 7.03%, что соответствует содержаниям глинозема в аналогичных, довольно редких, высокоглиноземистых пироксеновых мегакристах в докембрийских анортозитах массивного типа. Анортозиты массивного типа, образовавшиеся исключительно в протерозое, имеют важное значение для установления условий магмообразования на ранних этапах эволюции земной коры. Предполагается глубинная кристаллизация высокоглиноземистых пироксенов перед тем, как родоначальная анортозитовая магма была контаминирована коровым материалом. В статье 2 таблицы, 2 рисунка, список литературы из 21 названия.

Ключевые слова: анортозит, докембрий, пироксен, Коростеньский массив.

Одной из загадок ранней истории Земли является происхождение докембрийских анортозитов массивного (massif type anorthosites) или автономного типа. Последний термин использовался в России в прошлом веке (Богатиков, 1979; Суханов, 1988), однако сейчас повсеместно используется первый термин. Эти практически мономинеральные плагиоклазовые породы образуют гигантские массивы, обнажающиеся на площади в несколько тысяч квадратных километров. Они образовались в протерозое и не известны ни в более ранние, ни в более поздние периоды развития Земли.

В общих чертах суть и значение проблемы анортозитов массивного типа заключается в следующем. Огромные размеры и сравнительно однообразный состав (существенно плагиоклазовый, анортозитовый) массивов, площади выходов которых достигают нескольких тысяч квадратных километров, а мощности нескольких километров, ставят вопрос о составе их родоначальной магмы и характере связи анортозитов с ассоциирующими основными и кислыми породами. Главным является приуроченность таких образований исключительно к докембрию. Связано ли это с особыми условиями или с составом вещества, плавление которого приводило к образованию расплавов, из которых могли кристаллизоваться столь значительные массы плагиоклазитов? Каково тектоническое значение огромных поясов, в которые группируются анортозитовые массивы на всех известных докембрийских щитах?

Актуальность всех этих вопросов определяет необходимость углубленного изучения докембрийских комплексов с целью установ-

ления закономерностей строения и эволюции земной коры, древние горизонты которой хранят в себе большую часть запасов полезных ископаемых Земли. Практическое значение имеют и анортозиты массивного типа, с которыми связаны крупные месторождения апатитовых, ильменитовых руд, сами анортозиты могут быть неисчерпаемым источником глинозема, служить сырьем для производства цемента, стекла и давно используются как строительный и облицовочный материал.

Изучение минералогии анортозитов — один из способов решения вопросов их происхождения. Обычно минеральный состав собственно анортозитов и лейкогабброноритов, составляющих большую часть массивов, довольно однообразен: лабрадор или андезин, гиперстен, в меньшей степени авгит, акцессорные минералы представлены апатитом, титаномагнетитом, ильменитом. Это касается неизмененных анортозитов, но, как правило, эти породы сильно изменены в результате их длительного (до 2 млрд. лет) пребывания в земной коре. Анортозиты могут быть метаморфизованы в амфиболитовой или гранулитовой фациях, тогда в их составе появляются вторичные амфиболы и гранаты. Но, несмотря на сильные изменения, почти во всех крупных массивах удается обнаружить первичные магматические минеральные ассоциации, в том числе и очень редкие высокоглиноземистые пироксеновые мегакристы с ламелями плагиоклаза, имеющие важное значение для установления генезиса анортозитов массивного типа. Они, подобно метеоритам, которые дают нам знания о космическом веществе, несут информацию о

глубинном веществе земной коры в протерозое и, соответственно, достойны детального изучения.

Среди пироксенов, которые входят в состав докембрийских анортозитов, можно выделить два типа: 1 — пироксены, обогащенные глиноземом, с упорядочено расположенными ламелями или, реже, каплевидными выделениями плагиоклаза; 2 — пироксены с низким, обычным для ромбических пироксенов содержанием глинозема.

Первый тип пироксенов обычно встречается в виде скоплений кристаллов (размером в несколько сантиметров), которые образуют обособления неправильной формы во вмещающих среднезернистых анортозитах (рис. 1). В некоторых случаях высокоглиноземистые пироксены образуют хорошо выраженные кристаллы, которые находятся в офитовых или субофитовых сростаниях с плагиоклазом. Высокоглиноземистые пироксены описаны также в секущих жилах и дайках, где они наблюдаются в пегматитоподобных сегрегациях плагиоклаза и пироксена и железо-титановых рудных минералов (Emslie, 1975; Dymek, Gromet, 1984; Jaffe, Schumacher, 1985; Суханов, 1984).

В высокоглиноземистых пироксенах плагиоклазовые ламели имеют ширину 10–50 мкм и параллельны кристаллографической ориентировке (100) вмещающего пироксена. Такая структура напоминает строение инвертированного пижонита. В метаморфизованных анортозитовых массивах ламели часто деформированы. Содержание анортитового компонента в плагиоклазовых ламелях варьирует в широких пределах: $An_{39} - An_{37}$ (табл. 1), но чаще встречается лабрадор. Обычно плагиоклаз ламелей существенно более кальциевый, чем плагиоклаз вмещающих высокоглиноземистых пироксенов анортозитов. Как правило, ламели зональны: более кальциевые составы встречаются в краевых частях, приближенных к пироксену. В одном пироксене могут присутствовать ламели разной ширины, от нескольких до 50 мкм. Тонкие ламели обычно более кальциевые, чем широкие. У границы с ламелями пироксены обогащены алюминием, но содержания железа и магния существенно не меняются. Кроме ламелей плагиоклаза, в высокоглиноземистых пироксенах обнаружено большое количество мельчайших, ориентированных параллельно ламелям, включений шпинели, магнетита, ильменита, а в метаморфизованных анортозитах встречаются ламели представленные гранатом (Jaffe, Schumacher, 1985).



Рис. 1. Пегматитоподобные обособления высокоглиноземистых пироксенов в крупнозернистых анортозитах. Анабарский щит, Восточный массив, верховья реки Кошукан, Россия. Размеры крупного обособления 1 x 0,6 м. Фото: М.К. Суханов.

Содержание Al_2O_3 в валовых химических составах высокоглиноземистых пироксенов, определенное химическим анализом или дефокусированным лучом микроанализатора, составляет 4–9%, но может достигать 12% (табл. 1). По магнезиальности высокоглиноземистые пироксены сопоставимы с пироксенами вмещающих анортозитов, но являются наиболее магнезиальными в пределах одного массива.

Геологическое строение Коростеньского массива и состав высокоглиноземистых пироксенов

На Украинском щите анортозиты массивного типа образуют два крупных массива, которые обнажаются на площадях более тысячи квадратных километров — Корсунь-Новгородский и Коростеньский. Эти массивы довольно хорошо изучены, и добыча анортозитов как облицовочного и строительного сырья ведется на них с девятнадцатого века. Однако высокоглиноземистые пироксены обнаружены в Коростеньском массиве совсем недавно. Это еще раз указывает на уникальность таких образований.

Коростеньский массив, расположенный в северо-западной части Украинского щита, обнажается на площади около 1200 кв. км. Он сложен породами Коростеньского комплекса среднепротерозойского возраста (1800–1740 млн. лет), среди которых выделяют три группы: 1 — анортозиты, габбро-анортозиты, габброиды и ультрабазиты, входящие в состав габбро-анортозитовых плутонов; 2 — граниты рапакиви; 3 — габбро-монциты, монциты, кварцевые монциты. Наиболее древними в этой ассоциации являются анортози-

Таблица 1. Состав известных высокоглиноземистых пироксенов в докембрийских анортозитах массивного типа

Массив	Содержание Al_2O_3 в валовом составе пироксена мас. %	Отношение 100Mg/(Mg + Fe) в валовом составе пироксена	Содержание анортита (%An) в ламелях плагиоклаза	Ссылка
Адирондак, США	4.6–6.3	66–74	53–97	1
Морин, Квебек, Канада	4.7–9.4	70–74	57–92	2
Лас-Сент-Джон, Квебек, Канада	7.2–8.0	71–74	58–84	2
Сент-Урбейн, Квебек, Канада	4.3–5.4	65–72	42–89	3
Харп Лайк, Лабрадор, Канада	7.8–8.4	68–80	65–91	2, 6
Найн, Лабрадор, Канада	4.4–7.3	58–73	39–97	4, 6, 7
Найн (дайки), Канада	4.5–6.5	68–73	без ламелей	10
Клиаруоур, Саскачеван, Канада	5.0	78	65–86	5
Эгерсун-Огна, Норвегия	4.0–8.1	69–77	75–80	2, 6
Ана-Сира, Норвегия	8.0–9.0	71–73	58–83	2, 7
Халанд-Хеллерен, Норвегия	9.2	70	без ламелей	2
Ахвенисто, Финляндия	5.2–7.5	71	без ламелей	8
Анкафотиа, Мадагаскар	9.7–11.9	58	90.9–95.9	9
Коростеньский, Украина	4.8–7.0	70.8–71.9	85–89	11
Восточный, Анабар, Россия	6.3	67	без ламелей	11
Геранский, Россия	7.3	70.4	без ламелей	11

Примечание. 1 – Bohlen, Essene, 1978; 2 – Emslie, 1975; 3 – Dymek, Gromet, 1984; 4 – Morse, 1975; 5 – Gochnauer, 1978; 6 – Emslie et al., 1980; 7 – Duchesne, 1984; 8 – Savolahti, 1966; 9 – Boulanger, 1959; 10 – Wiebe, 1986; 11 – по данным М.К. Суханова.

ты и базиты. Монцонитовый комплекс, очевидно, является гибридным и образовался при воздействии гранитов на анортозиты (Бухарев, 1983; Личак, 1983; и др.).

В пределах Коростеньского массива А.В. Митрохин (2001) впервые выделил разновозрастные серии основных пород, определил их объем, распространенность, индикаторные особенности. Была установлена полифазность становления крупных габбро-анортозитовых плутонов, входящих в состав Коростеньского массива. По данным этого автора, выделяются минимум пять возрастных серий основных пород: ранняя анортозитовая, главная анортозитовая, ранняя габброидная, поздняя габброидная и дайковая.

Федоровский габбро-анортозитовый плутон, в котором обнаружены высокоглиноземистые пироксены, находится в северо-восточной части Коростеньского массива. Слагающие его породы обнажаются в карьерах, расположенных в окрестностях города Малин и села Гранитное Житомирской области. В остальных местах они перекрыты мезо-кайнозойскими отложениями. Согласно геофизическим данным и материалам бурения, общая площадь Федоровского плутона составляет 104 кв. км при максимальной мощности 12 км. В составе плутона преобладают гиганто-крупнозернистые железистые анортози-

ты и габбро-анортозиты главной анортозитовой серии. Менее распространены мелкие интрузии высокожелезистых оливиновых габброидов поздней габброидной серии. Ксенолиты «древних» анортозитов ранней анортозитовой серии обнаружены в карьере № 6-2, в котором добываются как облицовочный материал пятнистые серые, зеленовато-серые и желтовато-зеленые крупнозернистые габбро-анортозиты с субфитовыми структурами. Эти породы сложены лабрадором, пижонитом, авгитом, оливином. Акцессорные минералы: ильменит, магнетит, апатит. По минеральному составу и особенностям химизма (повышенные содержания Ti, Fe, K, P при высоких отношениях Fe/Mg, Ti/Fe) они полностью соответствуют породам главной анортозитовой серии А.В. Митрохина (2001).

В породах главной анортозитовой серии встречаются многочисленные ксенолиты светло-серых гигантозернистых трещиноватых анортозитов и норит-анортозитов, сложенных лабрадором и высокоглиноземистым ортопироксеном с ламелями плагиоклаза. Эти породы обладают пониженными, по сравнению с анортозитами главной серии, содержаниями Ti, Fe, K, P, Ba, Rb, La, Ce, Nd, Y, Zr при низких отношениях Fe/Mg, Ti/Fe, характерных для пород ранней анортозитовой серии.

Размеры ксенолитов от нескольких сантиметров до нескольких метров, форма пластиноподобная или неправильная, остроугольная. В наиболее крупных ксенолитах наблюдается грубая слоистость с постепенными переходами: мономинеральные анортозиты чередуются с подчиненными прослоями норит-анортозитов. Ксенолиты «древних» анортозитов обычно имеют резкую границу с вмещающими габбро-анортозитами, некоторые из них оторочены темноцветной каймой из оливина, пироксена, амфибола, хлорита и магнетита. Неясная слоистость, а также достаточно густая сеть трещин не выходят за границы ксенолита и срезаются линией контакта. Иногда заметно, что призматические кристаллы плагиоклаза из вмещающего габбро-анортозита, которые обычно ориентированы беспорядочно, рядом с ксенолитом ориентируются параллельно линии контакта. В некоторых ксенолитах установлены метаморфические преобразования — амфиболизация, хлоритизация ортопироксенов, при этом вмещающие породы не изменены. Это позволяет предполагать, что метаморфизм пород ранней серии предшествовал внедрению главной анортозитовой серии.

Высокоглиноземистые пироксены (размером до 20 см) из анортозитов ранней анортозитовой серии находятся в офитовых сростаниях с плагиоклазом: пироксены заполняют пространство между идиоморфными кристаллами плагиоклаза, что указывает на более позднюю кристаллизацию пироксенов, по сравнению с плагиоклазами. В пироксенах установлены многочисленные ламели плагиоклаза, изредка встречаются зерна ильменита, магнетита, амфибола и мусковита. Преобладают ламели плагиоклаза, представленного битовнитом (содержание анортозитового компонента — An_{85-89}), составляющие около 10% валового состава пироксена. Ламели ориентированы параллельно кристаллографической плоскости (100) вмещающего пироксена (рис. 2). Ширина ламелей плагиоклаза составляет 10–50 мкм; наиболее часто 20–25 мкм. Составы плагиоклазов из ламелей и вмещающих их пироксенов довольно постоянны (табл. 2).

Валовый состав высокоглиноземистого пироксена определен дефокусированным лучом микроанализатора размером 20 мкм на площади 1000 х 1000 мкм методом ручного сканирования. Содержания глинозема составляют от 4.79 до 7.03%, что соответствует таковым в аналогичных минералах докембрийских анортозитов массивного типа (табл. 1). Вмещающий ламели плагиоклаза

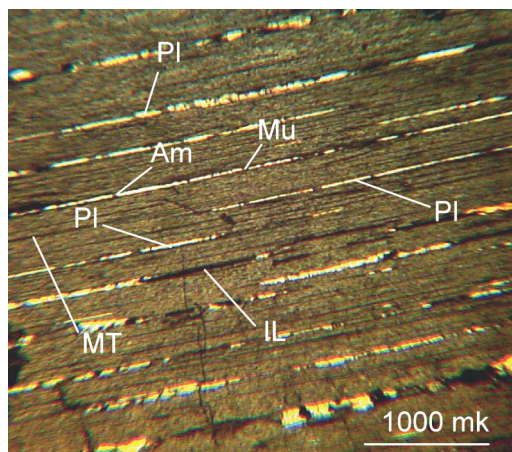


Рис. 2. Высокоглиноземистый пироксен Коростеньского массива (Украина) под микроскопом, николи скрещены. Pl — плагиоклаз, Mu — мусковит, Am — амфибол, IL — ильменит, MT — магнетит. Фото: М.К. Суханов.

пироксен содержит 2.61–3.44% Al_2O_3 , что значительно ниже, чем в валовом составе пироксенового мегакристалла. Валовые составы пироксенов менее магнезиальны (содержание энстатитового компонента — $En_{67.5-69.8}$), чем вмещающий ламели пироксен ($En_{71.8-72.3}$).

Обсуждение

Особенности высокоглиноземистых пироксенов из различных анортозитовых массивов, в том числе и недавно обнаруженных Коростеньских, позволяют предполагать, что плагиоклазовые ламели образовались в результате распада первично гомогенного высокоглиноземистого пироксена, а не в результате одновременной кристаллизации пироксена и ламелей плагиоклаза. Однако, механизм такого распада пока не ясен.

Существуют разногласия и по вопросу начального обогащения пироксенов глиноземом. Р. Эмсли (*Emslie et al.*, 1980) предположил, что высокоглиноземистые пироксены представляют раннюю высокobarическую фазу, кристаллизовавшуюся из базальтовых расплавов, родоначальных для анортозитов массивного типа. Кристаллизация, очевидно, происходила в нижней коре, а распад в пироксенах произошел при спаде давления, после того как высокоглиноземистые пироксены были подняты в верхние горизонты «кристаллической кашей» плагиоклаза, из которой и образовались анортозиты (*Emslie et al.*, 1980).

Другие исследователи (*Morse*, 1975; *Dymek*, *Gromet*, 1984) полагают, что обогащение пироксенов глиноземом и другими компо-

Таблица 2. Химический состав высокоглиноземистого пироксена Коростеньского массива и обнаруженных в нем минералов, мас.%

	WP1	WP ₂	WP3	Orx1	Orx2	Orx3	Pl1	Pl2	Pl3	Pl4	Mu1	Mu2	Mu3	Amph1	Amph2	Amph3
SiO ₂	51.45	52.09	51.24	52.50	51.88	52.26	45.36	45.60	46.99	46.86	47.63	47.69	48.35	42.83	43.21	42.47
TiO ₂	0.58	0.56	0.30	0.08	0.10	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.73	0.85	0.78
Al ₂ O ₃	4.79	5.03	7.03	2.87	3.44	2.61	34.23	33.86	34.04	33.64	34.93	36.21	33.27	15.63	15.47	15.27
FeO	17.78	16.94	16.39	17.60	17.47	17.62	0.29	0.29	0.26	0.29	1.29	1.19	1.37	9.03	9.29	9.78
MnO	0.31	0.29	0.29	0.32	0.30	0.34	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.12	0.13	0.12
MgO	24.27	24.37	22.59	26.76	26.15	26.68	0.02	0.02	0.02	0.02	0.76	0.51	0.73	14.97	14.86	14.66
CaO	1.26	1.36	1.52	0.20	0.29	0.24	18.58	18.12	17.10	17.13	0.23	0.31	0.13	11.63	11.84	11.59
Na ₂ O	0.05	0.08	0.08	0.03	0.00	0.00	0.92	1.23	1.58	1.71	0.03	0.01	0.09	2.09	1.97	1.97
K ₂ O	0.04	0.05	0.14	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	11.26	11.00	11.41	0.05	0.02	0.04
Cr ₂ O ₃	0.51	0.32	0.41	0.07	0.07	0.06	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.12	0.13	0.12
V ₂ O ₅	0.04	0.05	0.02	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Сумма	100.77	101.15	100.02	100.44	99.70	99.88	99.42	99.12	99.99	99.65	99.69	97.55	99.65	97.20	97.77	96.80
Количество атомов в формуле, расчет на сумму катионов																
Si	1.867	1.875	1.863	1.898	1.890	1.901	2.106	2.121	2.158	2.160	1.744	1.729	1.788	1.601	1.609	1.600
Ti	0.016	0.015	0.008	0.002	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.024	0.022
Al	0.192	0.213	0.301	0.122	0.148	0.112	1.873	1.586	1.843	1.828	1.507	1.547	1.450	0.689	0.679	0.678
Fe	0.540	0.510	0.499	0.532	0.532	0.536	0.010	0.010	0.009	0.010	0.036	0.032	0.038	0.282	0.289	0.308
Mn	0.009	0.009	0.009	0.010	0.009	0.010								0.004	0.004	0.004
Mg	1.313	1.307	1.225	1.443	1.490	1.447	0.001	0.001	0.001	0.001	0.041	0.027	0.041	0.835	0.825	0.824
Ca	0.049	0.052	0.059	0.008	0.011	0.009	0.924	0.903	0.841	0.846	0.009	0.012	0.005	0.466	0.472	0.468
Na	0.004	0.006	0.006	0.002	0.000	0.000	0.082	0.111	0.140	0.153	0.002	0.001	0.006	0.151	0.142	0.144
K	0.002	0.002	0.007	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.526	0.509	0.538	0.002	0.001	0.002
Cr	0.015	0.009	0.012	0.002	0.002	0.002								0.003	0.004	0.003
V	0.001	0.001	0.000													
O	5.993	6.000	6.011	5.980	5.984	5.980	8.003	7.999	8.007	8.002	6.126	6.132	6.130	5.946	5.951	5.947
Fs-An	28.8	27.9	28.9	27.3	27.6	27.4	95.9	94.1	93.7	90.9						
En-Ab	68.9	69.8	67.5	72.3	71.8	72.2	4.1	5.9	6.3	9.1						
Wo	2.3	2.3	3.6	0.4	0.6	0.4										

Примечания: WP – валовый состав пироксена, определенный дефокусированным лучом микроанализатора; Orx – ортопироксен; Pl – плагиоклаз из ламелей распада; Mu – мусковит; Amph – амфибол; Fs-An – содержание ферросилита (Fs) в пироксене или анортита (An) в плагиоклазе; En-Ab – содержание энстатита (En) в пироксене или альбита (Ab) в плагиоклазе; Wo – содержание воластонита в валовом составе пироксена. Все железо определено в виде FeO; н.о. – элемент не обнаружен. Изучение составов минералов проводилось на микроанализаторе JXA-8200 фирмы JEOL. Анализы выполнены в ИГЕМ РАН, аналитик С.Е. Борисовский.

нентами произошло в результате быстрого роста кристаллов на сравнительно небольших глубинах. Главным доказательством в пользу этого предположения являются офитовые и субофитовые взаимоотношения высокоглиноземистых пироксенов с плагиоклазом, предполагающие их близкоодновременную кристаллизацию. Однако, возможно, что такие взаимоотношения сохранились в блоках, кристаллизовавшихся при высоких давлениях и затем поднятых на более высокие уровни (Wiebe, 1986). Это предположение подтверждается находкой высокоглиноземистых пироксенов в Коростеньском массиве именно в ксенолитах, которые представляют

самую раннюю группу пород и обнаружены в породах более поздней главной анортозитовой серии.

Важным фактом для предположений о генезисе высокоглиноземистых пироксенов являются находки нераспавшихся высокоглиноземистых пироксеновых ксенокристаллов в дайках комплекса Найн, Канада (Wiebe, 1986). Составы таких пироксенов сопоставимы с валовым составом пироксенов с ламелями плагиоклаза из докембрийских анортозитов (табл. 1). Эти нераспавшиеся пироксены обнаружены как в виде отдельных ксенокристаллов, так и в нодулях, состоящих из пироксена и плагиоклаза. Такие нодули имеют

офитовые структуры: пироксены выполняют пространство между идиоморфными кристаллами плагиоклаза, как и в случае докембрийских высокоглиноземистых пироксенов. Очевидно, распаду с образованием ламелей плагиоклаза помешал быстрый подъем базальтовой магмы. Р. Уайбе (Wiebe, 1986) интерпретирует эти ксенокристы и нодулы как фрагменты кумулатов, образовавшихся на глубинах нижней земной коры из магмы, родоначальной для даек.

Были предприняты попытки определить ограничения для глубины образования высокоглиноземистых пироксенов. Пироксены с высоким содержанием глинозема хорошо известны в мантийных ксенолитах, вынесенных с больших глубин, однако такие пироксены более магнезиальны. Р. Эмсли (1975) провел эксперименты при высоких давлениях со смесью природного ортопироксена (содержание энстатита — En_{61}) и плагиоклаза (содержание анортита — An_{48}) и установил увеличение содержания Al_2O_3 в пироксене от 3.1% при 5 кбар до 8.5% при 15 кбар и температуре 1200°C. Эти экспериментальные данные позволили ему сделать вывод о том, что некоторые, особенно наиболее глиноземистые, пироксены кристаллизовались при давлениях 15 ± 5 кбар. Только в одном эксперименте (Maquil, 1978) удалось частично гомогенизировать природный высокоглиноземистый пироксен с ламелями плагиоклаза ($En_{56} + An_{62}$) из комплекса Роголан в Норвегии при давлении 10 кбар и температуре 1050°C.

Еще одним очень весомым доказательством образования высокоглиноземистых пироксенов из глубинных источников являются изотопные данные. Установлено, что такие пироксены из нескольких различных анортозитовых массивов имеют наиболее примитивные начальные отношения изотопов Sr и Nd, по сравнению с остальными породами в каждом массиве (Ashwal, 1993). Это согласуется с глубинной кристаллизацией высокоглиноземистых пироксенов на ранних стадиях образования анортозитов, перед тем как родоначальная анортозитовая магма была контаминирована коровым материалом. В России пока известны два массива анортозитов массивного типа, в которых обнаружены высокоглиноземистые пироксены. Это Восточный массив Анабарского щита (Суханов, 1984) и Геранский массив на Дальнем Востоке (Ларин и др., 2001). Однако, в этих пироксенах не установлены ламели плагиоклаза. Но пироксен Геранского массива имеет важное значение, так как обладает наиболее примитивным изотопным составом ($\epsilon_{Nd} = -0.4$ и

$I_{Sr} = 0.70256$) из всех пород данного магматического комплекса. Эти значения, вероятнее всего, близки к изотопному составу исходной магмы анортозитов Геранского массива. Кроме того, изотопный состав пироксена из этого массива практически идентичен значению, принятому для «Общей Силикатной Земли» (Bulk Silicate Earth). Близкие к этой величине изотопные составы были предложены для мантийных источников базальтовых магм (Shirey *et al.*, 1994).

Заключение

Впервые обнаруженные коростеньские высокоглиноземистые пироксены с ламелями плагиоклаза по своему геологическому положению и составу сходны с известными аналогичными образованиями из докембрийских анортозитов массивного типа. Геологическое положение этих пироксенов указывает на то, что они являются самыми древними в данном массиве, а минералогические особенности свидетельствуют об их образовании на больших глубинах. Такие пироксены с ламелями плагиоклаза не известны в обычных магматических комплексах, что подтверждает существование особых условий проявления магматизма в протерозое.

Автор глубоко признателен А.В. Митрохину за помощь при изучении высокоглиноземистых пироксенов Коростеньского массива.

Литература

- Богатиков О.А. Анортозиты. М: Наука. **1979**. 232 с.
- Бухарев В.П. Анортозит-рапакивигранитная формация Украинского щита // Геол. журн. **1983**. Т. 43. № 4. С. 30–40.
- Ларин А.М., Глебовицкий В.А., Крымский Р.Ш., Суханов М.К., Дагелайская И.Н. Nd и Sr изотопные ограничения на генезис Геранского массива автономных анортозитов (восточная часть Адано-Станового щита) // Докл. РАН. **2002**. Т. 382. № 1. С. 101–105.
- Личак И.Л. Петрология Коростеньского плутона. Киев: Наук. Думка. **1983**. 246 с.
- Митрохин А.В. Петрология габбро-анортозитовых массивов Коростеньского плутона. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. геол. наук. Киев: Национальная Академия Наук Украины. Институт геохимии минералогии и рудообразования. **2001**. 17 с.
- Суханов М.К. Анортозитовая ассоциация Анабарского массива // Анортозиты Земли и Луны. М.: Наука. **1984**. С. 61–86.

- Суханов М.К. Сравнительный анализ автономных анортозитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. **1988**. № 7. С. 3–18.
- Ashwal L.D. Anorthosites. Berlin, New York, London, Paris: Springer-Verlag Pub. Comp. **1993**. 422 p.
- Bohlen S.R., Essene E.J. Igneous pyroxenes from metamorphosed anorthosite massifs // Contrib. Mineral. Petrol. **1978**. V. 65. № 4. P. 433–442.
- Boulanger J. Les anorthosites de Madagascar // Ann. Geol. Madagascar. **1959**. V. 26. № 5. P. 1–71. (на фр. яз.)
- Duchesne J.C. Massif anorthosites: another partisan review // Feldspars and feldspatoids / Brown W.L. (ed). Reidel, Dordrecht. **1984**. P. 411–433.
- Dymek R.F., Gromet L.P. Nature and origin of orthopyroxene megacrysts from the St. Urbain anorthosite massif, Quebec // Canad. Mineral. **1984**. V. 22. № 3. P. 297–326.
- Emslie R.F. Pyroxene megacrysts from anorthositic rocks: new clues to the source and evolution of the parent magmas // Canad. Mineral. **1975**. V. 13. № 6. P. 138–145.
- Emslie R.F., Cousens R., Hamblin C., Bielecki J. The Mistastin Batholith, Labrador-Quebec: An Elsonian composite rapakivi suite // Current Research. Part A. Geol. Surv. Canad. Pap. **1980**. № 7. P. 95–100.
- Gochnauer K. The geology of the Clearwater anorthosite intrusion // BSc.Thesis. Calerton Univ. **1978**. 78 p. (unpubl).
- Jaffe H.W., Schumacher J.C. Garnet and plagioclase exsolved from aluminum-rich orthopyroxene in the Marcy Anorthosite, northeastern Adirondacks, New York // Canad. Mineral. **1985**. V. 23. № 4. P. 457–478.
- Maquil R. Preliminary investigation on giant orthopyroxenes with plagioclase exsolution lamellae from the Egersund-Ogna anorthositic massif (S. Norway) // Progress in experimental petrology / MacKenzie WS (ed). Fourth Prog. Rep. Res. **1978**. Ser. D 11. P. 144–146.
- Morse S.A. Plagioclase lamellae in hypersthene, Tikkoatokhakh Bay, Labrador // Planet Sci. Lett. **1975**. V. 26. № 5. P. 331–336.
- Savolahti A. The differentiation of gabbro-anorthosite intrusions and the formation of anorthosites // Soc. Geol. Finland. **1966**. V. 38. № 3. P. 175–197.
- Shirey S.B., Klewin K.W., Berg J.H., Carlson R.W. // Geochim. et Cosmochim. Acta. **1994**. V. 54. № 8. P. 4475–4490.
- Wiebe R.A. Lower crustal cumulate nodules in Proterozoic dikes of the Nain complex, Labrador: evidence for the origin of Proterozoic anorthosites // Journal. of Petrology. **1986**. V. 27. № 8. P. 1253–1275.