

АСПИДОЛИТ (НАТРОВЫЙ АНАЛОГ ФЛОГОПИТА) –
НОВОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В БУРАКОВСКОМ РАССЛОЕННОМ
УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВОМ КОМПЛЕКСЕ, КАРЕЛИЯ

А. Ю. Барков

Череповецкий государственный университет

А. А. Никифоров

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию: 20 ноября 2014 г.

Аннотация: новое проявление аспидолита $[NaMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2]$, редкого члена группы слюд, обнаружено в Бураковском расслоенном комплексе (Карелия), в дуните, содержащем оливин $[Fo_{88}](>90$ модал. %), интерстициальный клинопироксен $[Wo_{44-45}En_{45-46}Ae_{5-6}](5\%)$ и плагиоклаз $[Ab_{82}](1-2\%)$. Он образует небольшие интеркумулусные зёрна (до 0.35 мм), тесно ассоциирующие с Ab_{82} и окружённые узкими каймами натрового тремолита (20–30 мкм). Текстурные взаимоотношения указывают, что аспидолит формировался в результате замещения обогащённого Ab плагиоклаза, посредством реакционного взаимодействия последнего с интеркумулусным расплавом: $NaAlSi_3O_8 + 3Mg^{2+} + 2O^{2-} + 2(OH)^- \leftrightarrow [NaMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2]$.

Ключевые слова: аспидолит, группа слюд, Бураковский расслоенный комплекс, мафит-ультрамафиты, Карелия, Россия.

ASPIDOLITE (SODIUM ANALOGUE OF PHLOGOPITE) – A NEW OCCURRENCE
IN THE BURAKOVSKY LAYERED MAFIC-ULTRAMAFIC COMPLEX, KARELIA

Abstract: a new occurrence of aspidolite $[NaMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2]$, a rare member of the mica group, is documented in the Burakovsky layered complex (Karelia), in a dunite, which consists of olivine $[Fo_{88}](>90$ modal %), interstitial clinopyroxene $[Wo_{44-45}En_{45-46}Ae_{5-6}](5\%)$ and plagioclase $[Ab_{82}](1-2\%)$. It occurs as small intercumulus grains (up to 0.35 mm), associated intimately with Ab_{82} , and is mantled by narrow rims of a sodian tremolite (20 - 30 μm). Presumably, aspidolite formed as a result of replacement of the Ab -rich plagioclase, via a reaction of the latter with an intercumulus melt: $NaAlSi_3O_8 + 3Mg^{2+} + 2O^{2-} + 2(OH)^- \leftrightarrow [NaMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2]$.

Key words: aspidolite, mica group, Burakovsky layered complex, mafic- ultramafic rocks, Karelia, Russia.

Введение

Аспидолит, натровый аналог флогопита, $[NaMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2]$, чрезвычайно редкий минеральный вид, входящий в группу слюд. Впервые он был обнаружен в метаморфизованных эвапоритовых отложениях Алжира [1, 2]. Известен синтетический аналог аспидолита [3]. Проявления «Na-содержащего флогопита» упоминаются (без сообщения состава) в метаморфизованных ультрамафитах [4]. Так называемый «натровый флогопит» обнаружен в хромитовом рудопроявлении офиолитового происхождения, Китай [5], а аспидолит в роговиковых образованиях Японии [6]. Повышенные содержания Na (3,75 мас. % Na_2O) отмечаются в образцах флогопита из карбонатного комплекса Италии [3].

В природе существует родственный аспидолиту минерал – вонезит $[(Na,K)_{0,5}(Mg,Fe,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH,F)_2]$, имеющий подобный состав, свойства и близкие параметры моноклинной ячейки; он обнаружен в ставролит-кианитовой зоне метаморфизованного вулканического комплекса, США [7]. Основное различие между этими видами заключается в значительном дефиците щелочных металлов, характерном для вонезита. Эксперименты [3] показывают, что в природных условиях, при сравнительно низких температурах и контакте с водосодержащей флюидной фазой, аспидолиту свойственна гидратация.

Низкие содержания примеси Na во флогопите, как и особая редкость аспидолита в природе, могут быть следствием того, что (1) составы расплавов, требуе-

мые для кристаллизации последнего, весьма редки, и (2) аспидолит склонен выветриваться с формированием вермикулита [7]. В связи с этим, возможность сохранения аспидолита эндогенного происхождения обеспечивается лишь в средах с дефицитом водной фазы [2].

Цель настоящей статьи охарактеризовать новое проявление аспидолита из Бураковского мафит-ультрамафитового комплекса раннепротерозойского возраста, крупнейшего расслоенного комплекса в Европейской части Евразии (~650 км²). По всей видимости, это первое, или, во всяком случае, одно из первых сообщённых проявлений аспидолита в расслоенном комплексе.

Геологические особенности и местоположение проявления аспидолита в Бураковском комплексе

Бураковский комплекс [8] располагается в относительной близости к Онежскому озеру. Он фактически не обнажён на дневной поверхности, поэтому изучен по материалам бурения. Интенсивными региональными деформациями комплекс разбит на три крупных блока (с юго-запада на северо-восток): Бураковский, Шалозёрский и Аганозёрский. Изотопное датирование (U-Pb) циркона приводит к возрасту 2449,0±1,1 Ма [9], что согласуется с рядом 2,45–2,5 Ga изотопных возрастов расслоенных интрузий Балтийского (или Фенноскандинавского) щита. Как типичная расслоенная интрузия, массив Бураковский состоит из краевой и расслоенной серий, которая подразделяется [8] на четыре зоны (от основания к кровле): *Ультрабазитовая*, *Переходная*, *Габброноритовая* и *Габбродиоритовая*. Ультрабазитовая зона (около 3,5 км мощностью) состоит из дунитов и перекрывающих их перидотитов. Переходная зона (около 0,4 км) представлена ритмичным переслаиванием пород мафит-ультрамафитового состава: оливин- и плагиоклаз-содержащих пироксенитов, габброноритов и плагиоклаз-содержащих перидотитов. Так называемый «*главный хромитовый слой*» (до 3 м мощностью), содержащий бедную минерализацию элементов группы платины, локализован в основании этой зоны [10, 11]. В вертикальном разрезе, Переходная зона сменяется Габброноритовой (около 1,9 км) и, затем, Габбродиоритовой (0,6 км), которые, в основном, слагаются, габброноритами и габбродиоритами, содержащими титаномагнетитовое оруденение, соответственно.

Аспидолит установлен в качестве необычного аксессуара, в образцах дунита (скв. № 20; Ультрабазитовая зона) из Аганозёрского блока, на северо-восточной оконечности Бураковского комплекса, вблизи оз. Водлозеро.

Петрографические особенности и метод анализа

Образцы дунита, содержащего аксессуарный аспидолит, представляют собой почти неизменённую породу, содержащую кумулюсный оливин (> 90 мод. %) и весьма подчинённое количество интерстициального клинопироксена (< 5 %) и плагиоклаза (< 1–2 %), фор-

мирующих неправильной формы, удлинённые зёрна до 2 и 0,5 мм, соответственно.

Аспидолит образует небольшие (до 0,35 мм в поперечнике) интеркумулусные зёрна, тесно ассоциирующие с плагиоклазом, и обнаруживает явно реакционные взаимоотношения с интеркумулусным плагиоклазом, являясь, таким образом, продуктом замещения последнего. Другой характерной особенностью наблюдаемой ассоциации является развитие, вокруг зёрен аспидолита, узких кайм амфибола (20–30 мкм). В работе [2] отмечается неизменное наличие тонких кайм обогащённого калием флогопита вокруг зёрен натрового флогопита из Алжира.

Химические составы аспидолита и ассоциирующих с ним минералов определены методом волновой дисперсионной спектроскопии электронно-микронного анализа. Аналитические данные получены в Институте Электронной Оптики, университете Оулу, Финляндия, с использованием установки Jeol JXA-733. Условия анализа следующие: 15 кВ и 15 нА, с применением стандартных коррекций (ZAF) и размером зонда 10 мкм во всех случаях, кроме анализа кайм амфибола, которые проанализированы сфокусированным зондом (2 мкм в диаметре).

Результаты и выводы

Представительные результаты анализов главных породообразующих минералов дунита, содержащего аспидолит, даны в табл. 1. В этом раннем кумулате, оливин имеет ожидаемое высокомagneзиальное соотношение (Fo₈₈). Клинопироксен ряда авгит-диопсид также отличается повышенной магнезиальностью и сравнительно обогащён Al, Na (1,4–1,5 мас. % Na₂O) и Sr. Плагиоклаз (олигоклаз) значительно обогащён альбитовым компонентом: Ab₈₂. Интересно отметить, что офиолитовые хромититы, содержащие натровый флогопит [5], также содержат высокофорстеритовый оливин и диопсид, обогащённый Na (до 1,2 мас. % Na₂O).

В табл. 2 проведено сопоставление составов обнаруженного аспидолита из Бураковского комплекса с образцами из Алжира [2], на основе среднего состава [12], и вонезита по данным [7]. Можно видеть, что образцы из Бураковского комплекса довольно близки по составу аспидолиту из Алжира, существенно отличаясь от вонезита. Вместе с тем, имеются и различия: (1) суммы анализов аспидолита из Алжира относительно низки, даже с учётом вычисленных значений H₂O. Образцы аспидолита из Бураковского массива дают нормальные суммы анализов после внесения 4,45–4,47 мас. % H₂O. Последние значения очень близки идеальному (теоретическому) значению содержания воды в аспидолите: 4,49 мас. % [2, 3]. (2) Образцы Бураковского аспидолита существенно обогащены Na, обнаруживая более полное заполнение структурной позиции Na (1,83 – 1,90 против 1,56–1,82, со средним 1,67). Эти вариации составов могут отражать различия на структурном уровне, однако может предполагаться также большая степень сохранности

Таблица 1

Представительные результаты электронно-микронных анализов
породообразующих минералов в дуните, содержащем акцессорный аспидолит,
Бураковский расслоенный комплекс, Карелия

	Ol	Ol	Срх	Срх	Pl*	Pl
Мас. %						
SiO ₂	41,23	40,44	53,43	53,67	63,75	64,04
TiO ₂	n.d.	n.d.	0,84	0,63	n.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	n.d.	n.d.	3,44	2,84	22,42	22,11
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	1,30	1,43	n.d.	n.d.
FeO	11,29	11,09	2,19	2,56	n.d.	n.d.
MnO	n.d.	0,23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	47,26	47,40	15,51	16,02	n.d.	n.d.
CaO	0,11	0,11	21,90	21,47	3,50	3,10
NiO	0,55	0,55	n.d.	0,23	n.d.	n.d.
Na ₂ O	n.d.	n.d.	1,54	1,39	9,61	9,73
K ₂ O	n.d.	n.d.	0,11	n.d.	0,21	0,61
Сумма	100,44	99,82	100,26	100,24	99,49	99,59
Формулы						
O	4	4	6	6	8	8
Si	1,01	1,00	1,93	1,95	2,83	2,84
Al	-	-	0,15	0,12	1,17	1,16
Ti	-	-	0,02	0,02	-	-
Cr	-	-	0,04	0,04	-	-
Fe	0,23	0,23	0,07	0,08	-	-
Mn	-	<0,01	-	-	-	-
Ni	0,01	0,01	-	<0,01	-	-
Mg	1,73	1,75	0,84	0,87	-	-
Ca	<0,01	<0,01	0,85	0,83	0,17	0,15
Na	-	-	0,11	0,10	0,83	0,84
K	-	-	<0,01	-	0,01	0,03
Fo	88	88	-	-	-	-
Wo	-	-	45	44	-	-
En (Ab)	-	-	45	46	(82)	(82)
Ae (An)	-	-	6	5	(17)	(15)
Fs (Or)	-	-	4	4	(1)	(3)

Примечания: Ol: оливин, Срх: клинопироксен, Pl: плагиоклаз; n.d.: не установлено.

* Состав зерна плагиоклаза, частично замещённого аспидолитом.

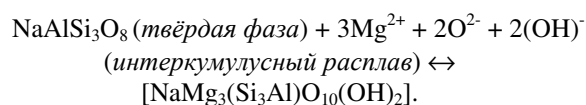
аспидолита из Бураковского массива. Другие наблюдаемые отличия, в уровнях содержаний Fe и Ti, менее показательны. Аспидолит из Китая [5] имеет высоко-Ti составы (до 1 атома Ti на формульную единицу). В роговиковых образованиях Японии [6], установлен аспидолит довольно сходного состава с аспидолитом из Бураковского комплекса.

Несомненно, формирование аспидолита в Бураковском комплексе является следствием локальных минералообразующих реакций, поскольку в других образцах дунита (скв. № 20) развит обычный флогопит с низким содержанием Na (0,4 мас. % Na₂O), имеющий, однако, близкое (также высокое) значение индекса магнезиальности (*mg#* 0,96: табл. 2).

Составы амфибола, формирующего отмеченные каймы вокруг зёрен аспидолита, обогащены Mg и обеднены Al, соответствуя натровому тремолиту (табл. 2).

Таким образом, обнаруженная ассоциация интеркумулусных минералов с высоким содержанием Na:

аспидолит, олигоклаз, натровый тремолит, клинопироксен (5–6 мол. % эгринового компонента) отражает повышенную активность Na в позднем расплаве на посткумулусной стадии кристаллизации дунита. Тектурные взаимоотношения аспидолита с олигоклазом явно свидетельствуют, что аспидолит формировался в результате замещения ранее сформированного плагиоклаза (Ab₈₂), посредством реакции последнего, в условиях повышенного уровня фугитивности кислорода, с водонасыщенным интеркумулусным расплавом всё ещё значительной степени магнезиальности. Данная реакция может быть представлена в следующем схематически обобщённом виде:



На заключительной стадии кристаллизации интеркумулусного парагенезиса, узкие каймы натрового тремолита формировались из остаточного расплава

Таблица 2

Сопоставление составов аспидолита из Бураковского комплекса (№ 1–4) с составами аспидолита из Алжира (№ 5) и вонезита из США (№ 6), а также составы кайм натрового тремолита (№ 7, 8) из Бураковского массива

№	1	2	3	4	5	6		7	8
Мас. %									
SiO ₂	44,91	45,03	44,35	44,97	43,44	48,53		57,37	59,39
TiO ₂	0,11	0,10	0,11	0,09	0,48	0,77		n.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	12,07	12,70	14,00	13,77	13,00	13,73		0,93	0,14
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	0,08		n.d.	n.d.
FeO	1,86	1,50	1,73	1,39	-	7,02		2,28	1,45
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	0,04		n.d.	n.d.
MgO	28,94	29,18	28,72	28,82	28,54	22,11		22,83	23,96
CaO	0,12	0,11	0,10	n.d.	0,20	0,04		10,55	9,04
Na ₂ O	6,66	6,62	6,40	6,91	5,82	3,07		3,23	4,32
K ₂ O	0,54	0,55	1,08	0,72	0,49	0,85		0,08	0,07
H ₂ O	4,46	4,47	4,45	4,46	4,51	4,39		2,18	2,22
F	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	0,15		n.d.	n.d.
O≡F	-	-	-	-	-	0,06		-	-
Total	99,67	100,26	100,94	101,13	96,48	100,72		99,45	100,59
Число катионов в расчёте на (O + OH + F) = 24									
Si	6,063	6,029	5,918	5,971	5,999	6,470	Si	7,910	8,041
Al(IV)	1,921	1,971	2,082	2,029	2,001	1,530	Al(IV)	0,090	-
Ti(IV)	0,011	-	-	-	-	-	Σ	8,000	8,041
Σ	7,995	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	Al(VI)	0,061	0,022
Al(VI)	-	0,034	0,119	0,125	0,115	0,628	Mg	4,693	4,836
Ti(VI)	-	0,010	0,011	0,009	0,050	0,077	Fe	0,246	0,142
Cr	-	-	-	-	-	0,008	Σ	5,000	5,000
Fe	0,210	0,168	0,193	0,154	-	0,783	Fe	0,017	0,023
Mn	-	-	-	-	-	0,005	Ca	1,559	1,311
Mg	5,825	5,825	5,713	5,704	5,876	4,394	Na	0,425	0,666
Σ	6,035	6,037	6,036	5,992	6,041	5,895	Σ	2,001	2,000
Ca	0,017	0,016	0,014	-	0,030	0,006	Na	0,439	0,468
Na	1,743	1,719	1,656	1,779	1,558	0,794	K	0,014	0,012
K	0,093	0,094	0,184	0,122	0,086	0,145	Σ	0,453	0,480
Σ	1,853	1,829	1,854	1,901	1,674	0,945	ОН	2	2
ОН	4	4	4	4	4	3,937			
F	-	-	-	-	-	0,063			
mg#	0,965	0,972	0,967	0,974	1,000	0,849		0,950	0,971

Примечания. № 1–4: аспидолит из Бураковского комплекса (наст. иссл.). № 5 аспидолит из Алжира (средний состав по данным [2, 12]). № 6: вонезит из проявления Пост Понд, США [7]. № 7 и 8: кайма амфибола вокруг ядра аспидолита, Бураковский комплекс (наст. иссл.).

Хлор проанализирован и не установлен (n.d.). Содержание H₂O (мас. %) вычислено на основе баланса зарядов, принимая значения O = 20 и (ОН + F) = 4 в эмпирических формулах минералов группы слюды и O = 22, ОН = 2 в формулах амфибола. Значения индекса mg# = Mg/(Mg+Fe).

или флюида. Не исключено, что каймы амфибола изолировали зёрна аспидолита и, в какой-то степени, способствовали их лучшей сохранности. С другой стороны, сравнительная свежесть дунита, с весьма ограниченным развитием вторичных водосодержащих силикатов, свидетельствует: постагматическая система оставалась сравнительно H₂O-дефицитной, что также способствовало хорошей сохранности.

Таким образом, в Бураковском расслоенном комплексе, в качестве редкого минерала интеркумуляционной минеральной ассоциации установлен аспидолит. Интеркумуляционный лаврингит обнаружен нами ранее [13]. Можно полагать не случайным кристаллизацию аспидолита в Бураковском массиве не непосредствен-

но из остаточного расплава, а вследствие реакции с ранее сформированным олигоклазом. В качестве главных компонентов, аспидолит содержит Mg и Na, элементы контрастные по своему геохимическому поведению. В ходе фракционной кристаллизации исходных базальтоидных расплавов, степень магнезиальности дифференциатов закономерно снижается с прогрессирующей кристаллизацией. В то же время, Na и K, как элементы «несовместимые», имеют закономерную тенденцию накапливаться в остаточном расплаве, что выражается в значительном возрастании альбитового компонента (и снижении анортита) в плагиоклазе на поздних стадиях кристаллизации. Вместе с тем, налицо существенные различия в минералого-

геохимическом поведении Na и K. Как известно, Na входит в состав интеркумулусного плагиоклаза, обогащённого альбитом (до почти крайнего Ab). Однако, калиевый полевой шпат в таких системах не стабилен. Кроме того, условия кристаллизации и кристаллохимические факторы препятствуют вхождению значительных количеств K в плагиоклаз в качестве ортоклазового компонента при кристаллизации мафит-ультрамафитов. Таким образом, на пост-кумулусной стадии, при формировании ультрамафитов, в интерстициальном расплаве довольно высокой степени магнезиальности присутствует «свободный» K, что обуславливает обычную (нормальную) кристаллизацию флогопита. В противоположность, «свободного» Na в таких расплавах, как правило, уже нет. Закономерным следствием этого является вероятность формирования аспидолита лишь за счёт замещения ранее сформированного плагиоклаза, обогащённого альбитовым компонентом, выступающего «первичным концентратом» Na. Как можно заметить, значения атомного отношения $Na : Al : Si = 1 : 1 : 3$, как в стехиометрическом составе альбита, так и аспидолита, что, очевидно, благоприятствует формированию аспидолита в результате реакции и трансформации альбита. Следовательно, логично ожидать новых находок аспидолита в мафит-ультрамафитах именно в ассоциации и в реакционных взаимоотношениях с интеркумулусным альбит-олигоклазом. Кроме того, перспективными средами, где также весьма вероятно кристаллизация аспидолита, можно считать метасоматические проявления разного рода, особенно в связи с щелочными комплексами, в которых, как известно, могут формироваться крайне магнезиальные (практически «без Fe» в составе) минералы группы слюд [14].

Благодарности

Эта статья посвящается памяти коллег, Н.Н. Трофимова и М.М. Лаврова, – замечательных учёных-исследователей мафит-ультрамафитовых комплексов Балтийского щита, из Института Геологии Карельского НЦ РАН (г. Петрозаводск), с кем первый автор имел честь и удовольствие работать в совместных проектах по изучению минералогии и петрологии Бураковского комплекса. Выражаем благодарность сотрудникам университета Оулу (Финляндия): О. Тайкина-ахо, Ё. Паасо, Р. Пеура, и проф. К. Лаайоки и Т. Алапиеги за всестороннее содействие. А.А. Никифоров выражает глубокую признательность коллективу Геологического факультета ВГУ. Мы благодарим Д.В. Афанасьева, ректора ЧГУ, за поддержку проектов НИР в сфере «Науки о Земле», а также проф. А.Д. Савко, главного редактора, редакцию и рецензентов журнала «Вестник Воронежского государственного университета; серия геология» за рассмотрение рукописи статьи.

Череповецкий государственный университет
Барков Андрей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий научной лабораторией «Промышленной и рудной минералогии»
E-mail: barkov@chsu.ru; ore-minerals@mail.ru
Тел.: +7 911 543 9575

Воронежский государственный университет
Никифоров А. А., магистрант геологического факультета
E-mail: port-express@mail.ru; Тел.: +7 951 733 0484

ЛИТЕРАТУРА

1. Kulke, H.H.G. Metamorphism of evaporitic carbonate rocks (NW Africa and Afghanistan) and the formation of lapis lazuli. / H.H.G. Kulke // 25th International Geological Congress, Sydney. – 1976. – Abstracts. V.1. – P. 131–132.
2. Schreyer, W. Natural sodium phlogopite coexisting with potassium phlogopite and sodian aluminian talc in a metamorphic evaporite sequence from Derrag, Tell Atlas, Algeria / W. Schreyer, K. Abraham, H. Kulke // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1980. – V.74. – P. 223–233.
3. Carman, J.H. Synthetic sodium phlogopite and its two hydrates: stabilities, properties, and mineralogic implications / J.H. Carman // American Mineralogist. – 1974. – V.59 – P. 261–273.
4. Keusen, H.-R. Mineralogie und Petrographie des metamorphen Ultramafitit-Komplexes vom Geisspfad (Penninische Alpen) / H.-R. Keusen // Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen. – 1972. – V.52. – P. 385–478.
5. Johan, Z. Origin of chromite deposits in ophiolitic complexes: evidence for a volatile- and sodium-rich reducing fluid phase / Z. Johan [et al.] // Fortschritte der Mineralogie. – 1983. – V.61. – P.105–107.
6. Banno, Y. Aspidolite, the Na analogue of phlogopite, from Kasuga-mura, Gifu Prefecture, central Japan: description and structural data / Y. Banno [et al.] // Mineralogical Magazine. – 2005. – V. 69. – P.1047-1057.
7. Spear, F.S. Wonesite, a new rock-forming silicate from the Post Pond volcanics, Vermont / F.S. Spear, R.M. Hazen, D. Rumble // American Mineralogist. – 1981. – V.66 – P.100–105.
8. Лавров, М.М. Бураковский перидотит-габбро-норитовый комплекс / М.М.Лавров // Земная кора и металлогения юго-восточной части Балтийского щита; под. ред. К.О. Кратца. – Л.: Наука, 1983. – С.98–107.
9. Amelin, Y.V. U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the timing and duration of Paleoproterozoic continental rifting / Y.V. Amelin, L.M. Heaman, V.S. Semenov // Precambrian Research. – 1995. – V.75. – P.31–46.
10. Лавров, М.М. Стратиформное хромитовое оруденение в расслоенной интрузии докембрия Карелии / М.М. Лавров, Н.Н. Трофимов // ДАН СССР, 1986. – Т. 289. – № 2. – С.449–451.
11. Барков, А.Ю. Минералы серии лаурит-эрлихманит из хромитовых горизонтов расслоенных интрузий Карело-Кольского региона / А.Ю. Барков [и др.] // ДАН СССР, 1991. – Т. 319А. – С. 193–196.
12. Fleischer, M. Sodium phlogopite / M. Fleischer, L.J. Cabri // American Mineralogist. – 1981. – V.66. – P.639.
13. Barkov, A.Y. Loveringite: a first occurrence in Russia, from the Burakovsky layered intrusion, Karelia. / A.Y. Barkov [et al.] // Neues Jahrbuch für Mineralogie, Mh. – 1994. – V.3. – P. 101–111.
14. Barkov, A.Y. First terrestrial occurrence of titanium-rich pyrrhotite, pyrite and marcasite in a fenitized xenolith from the Khibina alkaline complex, Russia / A.Y. Barkov [et al.] // The Canadian Mineralogist. – 1997. – V.35. – P. 875–885.

Cherepovets State University
Barkov A.Y., Dr.Sc., Head of Scientific laboratory of «Industrial and ore mineralogy»
E-mail: barkov@chsu.ru; ore-minerals@mail.ru
Phone: +7 911 543 9575

Voronezh State University
Nikiiforov A.A., magistrate student of the Geological Department
E-mail: port-express@mail.ru; Phone: +7 951 733 0484