

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ


Научный руководитель темы, д-р
геолого-минералогических наук


20.12.16
подпись, дата

Н.В. Владыкин

Ответственные исполнители
темы:

кандидат геолого-
минералогических наук


20.12.16
подпись, дата


И.А. Сотникова

кандидат геолого-
минералогических наук


20.12.16
подпись, дата

Н.В. Алымова

кандидат геолого-
минералогических наук


20.12.16
подпись, дата

Т.А. Радомская

Ведущий инженер


подпись, дата

А.Ю. Митрофанова

РЕФЕРАТ

Отчет включает 26 стр., 8 илл., 2 табл., 19 ист.

Ключевые слова: мантийная природа источников, щелочные породы, глубинные магмы, лампроиты, геохимия изотопов, карбонатиты, щелочные граниты.

Объекты исследования: К-щелочные лампроит-карбонатитовые комплексы щитов и складчатых зон (Мушугай Худук, массив Бурпала, Катугинский и Зашихинский массивы, Томторский массив)

Целью исследований является получение вещественных характеристик (возрастных, геохимических, изотопных, минералогических) для эталонных щелочных комплексов, проявившихся в различных геодинамических обстановках и сопряженных с мантийными плюмами, обоснование связи с ними стратегического редкометалльного орудинения, разработка моделей магмо- и рудообразования, выявление общих закономерностей в формировании и эволюции соответствующих рудно-магматических систем.

Получены надежные датировки возраста для пород Томторского массива (Pb-U метод) по цирконам, по которым выделено 2 этапа магматизма в 700 и 400 млн лет. Обоснована вулканогенная гипотеза образования суперредкометалльных руд Томторского массива, которая меняет методику поисков, разработана новая схема магматизма и уточнена формационная принадлежность Томторского массива. Получены датировки возраста для гранитов и руды Катугинского массива 2066–2055 млн лет (р-н Центрального БАМа). Получены новые характеристики редких элементов (АСР-MS метод) в гранитах и рудах Катугинского и Зашихинского месторождений. Проведены термобарогеохимические исследования гранитов и руд по расплавленным включениям и получены температуры их образования, равные 800° С, что говорит о их магматическом генезисе. Этот вывод кардинально меняет метод поисков подобных месторождений. Получен возраст сиенитов и редкометалльных пегматитов Бурпалинского массива, проведены термобарогеохимические исследования апатит-флюоритовой дайки. Получены новые данные о рудной продуктивности этого массива.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	6
Геологическое положение и строение Томторского массива	6
Геохронологические исследования	9
Петрохимические и геохимические особенности пород Томторского массива	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	21
ПРИЛОЖЕНИЕ	22
Задание на 2016 год	26

ВВЕДЕНИЕ

Щелочные породы – уникальные образования Земли. С щелочными карбонатитовыми комплексами связаны крупнейшие месторождения Nb, Ta, Zr, Y, TR, Cu, P, Al, Pt и других рудных элементов, а также уникальные месторождения самоцветов: чароита, Cr-диопсида, дианита. В лампроитах Австралии добываются алмазы. Сложность процессов их образования вызывали многолетние научные споры, которые не утихают до сих пор. Данные изотопно-геохимических исследований подтверждают мантийную природу источников вещества для пород щелочных карбонатитовых комплексов. Большую роль в петрогенезе глубинных магм в мантии Земли уделяют карбонатитовым расплавам.

Настоящий отчет является заключительным по теме «Геохимическая эволюция, рудоносность и глубинные источники К-щелочных лампроит-карбонатитовых комплексов щитов и складчатых зон», по которой были представлены отчеты по этапам 2013, 2014, 2015 годов.

Одним из приоритетных направления науки в разделе «Рационального природопользования» является изучение месторождений редкометалльного стратегического сырья (Nb, Ta, Zr, TR, Y, Ti, Sr.) Особым приоритетом является развитие производства в Заполярной зоне.

Суперкрупное редкометалльное Томторское месторождение находится в Восточном Прианбарье за полярным кругом и удовлетворяет всем этим направлениям.

Целью исследований является получение вещественных характеристик (возрастных, геохимических, изотопных, минералогических) для эталонных щелочных комплексов, проявившихся в различных геодинамических обстановках и сопряженных с мантийными плюмами, обоснование связи с ними стратегического редкометалльного орудинения, разработка моделей магмо- и рудообразования, выявление общих закономерностей в формировании и эволюции соответствующих рудно-магматических систем. Последний этап проекта касается изучению Томторского массива с суперкрупным месторождением редкометалльного стратегического сырья, определение его возраста, формационную принадлежность и генетические аспекты происхождения руд.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В обрамлении Сибирской платформы широко развиты комплексы щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами, многие из которых являются месторождениями стратегического сырья, в частности REE, Ta, Nb, Zr, Y и др. Эти комплексы возникли в разные геологические эпохи и характеризовались различными особенностями структурного и пространственного размещения. Поэтому вопросы, связанные с расшифровкой геологической позиции конкретных массивов, остаются одними из наиболее острых, как при оценке металлогенического потенциала территории, так и при решении вопросов геодинамического развития Сибирского кратона. Ответы на них в решающей степени зависят от выяснения возраста конкретных массивов, на основании которых устанавливается их принадлежность к магматическим областям той или иной металлогенической эпохи. В отчете приведены результаты геологических, геохронологических и геохимических исследований Томторского щелочно-ультраосновного массива и генезиса его руд, который относится к суперкрупным редкометалльным (Nb, TR, Y, Sc) карбонатитовым месторождениям мира.

Геологическое положение и строение Томторского массива

Томторский массив щелочных карбонатитовых пород площадью 250 км² - крупнейший карбонатитовый массив мира [14]. Он относится к вулканоплутоническим комплексам центрального типа. По геофизическим данным породы массива прослежены на глубину не менее 10 км. Расположен массив в Восточном Прианбарье на Уджинском поднятии (рис. 1) и образует с массивом Богдо и двумя нескрытыми массивами Уджинскую провинцию щелочных пород [8, 13]. В массиве были обнаружены многочисленные дайки и диатремы К-ультраосновных пород [13]. Проводившиеся в 80 годы интенсивные исследования Nb-TR-карбонатитового месторождения в основном касались рудной толщи, а силикатным породам массива уделялось мало внимания. В основном исследовались ийолит-сиенитовые породы, а остальные относились к фойдит-тингвайтовой серии [1, 10, 11, 14, 15], хотя Г.И.Поршневым [13] указывалось, что почти в каждой скважине верхние горизонты сложены разрушенными К-эффузивами пикритового типа. В южном обрамлении Томторского массива описаны диатремы с породами пикрит-

альнеитового ряда [8]. В двухтысячные годы авторами в Томторском массиве были обнаружены породы лампроитовой серии [2, 4, 16].

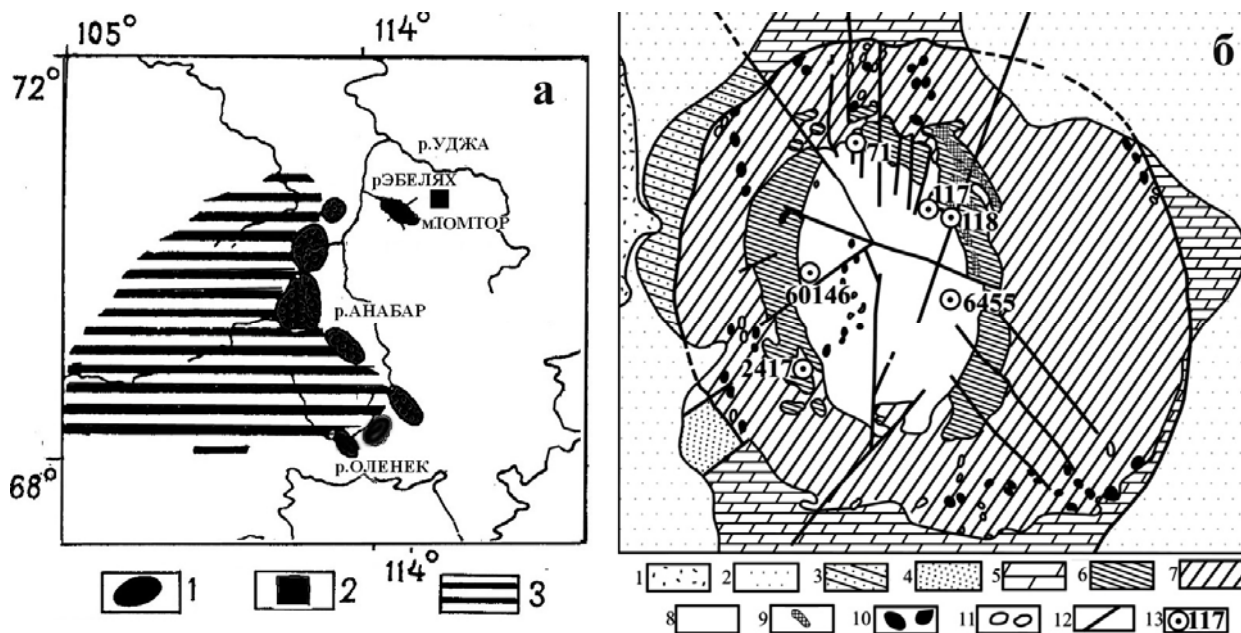


Рис.1. Географическое положение Томторского массива (а) и расположение взятых проб на карте массива (б) Усл. обозначения: а) 1 – кимберлитовые аномалии Прианабарья, 2 – Томторский массив, 3 – Анабарский щит. б) 1-5 – вмещающие породы, 6 – ийолиты, альнетиты, 7 – щелочные и нефелиновые сиениты, 8 – карбонатиты и руды, 9 – магнетит-апатитовые породы, 10 – карбонатные брекчии, 11 – альнеиты, 12 – разломы, 13 – № скважины.

На основе изучения более 2000 шлифов и около 1000 силикатных анализов пород Томторского массива нами предлагается следующая схема магматизма Томторского вулcano-плутона. Наиболее ранними породами массива являются оливин-пироксеновые породы, пироксениты и Vt-пироксениты, которые встречающиеся в некоторых скважинах в виде ксенолитов. Следующая порция магмы была мелилит-ийолитового состава, имеющая и жильные аналоги [6]. Далее внедрялись нефелиновые и щелочные сиениты миаскитового состава, занимающие 70% площади массива, притом K-щелочные сиениты значительно преобладают над Na-нефелиновыми сиенитами. Карбонатитовая составляющая отделялась и как от мелилит-ийолитовой так и от сиенитовой магмы, о чем свидетельствуют многочисленные сложные пересечения силикатных и карбонатных пород. Среди карбонатитов выделяются кальцитовые, доломитовые и анкеритовые разновидности [12] и переходные между ними типы. Выделенные А.В.Толстовым апатит-

магнетитовые породы, вероятно, являются нельсонитами и связаны с карбонатитовыми породами. Все эти породы относятся к плутонической истории становления массива. Последующие тектонические движения приводят к выходу пород массива на поверхность и через 300 млн лет начинается вулканическая история формирования массива, представленная эффузивными потоками, жильными породами, диатремовыми брекчиями и туфовыми образованиями. Наиболее ранние из них вулканиты, силлы и дайки пикрит-лампроитовой серии пересекают ранние карбонатиты и сами секутся более поздними карбонатитами, возможно отделившимися от лампроитовой магмы. По керну скважин эта толща имеет мощность не менее 300 м. Завершается вулканическая деятельность диатремовыми брекчиями и извержениями лампроитовых и эксплозивных образований - рудоносных карбонатно-фосфатных туфов (Fe, P, CO₂, Nb, TR), которые сохранились в кальдере проседания в центральной части массива. Возможно, что состав этих эксплозивных образований был усложнен фумарольными процессами и процессами выветривания (гетитовыми участками). Возможно, эксплозивная туфо-вулканическая деятельность происходила и в более молодое Р и J время и привела к образованию эффузивно-осадочных отложений, перекрывших массив. Эти образования, по данным А.В.Толстого, содержат до 0,1% Nb. Двухэтапность вулкано-плутонической деятельности, связана с циклической работой глубинного плюма, прорвавшегося в наиболее ослабленную рифтовую зону Уджинского поднятия. Данные по изотопии Sr, С и О [12] и наши данные по изотопии Sr-Nd свидетельствуют об эндогенном происхождении всех пород массива и отвергают модели осадочного переотложения [15] и зон вторичного обогащения [11,14] образования рудного комплекса массива и не противоречит его эндогенной туфогенной природе. Мы вслед за А.Р.Энтиным [9] интерпретируем рудный комплекс как туфогенные образования. Но он считал, что рудные компоненты наложены на туфы гидротермальным процессом, а мы объясняем образование рудного комплекса эксплозивным процессом, когда вместе с туфами извергались водная и газовая составляющая, обогащенная рудными элементами [3,17]. Туфы слоистые и содержат в большом количестве лапиллевы образования, которые кроме поверхностного окисления железистых минералов не подвержены гидротермальной переработке. Эти туфы по структурам и текстурам очень похожи на

церусситовые туфы вулcano-плутонического комплекса Мушугай Худук в Монголии [6, 18] и современные нерудные карбонатитовые туфы вулкана Вультуре в Италии.

Геохронологические исследования

Во время разведки Томторского месторождения было проведено около 100 определений возраста пород массива K/Ar и Rb/Sr методом [9] и получен полный набор нереальных возрастов от 800 до 240 млн лет. Такой разброс определений, вероятно, связан с анализом измененных пород. К полученным нами ранее цифрам возраста [7] в 2016 году проведены дополнительные исследования. Получен возраст по 5 цирконам U-Pb методом (лаб. ИГГД РАН) и 12 слюдам Ar/Ar методом (лаб. ИГМ СО РАН). Диаграммы некоторых возрастов представлены на рис. 2 – по цирконам и рис. 3 по слюдам. Для слюд из карбонатитов первого этапа получены оценки возраста 693 ± 8 и 681 ± 6 млн лет, а для слюд из лампроита и рудоносного карбонатита второго этапа – соответственно 412 ± 2 и 400 ± 4 млн лет.

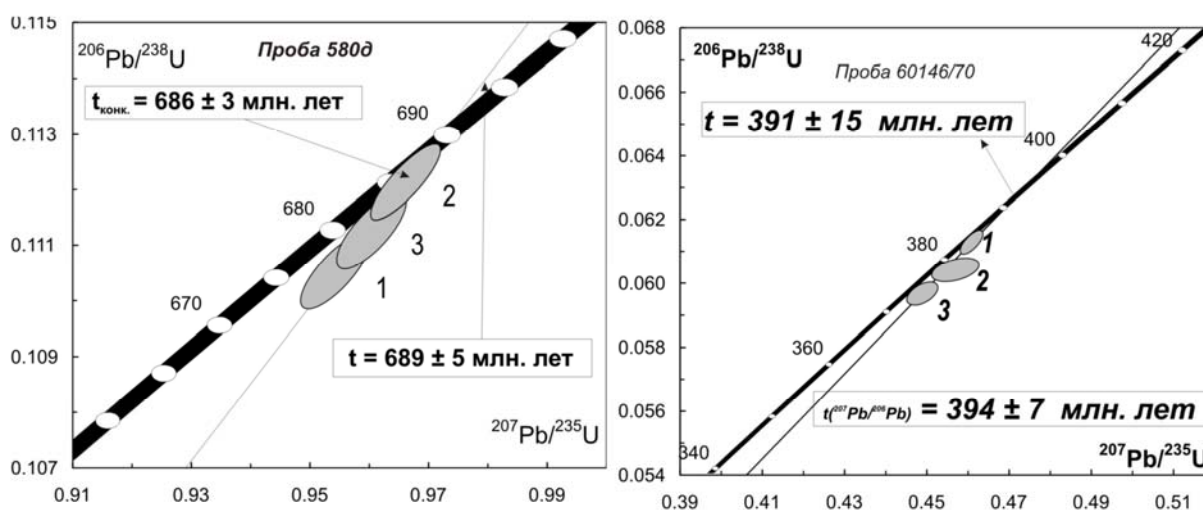


Рис. 2 Возраст по цирконам: №580дт – сиенит, №601146/70 – руда [7]

Полученные геохронологические данные свидетельствуют о двух этапах формирования магматических пород массива Томтор. Их кристаллизация происходила в интервалах 701-675 и 414-387 млн лет. Выделенные возрастные группы пород не уникальны в истории Сибирского кратона и вполне согласуются с эпохами крупнейших в его пределах проявлений внутриплитного магматизма. Так позднерифейская эпоха представлена большой группой

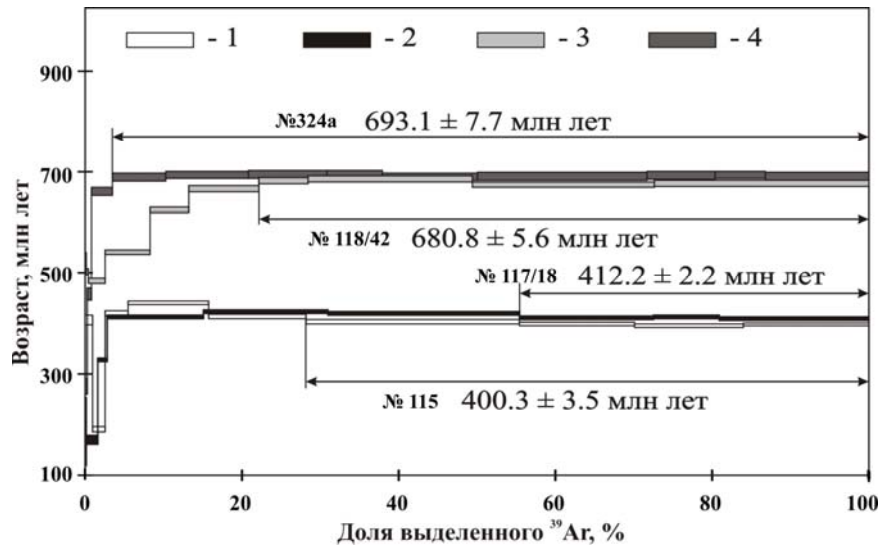


Рис.3 Определение возраста Ar/Ar методом в слюдах: карбонатит № 324а- (скв. 2417)- 693.1 млн лет, карбонатитовая брекчия № 118/42, (скв. 118)- 680.8 млн.л, лампроит № 117/18, (скв.117), карбонатит с мелилитом №115, (скв. 70/14) (7).

важных в металлогеническом отношении массивов редкометалльных щелочно-ультраосновных пород, которые структурно тяготеют к краевым участкам кратона. Девонская магматическая эпоха была связана с воздействием Вилюйского плюма на восточный край Сибирского кратона и близка к кимберлитовой эпохе Сибирского кратона.

Петрохимические и геохимические особенности Томторского массива

Все ранние исследователи массива по формационной принадлежности массив относили к классическим карбонатитовым комплексам натрового типа. Обнаружение нами в массиве ранних К- ультраосновных пород, а так же К-вулканические образования второго этапа внедрения [7, 2, 4, 14] и существенно калиевые ($K/Na=4$ и более) сиениты массива (рис.4) свидетельствуют о принадлежности пород Томторского массива к К-щелочному комплексу [17].

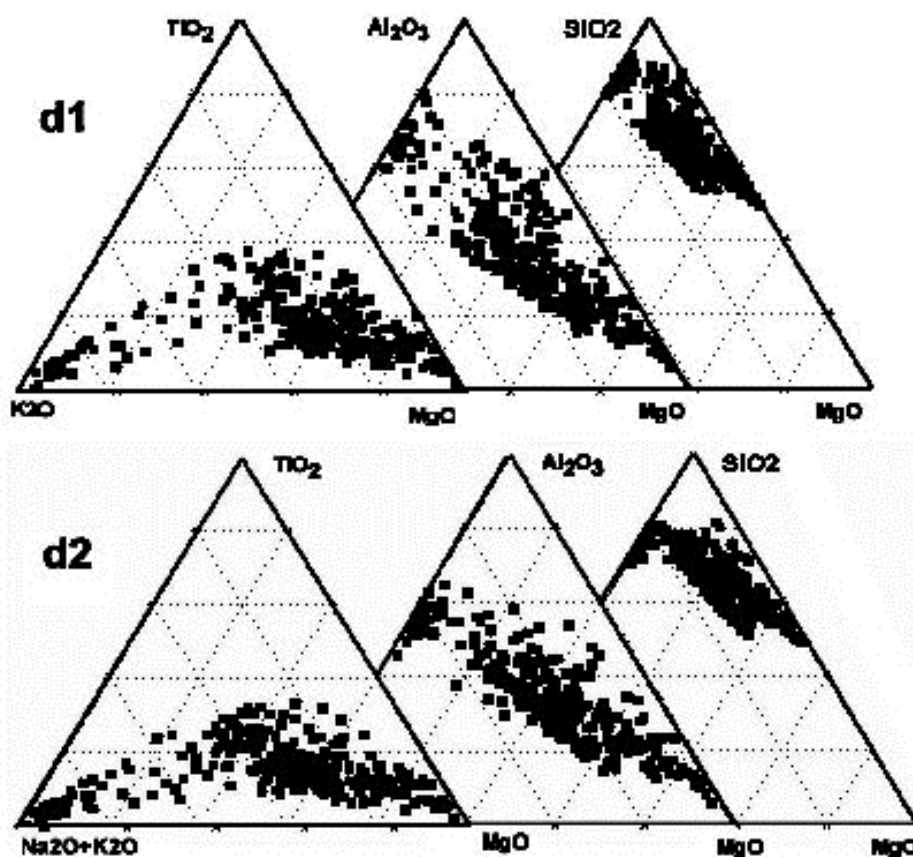


Рис. 4. Тройные корреляции породообразующих элементов с K_2O и $(K_2O + Na_2O)$ в силикатных породах Томторского массива

Этот вывод подтверждается и TR-Sr-Ba спецификой руды, не характерной для классических Na-щелочно-карбонатитовых комплексов [15]. Как видно из треугольных диаграмм (рис. 4) корреляционных зависимостей петрогенных элементов содержания натрия не влияют на калиевый тренд кристаллизации массива.

Таблица №1

Химический состав редкометаллических руд Томторского массива (в вес. %)

Индекс	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO ₂	MgO	CaO	SiO	BaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	F	H ₂ O	CO ₂	S	TR ₂ O ₃	Mb ₂ O ₅	ZnO	сум
A-538в	0,77	2,51	24,11	6,04	0,54	0,06	0,1	2,86	5,87	2,93	0,08	0,16	24,27	0,8	13,49	1,52	0,11	12,0	1,5	0,06	99,40
A-539в	0,18	0,76	2,42	8,62	36,4	2,7	0,69	1,56	1,72	0,65	0,02	0,27	2,4	0,29	0,1	26,5	0,1	6,5	7,5	0,2	99,47
A-1022	1,75	5,23	12,7	4,7	0,18	0,11	0,1	4,49	5,06	3,67	0,05	0,77	18,78	0,95	8,7	1,51	0,23	11,2	17,5	0,2	99,68
A-1026а	0,83	0,98	6,5	18,87	13,8	0,7	0,41	2,14	4,64	3,4	0,02	0,45	8,47	0,55	5,33	10,7	0,33	12,5	9,4	0,2	99,91
A-1026б	0,33	1,14	3,23	8,32	18,8	0,3	0,36	12,8	3,34	1,78	0,02	0,7	12	1,11	2,35	14,1	0,05	6,6	12,3	0,37	99,65
A-1028	0,23	2,34	1,92	6,33	26,1	0,7	0,96	2,65	4,76	2,41	0,02	0,7	2,02	0,8	0,5	19,6	0,12	5,6	2,2	0,2	99,74
A-1029	2,52	3,41	2,0	8,34	0,35	0,11	0,13	4,59	6,79	4,09	0,02	1,06	16,26	1,05	5,2	1,18	0,12	13,1	29,2	0,1	99,74
A-1033	9,2	3,56	9,6	4,41	4,28	0,09	0,38	10,7	2,33	1,29	0,05	0,37	16,26	0,91	8,74	1	4,44	10,3	3,5	6,41	99,90
A-1034	3,11	5,4	0,9	6,62	1,88	0,24	0,39	28	0,91	0,45	0,1	0,45	23,03	2	2,62	1,43	2,1	9,3	10,4	1,12	99,94
A-1040	29,9	21,9	28,27	4,58	0,74	0,09	0,32	0,26	0,17	0,27	0,22	0,2	0,55	0,08	10,53	0,7	0,18	0,4	0,4	0,05	99,89
A-1045	32,4	9,08	19,46	4,32	2,81	0,06	2,9	1,17	1,62	3,33	5,24	0,12	8,02	0,9	8,37	0,72	0,22	1,2	0,8	0,37	100,48
A-1050	12,7	5,46	17,2	3,49	0,64	0,13	0,17	2,55	3,04	3,14	0,04	0,22	17,18	0,66	11,41	1,09	0,39	15,3	4,9	0,1	99,61

Примечание: в № 1022 дополнительно определено Y₂O₃=1,0 и V₂O₃=1,2, в № 1033 Y₂O₃=0,72 и V₂O₃=1,70, № 1029 ZrO₂=0,48. Сумма с вычитом пересчета на F-O
 Данные химического анализа, анализы: Пагунина Г.А., TR, Y и V анализ ИСР-MS, Nb данные РФА, Институт геологии

Для сиенитов массива характерно преобладание калия над натрием (10-14% K_2O и 2-4% Na_2O). Высокие содержания натрия до 10% фиксируются только в ийолитах. Среди большого количества силикатных анализов сиенитов (около 300) и в шлифах из этих пород нами не встречены агпаитовые разности. Для оливиновых лампроитов отмечаются повышенные (до 7%) концентрации титана. В силикатных породах массива наблюдается преобладание бария над стронцием, что так же характерно для ранних пород калиевых комплексов. Содержания ниобия варьируют от 30 до 400 г\т, а иттрия до 100 г\т. Эти элементы далее накапливаются в карбонатитах и туфах до рудных концентраций. Для спектров редкоземельных элементов (рис. 5) в силикатных породах массива характерно отсутствие фракционирования европия и незначительный наклон линий спектров. На спайдердиаграммах наблюдаются различные тенденции поведения редких элементов. Так, для циркония и гафния в ультраосновных породах и лампрофирах характерны отрицательные формы, которые в ийолитах и сиенитах сменяются на положительные. Ниобий и тантал же напротив, положительный в ранних породах, сменяется на отрицательный в ийолитах и сиенитах.

Второй, вулканогенный этап развития магматизма массива [7] проявлен брекчиями кимберлитоподобных пикритовых вулканитов в диатремах, а так же силами и дайками лампроитовых пород [2, 4, 17] и карбонатитов [3]. Силикатные породы этого этапа подвергнуты процессам карбонатизации. В лампроитах первичные оливины и лейциты полностью замещены кальцитом [4]. От них остались только очертания форм кристаллов.

Данные по изотопии C, O, Sr, полученные ранее [12] и наши данные изотопной систематики Sr-Nd свидетельствуют об эндогенном происхождении этих пород, которые имеют такие же изотопные метки, как и сиениты и карбонатиты и однозначно отвергают осадочное и переотложенное происхождение этих пород. При осадочном генезисе или при переотложении водозными водами изотопные метки руд отличались бы от ранних магматических пород минимум на два порядка.

Таблица 2

Содержания редких элементов в рудах Томторского массива (в ppm)

№	538в	539в	1022	1026а	1026b	1028	1029	1033	1034	1040	1045	1050
<i>Li</i>	152	20	76	13,7	16	22	10,7	29	101	1247	442	75
<i>Be</i>	275	35	127	159	113	68	138	463	87	31	249	306
<i>Sc</i>	206	66	739	103	38	69	166	228	127	74	191	474
<i>Ti</i>	4474	2507	9890	2629	2121	5831	5531	7033	7382	84082	20865	11948
<i>V</i>	1111	1462	5759	5399	638	1857	4654	7986	2988	2204	5993	5105
<i>Cr</i>	326	17	255	120	16	8,7	96	179	53	1245	887	138
<i>Co</i>	3,39	45	10,5	33	23	30	6,9	30	10,6	13,5	13,2	23
<i>Ni</i>	9,4	46	13,3	40	8,7	27	20	14,1	13,7	229	192	44
<i>Cu</i>	414	18	47	119	35	7,7	6,4	74	41	108	8,6	114
<i>Zn</i>	546	2102	1233	2129	3046	1740	712	51657	8965	416	2908	909
<i>Ga</i>	35	4,31	29	18	20	5,5	13,8	36	8,0	80	64	40
<i>Ge</i>	0,76	0,38	0,93	1,16	0,21	0,31	0,34	0,25	0,36	0,38	0,69	1,66
<i>Rb</i>	0,56	1,78	0,86	1,19	0,87	0,45	0,98	2,26	5,7	9,8	412	1,72
<i>Sr</i>	45687	14496	40713	21994	25617	39056	54645	18583	7831	1196	12695	23990
<i>Y</i>	5478	627	13992	5862	1899	1011	4919	5669	3715	68	2702	11455
<i>Zr</i>	199	204	1649	138	105	1366	4840	168	13,9	1317	379	767
<i>Nb</i>	9577	48579	12774	70514	97260	154290	249610	27680	88901	41915	5653	34557
<i>Mo</i>	8,5	8,6	14,9	23	7,2	5,9	9,9	29	17	114	14,3	19
<i>Sn</i>	0,69	0,99	1,02	2,10	5,4	2,41	0,37	0,74	0,070	14,5	8,6	0,90
<i>Sb</i>	6,8	0,52	43	5,3	1,89	5,5	2,15	4,91	0,81	10,3	5,8	20
<i>Cs</i>	0,059	0,84	6,1	0,33	0,37	0,23	0,66	0,11	0,096	0,79	18	0,26
<i>Ba</i>	23172	6728	29624	15973	13548	19547	30633	4117	4689	3350	25616	25242
<i>La</i>	25713	8500	30064	21417	11032	5170	36740	23157	16945	353	1307	28214
<i>Ce</i>	48988	18886	59699	44673	21467	18751	70509	42329	32555	791	2446	49439
<i>Pr</i>	5405	1697	6461	5090	2081	1397	7645	4640	3605	54	251	5341
<i>Nd</i>	17893	4876	19730	17542	6340	4333	24305	15244	11533	166	862	16848
<i>Sm</i>	2218	514	2205	2037	736	560	2682	1860	1408	27	135	2184
<i>Eu</i>	652	136	629	532	212	163	717	521	412	8,7	49	670
<i>Gd</i>	1439	277	1697	1184	453	326	1459	1214	935	23	135	1740
<i>Tb</i>	209	43	302	168	66	47	225	188	151	3,56	23	244
<i>Dy</i>	894	168	1745	641	281	197	893	819	741	18	147	1185
<i>Ho</i>	153	28	323	112	51	36	154	144	136	3,02	39	232
<i>Er</i>	357	64	733	276	117	96	385	368	348	7,2	125	619
<i>Tm</i>	46	8,5	103	34	16	13,1	51	51	45	0,94	18	85
<i>Yb</i>	263	49	643	197	84	76	317	304	263	6,3	100	536
<i>Lu</i>	33	6,1	89	30	11,6	11,0	53	39	34	0,83	13,6	81
<i>Hf</i>	8,3	1,73	18	6,8	2,64	3,88	20	7,2	6,8	23	10,0	18
<i>Ta</i>	1,97	10,3	2,97	1,77	19	5,6	1,62	1,49	1,41	32	0,99	2,28
<i>Pb</i>	1528	476	4294	446	725	2189	1991	1731	1563	243	470	2250
<i>Th</i>	511	206	1114	152	71	397	716	1205	358	225	148	1490
<i>U</i>	193	15	57	29	23	16	16	16	22	22	8,0	37

Примечание: данные ICP-MS анализа, аналитики А.Ю.Митрофанова, О.В.Зрубина, Институт геохимии СО РАН 2016 г.

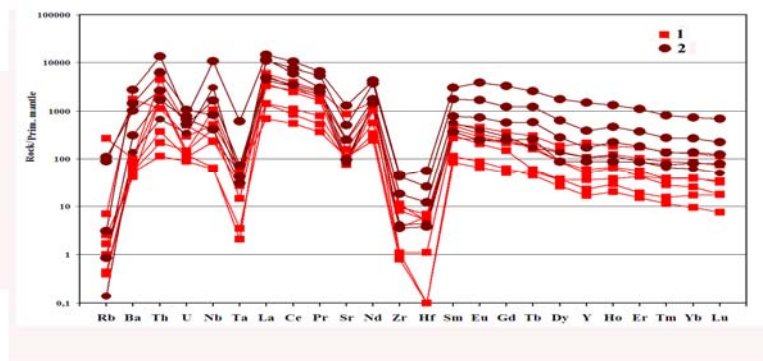
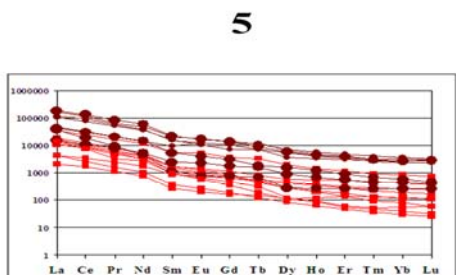
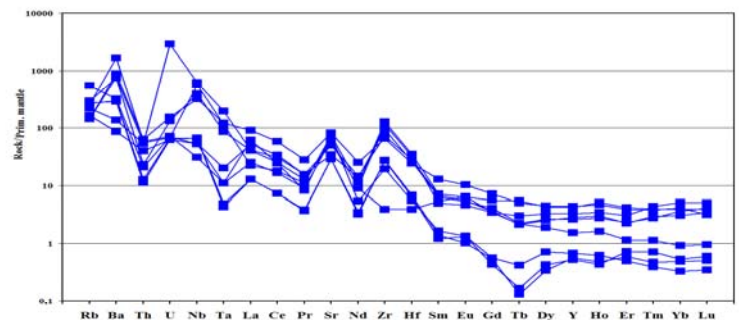
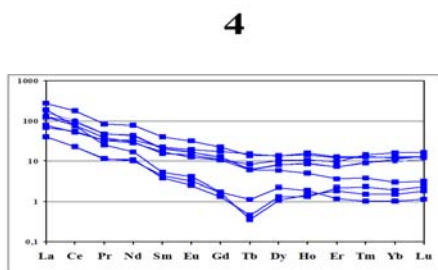
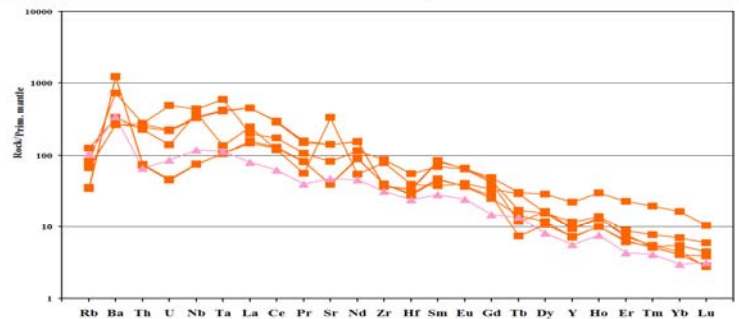
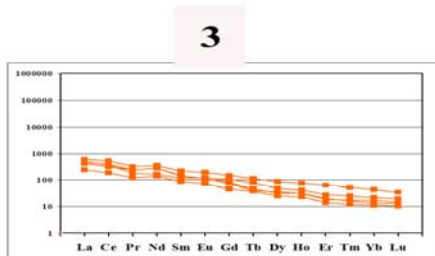
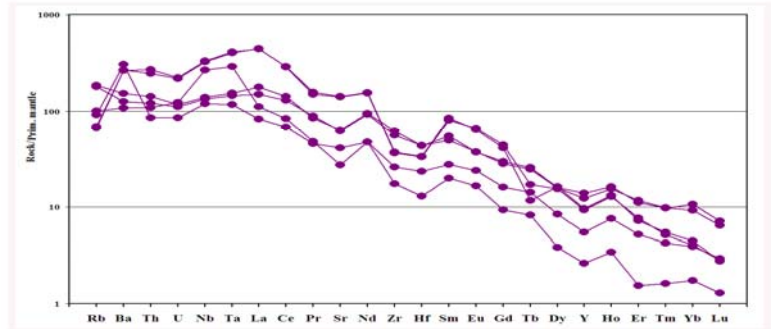
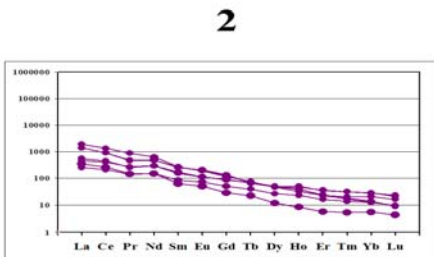
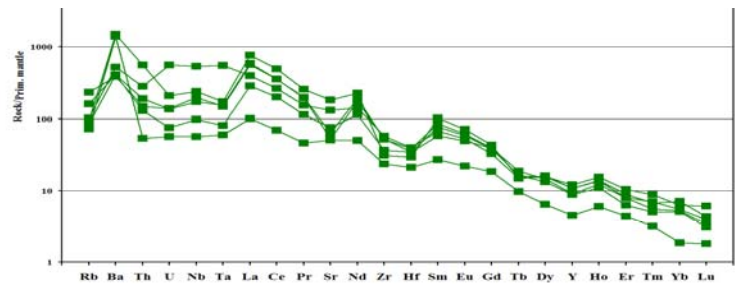
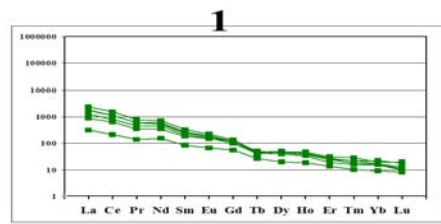


Рис. 5. Спектры редкоземельных элементов и спайдер- диаграммы поведения редких элементов в породах Томторского массива. 1- ультраосновные породы, 2- лампрофиры, 3- ийолиты, 4- сиениты, 5- карбонатиты (1) и руды (2).

Нами предложена новая гипотеза образования руд как вулканических образований. Эксплозивные рудоносные породы кристаллизовались из пересыщенных редкими элементами, фосфором и железом водных и газовых продуктов, вылетая из жерла вулкана в атмосферу вместе с туфовым материалом и осаждались на поверхность в виде горизонтальных полосчатых вулканогенно-осадочных образований. Кристаллизация рудных минералов происходила быстро. Этот вывод подтверждается скрытокристаллическим характером фосфатно-редкоземельных монацитоподобных минералов, и землистой консистенцией пироксенов, которые обрастали вокруг кристаллических затравок, образовавшихся до извержения. Эти землистые образования сохраняют октаэдрическую форму кристаллов. Большинство кристаллических минералов имеют размер менее 0.01 мм.

Максимальные концентрации по нашим данным рудных компонентов следующие: **Nb до 30%, TR до 15%, Y до 1,5%, Ti до 20%, Zn до 6%, Ba до 5%, Sr до 6%, V до 1,7%** и в ppm (г/т) **Sc до 8000, Be до 300, Li до 1200, Ga до 80, Mo до 150, Th до 1500, U до 200**. Нами впервые получены 30 химических анализов руд с содержаниями редких элементов более 50% (табл.1 и 2). Нигде в мире более нет таких руд, как по общему объему, так и по концентрациям. Как видно из диаграмм спектров редкоземельных элементов (рис. 6) и из диаграмм парных корреляций редкоземельных элементов (рис. 7) рудоносные эксплозивные туфы имеют такие же конфигурации кривых спектра TR, как и карбонатиты и ложатся на одни тренды соотношений редкоземельных элементов с карбонатитами, отличаясь от них только более высокими концентрациями этих элементов. В них, как и в карбонатитах не наблюдается фракционирования европия. На спайдердиаграммах (рис.5) конфигурации кривых так же аналогичны.

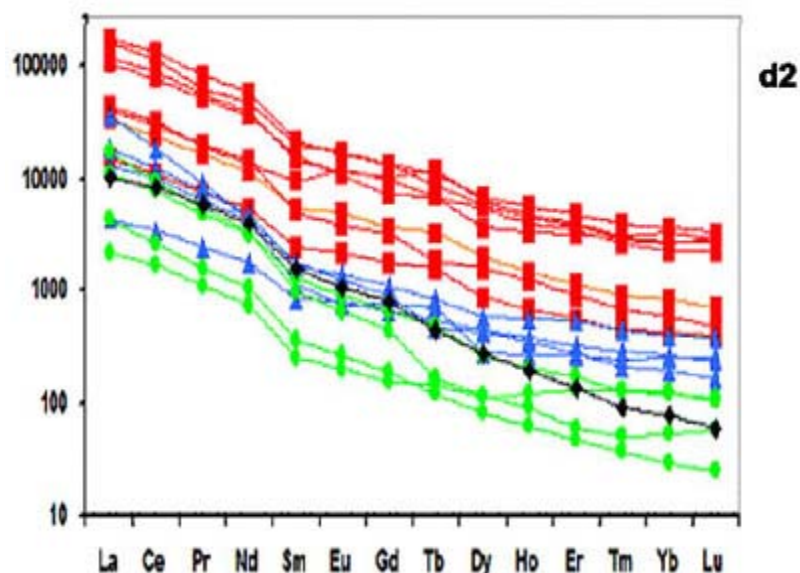


Рис.6. Спектры TR в рудах (красное) и карбонатах (синие- сидеритовых, зеленое- кальцитовых, доломитовых, анкеритовых, черное- магнетит-апатитовых породах)

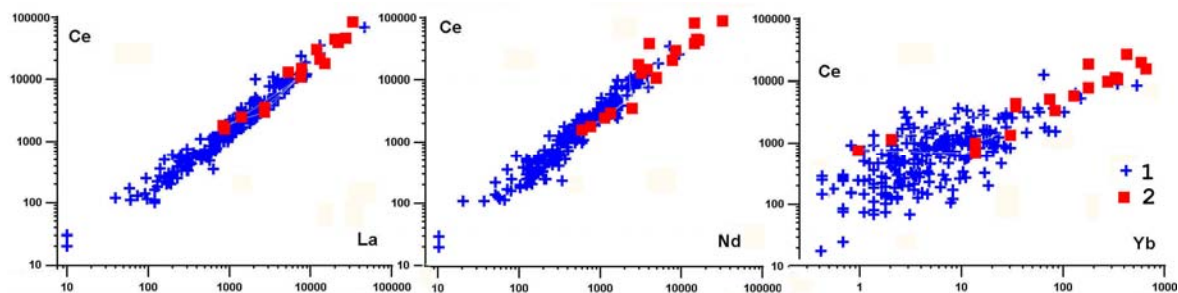


Рис.7. Парные корреляции TR в карбонатах (1) и рудах (2) Томторского массива.

Кроме редкометальных руд, Томторский массив может быть перспективным на поиски на его территории алмазов. В массиве имеются вулканические оливиновые лампроиты [2, 4, 16]. По данным геологической съемки в речках вокруг массива имеются находки алмазов. Г.И.Поршневым в одной из диатрем в пробе 500 кг так же был найден алмаз. Мы считаем [4], что породы аномальной по концентрации алмазов Эбеляхской россыпи, из которой уже 30 лет добывают алмазы и находящаяся всего в 50 км от Томторского массива, по генезису являются лампроитовыми туфами Томторского массива. В одной пробе взрывных туфов нами обнаружено несколько предположительно мелких алмазов (рис.8-2). В этой же пробе найдено несколько зерен золота и платины (рис. 8-1), притом одно из зерен платины

находится в «рубашке» из силикатного стекла, что подтверждает ее туфогенный генезис.

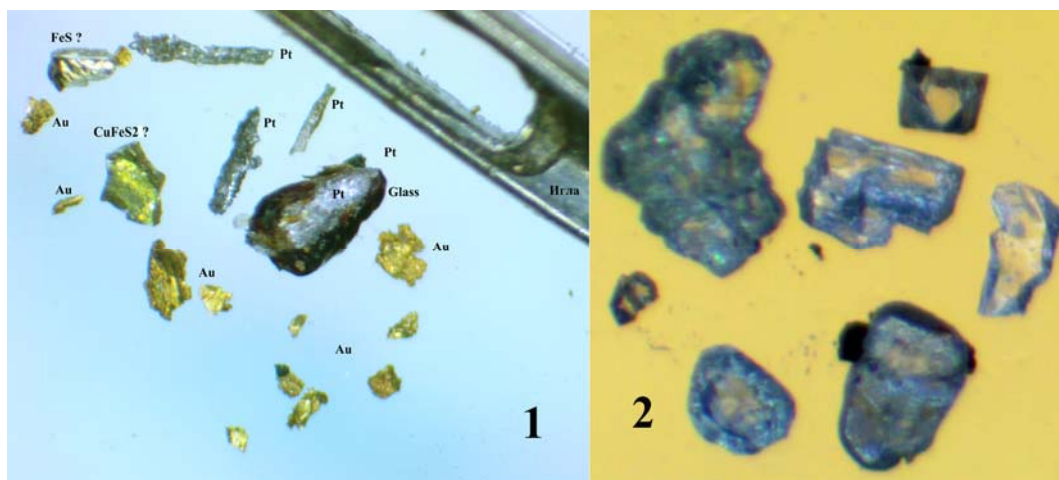


Рис. 8. Мелкие зерна Au, Pt (1) и алмзвов (2) из explosивно-туфогенной руды.

Два возрастных этапа в становлении Томторского массива связаны с 2 этапами плюмовой деятельности на этой территории. Так как породы обоих этапов магматизма находятся в единой кольцевой структуре и их составы укладываются на единый тренд, то возможно, во второй этап плюмовой деятельности происходило переплавление пород этого же массива, которые кристаллизовались в последней магматической камере и потом извергались на поверхность при отделении от силикатной магмы гидротермальной и газовой составляющей во время извержения. Генетический аспект происхождения суперобогащенных руд гигантского Томторского месторождения стратегических элементов еще требует дальнейших исследований и разработок.

Томторский массив тяготеет к восточной границе кратона (врезка к рис.1). Его структурная позиция вполне соответствует позднерифейским проявлениям щелочного магматизма, зафиксировавшим образование границ кратона. Принадлежность этапов становления Томторского массива к разным металлогеническим и геодинамическим эпохам может указывать на его гетерогенную природу, однако, на петрохимических диаграммах породы массива обоих возрастов образуют единый тренд составов. Кроме того, внедрение магмы пород второго этапа никак не нарушило общей структуры кольцевого комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

2013. Впервые геохимическими данными доказано отнесение апатитовых и магнетитовых проявлений Ирана к карбонатитовой формации и их полная аналогия фоскоритам Мушугай Худука (Монголия). Сравнение петрохимических и геохимических характеристик разновозрастных К-Na щелочной формации Мушугай Худука складчатой зоны Монголии и К-формации щелочных пород Мурунского комплекса Западного Алдана показало их значительные отличия как по составам пород, так и по рудоносности. Исследования геохимии изотопов углерода, кислорода и Sr-Nd – систематика показывает, что источником щелочных пород Монголии и Ирана была обогащенная мантия EM-2, что характерно для щелочных пород складчатых зон.

2014. Для главных массивов Северо-Байкальской щелочной провинции получен точный возраст пород U-Pb-методом по цирконам. Массив Бурпала: для сиенитов главной фазы он равен 294 млн лет и для редкометалльного пегматита 283 млн лет. Для нефелиновых сиенитов Сыннырского массива получен возраст 305 млн лет. Полученные новые возрасты дают возможность говорить о едином возрастном цикле щелочного магматизма в Северном Прибайкалье. Уточнена схема магматизма Бурпалинского массива и Сыннырского массивов. Исходя из данных геохимии изотопов Sr-Nd и Pb, определен мантийный источник первичной магмы Бурпалинского массива – это обогащенная мантия EM-2, что характерно для складчатых зон обрамления Сибирской платформы.

2015. Получены надежные датировки докембрийского возраста (Pb-U метод) по цирконам для гранитов и руды Катугинского массива 2066 – 2055 млн лет (p-n Центрального БАМа). Получены новые характеристики редких элементов (АСР-MS метод) в гранитах и рудах этого месторождения. Проведены термобарогеохимические исследования гранитов и руд по расплавленным включениям и установлены температуры их образования, равные 800° С, что говорит о их магматическом генезисе. Этот вывод кардинально меняет метод поисков подобных месторождений.

Детально изучен другой редкометалльный массив щелочных гранитов Зашихинский с одноименным месторождением. Выделено три фациальных разновидностей редкометалльных гранитов. Впервые получены надежные редкометалльные характеристики руды (АСР-MS методом). Диагностированы и

проанализированы на микрозонде минералы-концентраторы редких элементов. Главными концентраторами Zr является циркон, Nb, Ta – колумбит-танталит и стрюверит,

2016. На основе более 1000 анализов химического состава пород Томторского массива и содержания в них редких элементов (ICP-MS методом) предложена новая, более полная схема магматизма, позволяющая относить его у формации К-щелочно-ультраосновных карбонатитовых комплексов и доказана генетическая связь карбонатитов и руд. Впервые нам удалось получить достоверные полные силикатно-редкометалльные анализы руд, где содержания редких элементов доходят до 50%. и расширить круг рудных элементов (Zn, Ti), а так же обнаружить в рудах микрозерна Pt, Au и прозрачных октаэдров, похожих на алмазы.

Получены новые данные возраста по цирконам и слюдам (Ar-Ar методом) говорят о двух этапах магматизма Томтора: 700 млн лет для интрузивных щелочных пород и карбонатитов и 400 млн лет для вулканитов и руд. На основе изучения руд нами предложена новая гипотеза их генезиса, как взрывно-туфовых образований, меняющая методику поисков подобных месторождений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Багдасаров Ю.А. Геохимические особенности карбонатитов и сопровождающих их силикатных пород щелочно-карбонатитового массива Томтор (Вост. Прианабарье, Якутия) // Геохимия, 1997, № 1, с.10-20.
2. Владыкин Н.В., Лелюх М.И., Толстов- А.В , Серов В.П. Лампроиты аномалий Вост.Прианабарья и Томторского массива // Глубинный магматизм, мантийные источники и проблема плюмов, Иркутск, 2002, с.87-101
3. Владыкин Н.В., Miyzaki T., Торбеева Т.С. Карбонатиты и редкометальные руды Вост. Прианабарья // Геохимия и петрология магматических процессов, Иркутск, 2002, с.18-21.
4. Владыкин Н.В., Торбеева Т.С Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианабарье) // Геология и геофизика. Том 46, № 10, 2005, с. 1038-1049
5. Владыкин Н.В. Петрология К-щелочных лампроит-карбонатитовых комплексов, их генезис и рудоносность// Геология и геофизика 2009, т.50, № 12. с 1443-1455
6. Владыкин Н.В., Ариунбилег С., Мунхцэнгэл Б., Томурхуу Ю., Докучец Э.Ю. Вулканогенные карбонатиты и церусситовые туфы Мушгай- Худук //Mongolian Geoscientist. Geology & metallogeny., 2013, v. 22, с. 74-88 (Геологи Судлал)
7. Владыкин Н.В., Котов А.Б., Борисенко А.С., Ярмолюк В.В., Похиленко Н.П., Возрастные рубежи формирования щелочно-ультраосновного массива Томтор: результаты U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологических исследований // ДАН, 2014, т.454, № 2 с. 250-254
8. Егоров Л.С., Сурина Н.П., Поршнева Г.И., Уджинский рудно-магматический комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов // Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л.: Недра, 1985, с. 138-154.
9. Зайцев А.И., Энтин А.Р., Ненашев Н.И. и др. Геохронология и изотопная геохимия карбонатитов Якутии // Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1992, 248 с.
10. Кравченко С.М., Беляков А.М., Покровский Б.Г. Геохимия и генезис массива Томтор (север Сибирской платформы) // Геохимия, 1992, № 8, с. 1094-1110.
11. Лапин А.В. Геохимические типы и рудоносность кор выветривания карбонатитов // Геохимия, 1991, № 12, с. 1733-1743.

12. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. Наука, М, 2000, с.225
13. Поршнева Г.И., Степанов Л.Л. Геологическое строение и фосфатность массива Томтор // Щелочной магматизм и апатитность севера Сибири. Л., НИИГА, 1980, с. 84-100.
14. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России, НИА Природа, М, 2003, с.493
15. Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А. Геология Томторского уникального месторождения // Геология рудных месторождений, 1994, № 2, с. 83-110.
16. Vladykin N.V., Lelyukh M.I., Tolstov A.V. Lamproites of the Anabar region, Northern riming of the Siberian platform // 7 Kimberlite Conferens, Cape-Tovn, 1998, p. 946-948.
17. Vladykin N.V. Formation types of carbonatites: geochemistry and genesis // Deep-seated magmatism, its sources and plumes. 2008, Vladivostok, Institute of Geography SB RAS, P14-24
18. Vladykin N.V. Petrology and composition of Mesozoic rare-metal alkaline rocks in the South Gobi Desert, Mongolia // Russian Geology and Geophysics 54 (2013) 413–432
19. Vladykin N.V. K-alkaline rocks and lamproites of Tomtor massif // Geophysical Research Abstracts General Assembly 2016 ,Vol. 17, EGU2016-2937, 2016 EGU

ПРИЛОЖЕНИЕ

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в 2013-2016 гг. в соответствии с государственным заданием

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2013-2016 гг.	2013	2014	2015	2016
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	34	12	8	5	7
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	25	8	9	3	5
Число тезисов в конференциях	единиц	38	5	14	13	6
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности:	единиц	-	-	-	-	-
зарегистрированных патентов в России	единиц	-	-	-	-	-
зарегистрированных патентов за рубежом	единиц	-	-	-	-	-

ПУБЛИКАЦИИ 2016 г.

1. Владыкин Н.В. Модель зарождения и кристаллизации ультраосновных-щелочных-карбонатитовых магм, проблемы их рудоносности, мантийные источники и связь с плюмовым процессом // Геология и геофизика, 2016, т. 57, №5, С. 889-905.
2. Владыкин Н.В. Алымова Н.И., Перфильев В.В. Геохимические особенности редкометалльных гранитов Зашихинского массива, Восточный Саян // Петрология, 2016, №5, С. 554-568
3. Stoppa F., Pirajno F., Schiazza M., Vladykin N.V. State of the art: Italian carbonatites and their potential for critical-metal deposits // Gondwana Research, 2016, V. 37, P. 152-171.
4. Ashchepkov I.V., Kuligin S.S., Vladykin N.V., Downes H., Vavilov M.A., Nigmatulina E.N., Babushkina S.A., Tychkov N.S., Khmelnikova O.S. Comparison of mantle lithosphere beneath early Triassic kimberlite fields in Siberian craton reconstructed from deep-seated xenocrysts // Geoscience Frontiers, 2016, V. 7, № 4, P. 639-662.
5. Doroshkevich A.G., Veksler I.V., Izbrodin I.A., Ripp G.S., Posokhov V.F., Travin A.V., Vladykin N.V. Stable isotope composition of minerals in the Belaya Zima plutonic complex, Russia: Implications for the sources of the parental magma and metasomatizing fluids // Journal of Asian Earth Sciences, 2016. T. 116. С. 81-96.
6. Золотарев А.А., Владыкин Н.В., Кривовичев С.В., Паникоровский Т.Л. Структурная минералогия Хан-Богдинского нептунита (Монголия) //ЗВМО, 2016, №2, С. 112-127.
7. Шарыгин В.В., Зубкова Н.В., Пеков И.В., Нигматулина Е.Н., Владыкин Н.В., Пушаровский Д.Ю. Литийсодержащий Na-Fe-амфибол из криолитовых пород Катугинского редкометального месторождения (Забайкалье): особенности состава и кристаллическая структура // Геология и геофизика, 2016, т. 57, № 8. С. 1511-1526
8. Докучиц Э.Ю., Владыкин Н.В. Вариации составов чароита и парагенных с ним минералов из чароитовых пород // Известия Сибирского отделения Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2 (55). С. 51–60.
9. Алымова Н. В., Владыкин Н. В. Металлогеническая специализация и рудоносность щелочных редкометалльных гранитов Зашихинского месторождения (Иркутская область) Известия ИрГТУ №2. Изд-во ИрГТУ, Иркутск, 2016, С.65-72

10. Владыкин Н.В. Современное состояние геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО) // Месторождения алмазов: процессы формирования, закономерности локализации, методы прогнозирования и поисков. Труды рабочего совещания, 6-7 октября 2016 г. – Новосибирск: Изд-во ИГМ СО РАН, 2016. С 37-42.

11. Ащепков И.В., Владыкин Н.В., Специус З.В., Логвинова А.М., Костровицкий С.И. Структурное положение, геодинамическая природа и условия формирования алмазоносных метаморфических пород Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны Центрально-азиатского складчатого пояса // Месторождения алмазов: процессы формирования, закономерности локализации, методы прогнозирования и поисков. Труды рабочего совещания, 6-7 октября 2016 г. – Новосибирск: Изд-во ИГМ СО РАН. С. 25-28.

12. Сычев В. Ю., Владыкин Н. В., Канева Е. В., Радомская Т. А. Гидротермальные месторождения Мурунского массива Материалы Международной молодежной научно-практической конференции «Россия – Монголия» (г. Иркутск, Россия, 16-21 мая 2016 г.; г. Улан-Батор, Монголия, 5-10 сентября 2016 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. – 244 с.

13. Vladykin N.V. K-alkaline rocks and lamproites of Tomtor massif // Geophysical Research Abstracts General Assembly 2016 ,Vol. 17, EGU2016-2937, 2016 EGU

14. Владыкин Н.В. Минералого-геохимические особенности карбонатитов Мальджангарского массива, ЮВ часть Анабарского щита // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма (школа щелочной магматизм Земли). Труды 33 межд. конф. Москва 2016. с 45-49

Задание на 2016 год

2016г. Петрология и геохимия щелочных пород Севера Сибирской платформы. Определение формационной принадлежности силикатных пород, карбонатитов и редкометальных руд Томтора; по геохимическим данным уточнение схемы магматизма и рудной продуктивности массива.