

УДК 550/552.112/553.493

НИЖНИЙ РУДНЫЙ ГОРИЗОНТ ТОМТОРСКОГО МАССИВА (ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ) – КАРБОНАТИЗИРОВАННЫЕ ВУЛКАНИТЫ–ЛАМПРОИТЫ

© 2002 г. С. М. Кравченко

Представлено академиком Л.Н. Когарко 05.03.2002 г.

Поступило 14.03.2002 г.

Щелочные комплексы являются главными источниками редких элементов [1]. Томтор – крупнейшее в мире месторождение Sc–REE–Y–Nb [2]. Почти полное отсутствие коренных обнажений и неизменных пород привело к резкому различию мнений о генезисе уникальных руд месторождения. Впервые выявлена вулканогенная природа толщи карбонатизированных лампроитов [2] и приведены доказательства гидротермального генезиса нижнего рудного горизонта – источника пирохлора, монацита и минералов группы флоренсита уникально богатых озерных руд верхнего рудного горизонта [3].

Вулканиды интродуцированы карбонатитами, внедрившимися в три фазы, образовавшими послонные внедрения и на глубине 250–300 м и глубже сплошные карбонатитовые тела [4, рис. 2]. По данным трех изотопных геотермометров [5], подтвердившим полученные ранее данные о температурах декрипитации газовой-жидких включений в минералах “коры выветривания” [6], измененные вулканиды подверглись гидротермальному воздействию, при котором были привнесены Nb и REE.

Томторский массив является типичным кольцевым комплексом (более 250 км² (рис. 1). Преоб-

ладающие биотитовые и биотит-пироксеновые нефелиновые и нефелинсодержащие сиениты (более 70% площади массива) слагают периферическую кольцевую зону шириной от 2 до 6 км. Исследование выявило их принадлежность как к натровому (хибинитовому), так и к калиевому (рисчорритовому) типам, как это наблюдается в Хибинском массиве [9]. Центральный карбонатитовый комплекс распространен на площади около 40 км² (площадь собственно карбонатитов 12 км²). Он отделен от сиенитов неполнокольцевой дайкой ийолит-мельтейгитов мощностью 1–3 км.

Разрезы 28 скважин пяти запад-северо-западных профилей (рис. 1) построены по результатам изучения шлифов и 350 анализов на Nb и REE [4]. Эти профили включают калиевые щелочно-ультрасосновные порфиоровые породы, измененные карбонатитами, внедрившимися в них и частично метасоматически их заместившими. Порфиоровые породы изменены также низкотемпературными процессами, местами сидеритизацией и дважды процессами формирования кор выветривания. Установлены почти неизменные порфиоровые породы, сохранившие свои первичные свойства (№ 2–4 табл. 1). Их модальный состав следующий (об.%):

№ обр.	Phl	Срх	Amph	Ol	Mt	Apt	Chlorite	Matrix
2	4.48	32.50	10.02	0.94	3.67	–	1.03	47.81
3	20.90	1.10	5.00	5.43	0.59	0.44	0.92	65.62
4	27.94	–	2.00	–	1.63	–	–	68.43

В этих порфиоровых породах впервые определен состав вкрапленников (табл. 2) – флогопита, клинопироксена, амфибола, калиевого полевого шпата, магнетита. Лейцит замещен тонкозернис-

тым агрегатом кальцита. Нормативный состав включает также анортит, альбит, ильменит, но реальный первичный магматический плагиоклаз в породах отсутствует, что характерно для лампроитов. Карбонат в основной массе интерстиционный и не корродирует лейсты флогопита. По химическому и количественно-минеральному составу лампроиты соответствуют группе вайомин-

Таблица 1. Химический состав лампроитов

Компонент	скважина/глубина (м)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	115/158	1625/61.7	1625/70.1	1625/78	118/117	118/195	1625/91	1625/113	2425/134	2425/136	2425/138	6409/93	6409/155	7265/25	7265/48	7265/64
SiO ₂	42.4	39.3	32.1	31.7	26.1	30.1	28.4	20.5	29.0	27.4	28.9	32.3	27.8	31.4	35.4	35.4
TiO ₂	2.72	4.06	5.22	5.59	3.61	2.16	2.97	1.69	2.77	3.16	2.72	2.56	2.72	2.49	3.09	2.96
Al ₂ O ₃	14.7	9.76	8.17	7.96	7.33	10.9	9.09	5.88	8.97	6.76	8.83	9.77	8.27	10.3	12.0	10.4
Fe ₂ O ₃	11.1	11.7	14.9	14.4	10.3	10.1	9.94	8.25	10.4	11.6	10.4	11.5	10.9	10.2	10.5	13.3
MnO	0.38	0.22	0.31	0.27	0.28	0.32	0.30	0.48	0.18	0.31	0.17	1.90	0.48	0.31	0.34	0.47
MgO	3.50	8.66	10.9	8.47	7.53	7.52	4.64	8.82	7.56	11.8	8.15	5.35	5.92	5.58	4.09	6.42
CaO	9.10	12.9	12.2	11.9	18.9	16.0	16.8	15.5	16.8	13.3	16.5	10.4	17.6	17.1	12.0	12.3
Na ₂ O	3.80	2.27	1.93	1.93	2.39	1.38	3.22	0.23	1.83	2.21	1.93	0.23	0.41	2.57	1.24	0.73
K ₂ O	4.27	3.59	4.36	4.43	4.33	4.09	3.18	5.09	5.27	4.42	5.21	7.90	6.41	4.11	7.03	6.33
P ₂ O ₅	1.35	0.74	1.83	2.70	2.44	1.48	0.99	0.38	1.62	0.47	1.56	1.58	3.06	2.25	1.18	1.78
S	-	0.21	0.42	0.73	-	0.16	1.59	0.14	0.37	0.72	0.30	0.79	0.39	<0.1	1.39	-
CO ₂	1.85	3.96	3.24	3.78	11.6	9.23	14.3	25.0	12.6	15.2	11.9	11.6	13.4	10.1	8.04	-
Sc	9.1	33.1	23.6	24.7	9.8	5.8	13.9	14.2	27.7	26.8	27.6	13.5	13.0	9.20	10.0	11.3
Cr	13	498	449	259	14	5	172	113	294	591	307	58	13	2	4	69
Co	24	45	58	51	42	28	31	33	38	55	39	31	27	30	40	41
Ni	34	92	129	188	64	25	64	50	79	288	87	62	50	38	63	113
Zn	193	256	183	229	185	223	223	504	144	143	142	242	202	192	293	381
Cs	1.90	1.95	1.59	1.90	1.78	3.87	4.29	0.06	3.11	1.34	3.06	1.60	2.41	3.58	4.87	9.05
Ba	10800	3030	3320	8770	2490	3590	10000	13300	3280	1460	2870	4520	3810	2860	4160	1770
Rb	123	103	139	172	211	126	233	186	113	123	110	150	168	147	129	204
Sr	1920	1255	1425	3575	9615	3525	17130	14170	17450	2150	1620	5720	5055	4400	2480	1925
Zr	524	374	721	1160	292	159	627	513	431	263	442	662	898	764	547	520
Hf	11.30	9.57	15.80	24.50	5.16	2.19	12.2	0.98	8.77	7.45	8.30	9.82	13.6	12.5	9.19	11.7

Таблица 1. Окончание

Компо- нент	скважина/глубина (м)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	115/158	1625/61.7	1625/70.1	1625/78	118/117	118/195	1625/91	1625/113	2425/134	2425/136	2425/138	6409/93	6409/155	7265/25	7265/48	7265/64
Ta	13.20	5.26	5.65	16.60	11.5	5.51	8.01	4.32	9.25	7.09	8.86	6.76	4.14	9.46	8.62	6.99
Nb	193	223	347	138	216	227	138	583	131	132	143	370	452	224	243	231
Th	19.40	15.10	16.40	15.50	6.67	6.68	15.6	75.2	14.6	9.15	13.2	74.6	6.44	12.0	78.1	13.6
U	5.17	4.78	5.99	7.26	2.24	5.32	7.26	1.54	13.9	1.90	10.5	3.91	15.7	4.92	3.50	1.91
W	2.39	1.84	1.52	5.50	0.16	1.32	5.50	7.26	4.75	22.1	4.01	3.04	16.2	0.50	4.60	5.82
As	1.33	4.82	2.63	2.71	12.5	4.07	27.9	10.5	12.8	65.5	11.6	3.90	18.4	4.70	16.1	9.23
Sb	1.12	0.83	0.59	0.42	0.31	1.60	1.24	3.40	2.16	1.71	7.44	0.62	1.22	1.53	0.52	1.18
Au	1.84	1.60	1.46	0.10	4.50	5.60	3.69	12.0	17.9	4.46	203	5.04	3.25	3.45	6.99	14.1
Y	36	17	34	29	-	23	-	-	32	11	28	84	75	35	38	46
La	170	76.50	156	175	172	521	301	735	91	1370	145	231	142	165	177	88.2
Ce	325	161	361	341	247	534	447	1380	302	1750	284	394	185	290	325	151
Nd	137	79.10	149	147	90.7	148	161	483	134	75	120	149	64.2	119	149	79
Sm	20.80	15.10	23.90	23.80	15.7	22.9	23.5	63.2	21.5	12.1	20.1	26.0	15.7	20.8	26.7	14.9
Eu	4.99	3.96	6.10	5.90	4.39	6.23	5.95	16.1	5.26	2.88	4.98	7.99	5.05	5.72	6.95	4.19
Gd	14.50	11.10	15.80	14.10	12.6	16.6	16.3	41.7	13.2	7.32	14.1	24.2	17.7	16.2	20.4	13.3
Tb	1.73	1.45	1.97	1.91	1.65	1.99	1.92	4.61	1.70	0.99	1.62	3.97	2.56	2.08	2.33	1.62
Ho	1.83	1.89	1.90	1.53	1.49	1.81	2.08	3.58	1.60	1.06	1.45	3.73	2.99	2.02	2.25	1.70
Tm	0.60	0.09	0.39	0.41	0.34	0.31	0.49	0.85	0.50	0.44	0.34	0.95	0.83	0.64	0.56	0.59
Yb	3.69	2.15	2.44	2.05	1.97	1.49	2.99	4.12	2.88	2.31	2.10	4.75	4.82	3.67	2.81	3.33
Lu	0.53	0.26	0.32	0.28	0.22	0.18	0.37	0.51	0.39	0.33	0.31	0.62	0.63	0.49	0.39	0.46

Примечание. Главные породообразующие компоненты (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, R, S (мас. %) и Rb, Y, Sr, Zr, Nb (ppm) определены двумя разновидностями метода рентгеновской флуоресценции: измерением дисперсии длин волн (WDXRF) и измерением дисперсии их энергии (EDXRF). Sc, Cr, Co, Ni, Zn, Cs, Ba, Rb, Sr, Th, U, W, As, Sb, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Ho, Tm, Yb, Lu (ppm), Au (ppb) определены методом инструментального активационного анализа. Аналитики Джеймс Баден и Давид Симс лабораторий Американской геологической службы в Денвере (Колорадо).

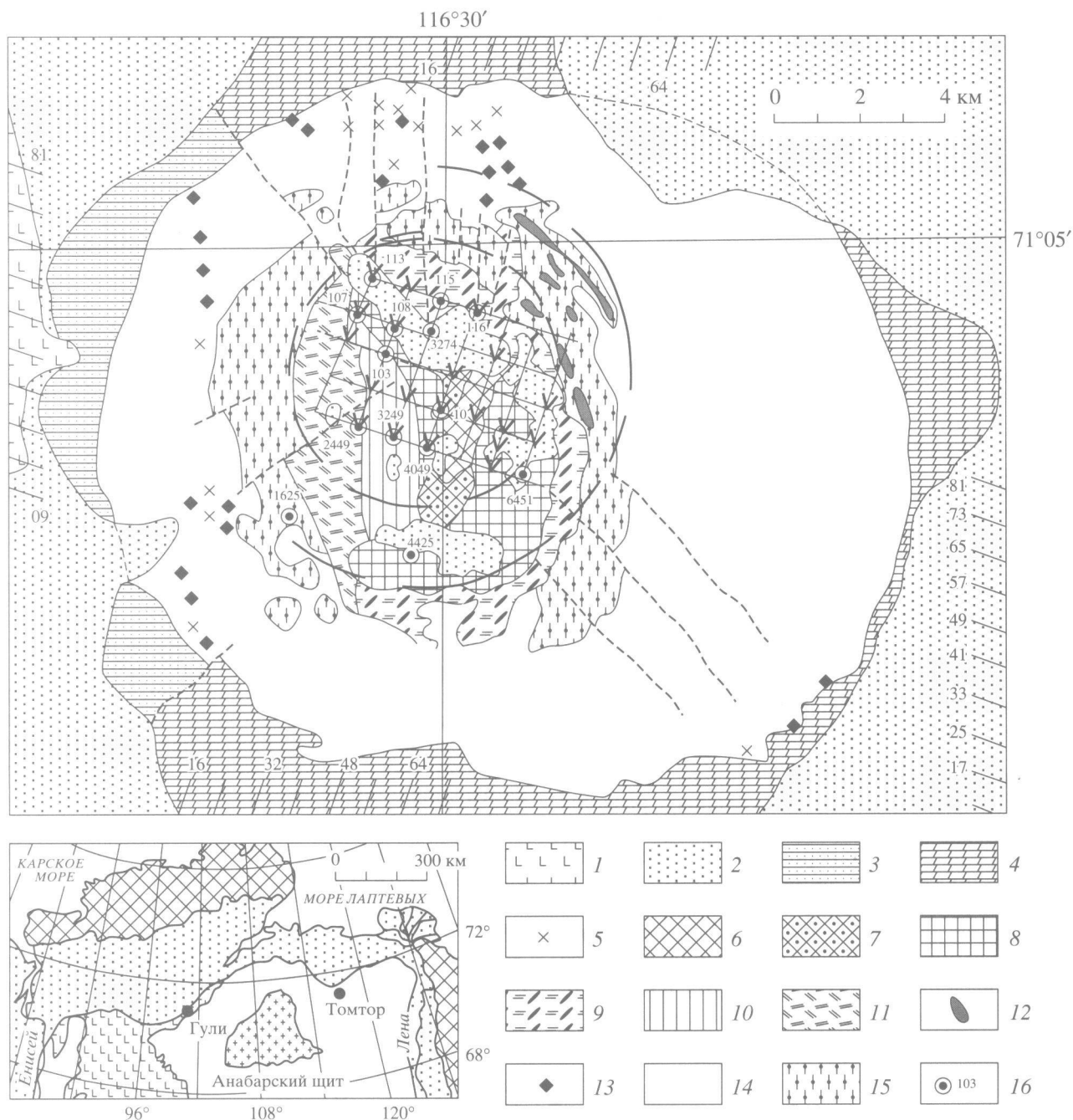


Рис. 1. Обзорная геологическая карта по [8] и [7] и расположение части скважин, образцы керна которых были исследованы. Условные обозначения относятся только к карте Томтора. Вдоль верхней и нижней частей рамки показано расположение север-северо-восточных профилей, вдоль боковых частей – запад-северо-западных профилей. Четырехзначные номера скважин образуются из сочетания номеров первых и вторых профилей. До введения этой системы скважины имели, в основном, сотые номера. Осадочный комплекс: 1 – нижний триас: свита туфо-лав, туфов и основных лав; 2 – пермь (нерасчлененная): конгломераты, алевролиты, песчаники, уголь; 3 – венд, томторская свита: алевролиты и песчаники; 4 – рифей: терригенно-карбонатная свита, интрузивные и метасоматические комплексы; 5 – брекчии карбонатитов; 6 – рудоносные (редкоэлементные) карбонатиты-3; 7 – анкерит-шамозитовые породы; 8 – карбонатиты-2 (фосфор-редкоэлементные); 9 – апатит-микроклин-слюдяные породы; 10 – карбонатиты-1 (безрудные); 11 – кальцит-микроклин-слюдяные породы; 12 – магнетитолиты (фоскориты); 13 – альеиты и щелочные пикриты; 14 – нефелиновые и нефелинсодержащие сиениты; 15 – ийолиты-якупирангиты; 16 – скважины, образцы керна которых были исследованы в лабораториях США и ИМГРЭ. В центральной части массива показаны кольцевые структуры, установленные Л.И. Шахотько в результате дешифрирования аэрофотоснимков. Галочками отмечены скважины, разрез которых начинается с порфировых пород. На врезке-схеме расположения массива Томтор в составе Анабарского щита показаны архейские метаморфические породы, на юго-западе – область развития траппов и щелочных эффузивов.

Таблица 2. Химический состав минералов мало измененных лампроитов

Компонент	Оливины		Пироксены		Амфиболы		Слюды		Магнетиты		Карбонат
	обр. 3/18	обр. 4/13	обр. 3/5	обр. 3/17	обр. 3/4	обр. 2/1	обр. 3/10	обр. 3/12	обр. 2/2	обр. 3/9	обр. 2/3
SiO ₂	38.64	38.79	50.12	50.49	40.03	38.42	39.45	45.48	0.0	0.06	0.19
TiO ₂	0.00	0.02	2.17	1.85	0.34	2.03	0.0	4.77	0.0	21.63	0.0
Al ₂ O ₃	0.0	0.04	3.82	4.09	13.66	14.22	10.77	8.45	0.0	1.76	0.23
FeO	13.48	13.25	5.97	6.07	11.09	9.40	17.21	2.42	93.01	74.23	0.14
MnO	0.43	0.25	0.07	0.28	0.12	0.0	0.08	0.0	0.04	1.12	0.0
MgO	46.42	45.59	14.63	15.42	13.18	20.33	14.74	30.31	0.0	0.0	0.0
CaO	0.18	0.32	22.22	20.63	12.02	0.03	4.91	0.07	0.06	0.13	55.35
Na ₂ O	0.0	0.0	0.50	0.54	2.29	0.22	0.24	0.04	0.0	0.48	0.38
K ₂ O	0.0	0.0	0.01	0.04	1.63	9.08	8.38	8.71	0.06	0.10	0.04
Cr ₂ O ₃	0.63	0.56	0.0	0.28	0.0	0.04	0.20	0.0	0.0	0.13	0.07
Сумма	99.83	99.74	99.50	99.87	100.3	97.16	95.98	96.86	93.74	94.65	96.40

Примечание. Основная масса – альбит (обр. 3/9) Na_{0.70}[Si_{2.94}Al_{1.07}]O_{7.83}. Анализы выполнены на микроанализаторе "Cameca MS-47", аналитик И.П. Лапутина (ИГЕМ РАН).

гитов (диопсид–лейцит–флогопит) и орендитов (диопсид–санидин–флогопит) [10, 11].

Корреляционный анализ данных о составе в различной степени карбонатизированных лампроитов позволяет связывать с привнесением CO₂ привнос Ca, Nb, REE, Sr, Ba и вынос Si, Mg, Ti, Na.

Выявленные Л.И. Шахотько кольцевые разломы, установленные горизонтальные разделы толщи вулканитов и ориентировка вкрапленников свидетельствуют о вероятном их залегании в кальдере проседания диаметром 6–10 км. На классификационной диаграмме [12] (рис. 2), а также на диаграммах Холмса и Ла-Роша вулканиты, после вычитания из их состава привнесенного Ca и прибавления вынесенных Si и Mg, из поля со-

ставов камафугитов переходят в поле составов лампроитов.

Кроме доминирующего типа калиевых щелочно-ультраосновных порфировых пород (табл. 1), изредка встречаются лейкократовые породы, отвечающие по составу щелочным трахитам. Породы с заметным количеством вкрапленников калиевого полевого шпата намечают переходные различия к щелочным трахитам.

В последнее время к аналогичным выводам о лампроитовом составе порфировых пород центральной части массива пришли некоторые исследователи [13]. В составе массива описаны также оливиновые мелилититы [14].

Таким образом, выявлено, что кора выветривания наложена на 300-метровую толщу вулкани-

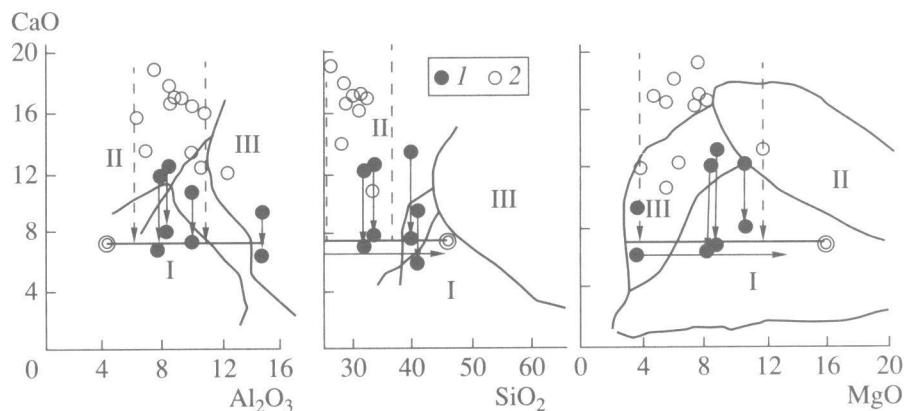


Рис. 2. Бинарные диаграммы [12] с полями составов лампроитов (I), камафугитов (II) и пород Римской провинции (III). I – № 1–4 (табл. 1 с CO₂ < 4%); 2 – № 5–16 (табл. 1). Содержания CaO – после вычитания, связанного с карбонатами для образцов 1–4 (сплошные линии) и равного 7.02% (среднее содержание в лампроитах Австралии, США, Индии, Антарктиды), для образцов 5–16 (штриховые линии).

тов – карбонатизированных лампроитов, залегающих в кальдере проседания, и что пироксид, барриостронциопироксид, монацит, флоренсит и гояцит образовались в результате гидротермального привноса Nb и REE.

Автор выражает глубокую благодарность доктору Дж. Заманскому (G.K. Szamanske) (анализы в США), В.А. Федоренко (определение CO₂), Л.И. Шахотько, диагностировавшему кольцевые разломы массива Томтор, и аналитикам Джеймсу Бадену, Давиду Симсу (лаборатории Американской геологической службы в Денвере (Колорадо)), В.И. Калюжному, Ю.В. Терехову, Б.А. Зискину (ИМГРЭ) и И.П. Лапутиной (ИГЕМ РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Когарко Л.Н. Проблемы генезиса агпайтовых магм. М.: Наука, 1977.
2. Кравченко С.М. Геохимия магматических пород. М.: ГЕОХИ РАН, 2000. С. 78.
3. Кравченко С.М., Бебяков А.Ю., Кубышев А.И., Толстов А.В. // Геология руд. месторождений. 1990. Т. 32. № 1. С. 105–111.
4. Кравченко С.М., Заманский Дж., Федоренко В.Н. // Геохимия. 2002. № 8.
5. Kravchenko S.M., Pokrovsky B.G. // Econ. Geol. 1995. V. 90. P. 676–689.
6. Аглонов В.С., Эрлих Е.Н. Щелочной магматизм и апатитоносность севера Сибири. Л.: Ин-т геологии Арктики, 1980. С. 112–123.
7. Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А. // Геология руд. месторождений. 1994. Т. 36. № 2. С. 83–110.
8. Толстов А.В. Геологическое строение, состав и рудоносность кор выветривания массива Томтор. Автореф. дис. ... канд. геол.-минералог. наук. М.: ВИМС, 1996. 29 с.
9. Кравченко С.М., Лапина М.И., Лапутина И.П. и др. // Петрология. 1994. Т. 2. № 2. С. 224–240.
10. Классификация магматических пород и словарь терминов / Под ред. С.В. Ефремовой. М.: Недра, 1997. 246 с.
11. Wolley A.R., Bergman S.C., Edgar A.D. et al. // Can. Miner. 1996. V. 34. P. 175–186.
12. Foley S.F., Venturelli G., Green D.H., Toscani L. // Earth Sci. Rev. 1987. V. 24. № 2. P. 81–154.
13. Владыкин Н.В. Щелочной магматизм Земли. М.: ГЕОХИ РАН, 2001. С. 17.
14. Егоров Л.С., Сурина Л.С., Поршнев Г.Ю. Рудомагматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л.: Наука, 1985. С. 138–154.