

## Петрогеохимическая характеристика сиенит-щелочно-ультраосновного силикатного комплекса пород Томторского массива (северо-восток Сибирской платформы)

А.В.ОКРУГИН (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677007, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39),  
А.В.ТОЛСТОВ (Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук им. В.С.Соболева (ИГМ СО РАН); 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, д. 3)

Рассматриваются петрохимические особенности силикатных пород Томторского массива, представленных фойдолитами, нефелиновыми сиенитами, а также щелочно-ультраосновными породами мелких секущих тел. Недосыщенные кремнеземом бесполовошпатовые породы соответствуют мелилитовым породам, а магматиты с нормативным плагиоклазом тяготеют к щелочным базальтоидам и нефелиновым сиенитам Маймеча-Котуйской провинции. Наличие в бассейне р. Анабар также многих тел пермо-триасовых щелочных пикритобазальтов, меланефелинитов и трахидолеритов позволяет объединить данные разновозрастные щелочно-ультраосновные комплексы с карбонатитами восточного Прианабарья в единую крупную провинцию. Такие рудно-магматические системы могут быть источниками не только месторождений редких элементов, но и благородных металлов, образующих в данном районе площадные комплексные золотоплатиновые россыпепроявления.

*Ключевые слова:* щелочно-ультраосновные породы, пикриты, сиениты, карбонатиты, минералы платиновой группы, золото, месторождения редких элементов, Томторский массив.

Округин Александр Витальевич  
Толстов Александр Васильевич



okrugin@diamond.ysn.ru  
tolstov@igm.nsc.ru

## Petrogeochemical characteristics of the syenite – alkali-ultrabasic silicate rock complex of the Tomtor massif (northeastern Siberian platform)

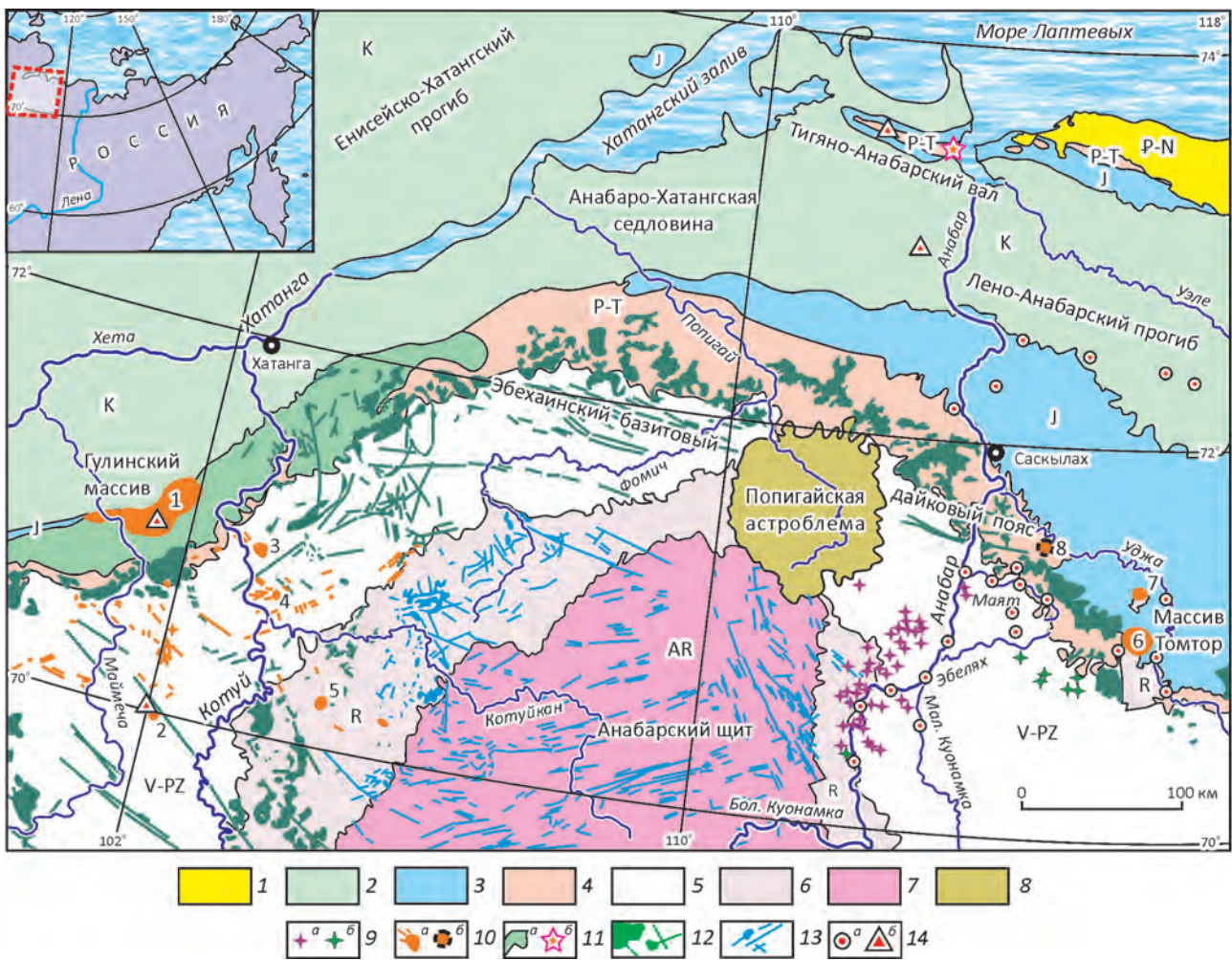
A.V.OKRUGIN, A.V.TOLSTOV

Petrogeochemical characteristics of silicate rocks of the Tomtor massif represented by foidolites, nepheline syenites, and alkali-ultrabasic rocks of small cross-cutting bodies are discussed. Silica-undersaturated feldspar-free rocks correspond to melilitic rocks, and magmatites with normative plagioclase are compositionally similar to alkali basaltoids and nepheline syenites of the Maimecha-Kotuy province. The presence of numerous bodies of Permo-Triassic alkali picrite basalts, melanephelinites and trachydolerites in the Anabar river basin enables combination of the studied non-coeval alkali-ultrabasic complexes and carbonatites from the eastern Prianabar area into a single large province. Such ore-magmatic systems may be sources not only for rare element deposits but also for gold-platinum placers which have large areal extent in the region.

*Key words:* alkali-ultrabasic rocks, picrites, syenites, carbonatites, platinum-group minerals, gold, rare element deposits, Tomtor massif.

Томторский массив, являющийся сложным комплексом щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов с уникально-богатыми редкоземельно-редкометалльными рудами, давно привлекает внимание многих геологов, а в связи с предстоящим освоением данного месторождения интерес исследователей к нему всё более усиливается. Основные черты геологического строения массива, минералого-геохимические особенности его пород и руд, возможные условия их образования и другие вопросы обсуждаются во многих работах пер-

вых и последующих исследователей данного месторождения [1, 2, 5, 6, 10, 13, 19, 22–27, 31–33 и др.]. Основное внимание, конечно, уделяется рассмотрению карбонатитовых комплексов, представляющих большую экономическую ценность, хотя часто дискутируются и спорные вопросы по силикатным породам. В данной статье авторы обосновывают сходства петрогеохимических характеристик силикатных магматитов Томторского массива с другими пермо-триасовыми проявлениями щелочных пикрито-базальтовых и



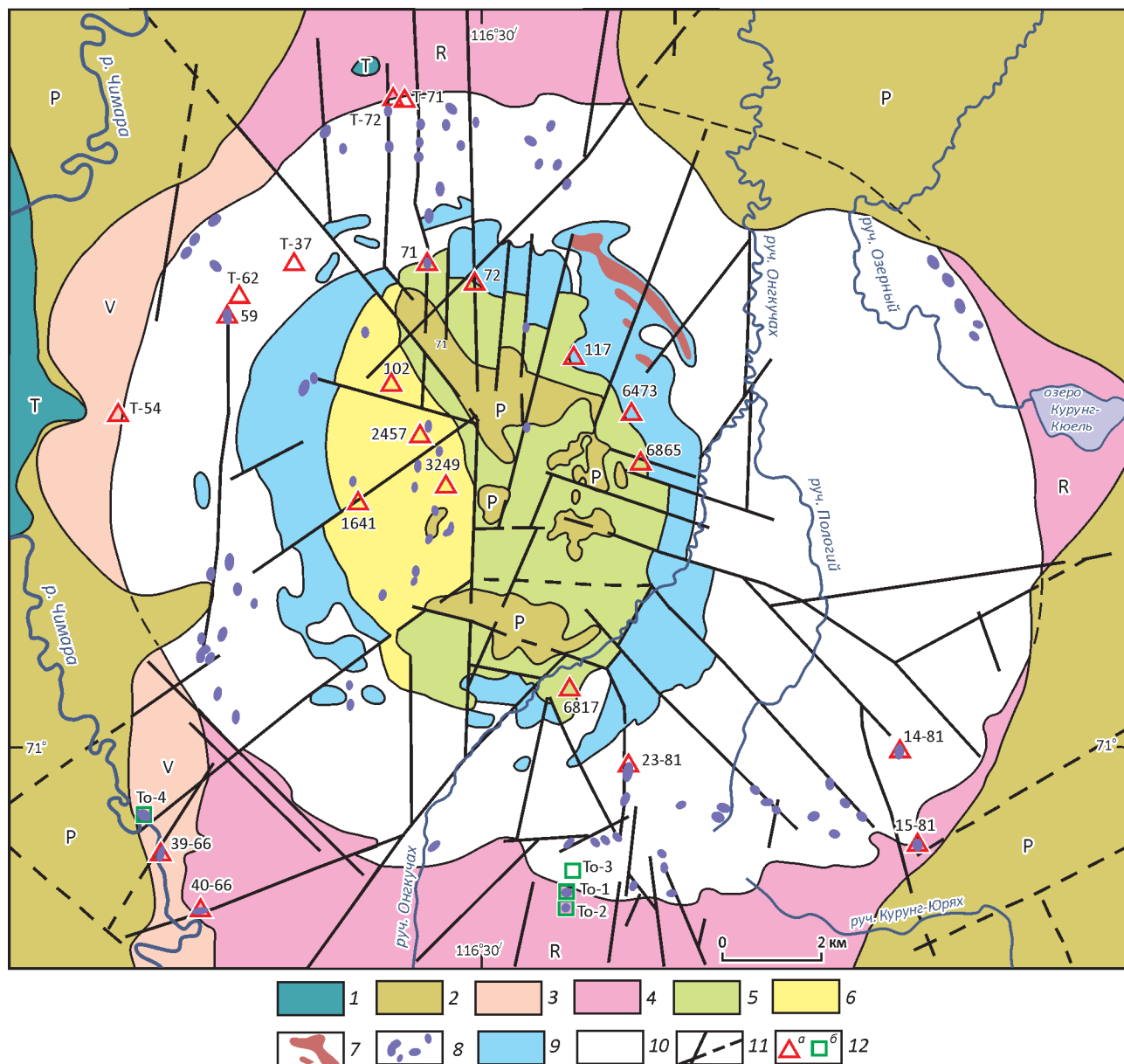
**Рис. 1.** Схема распространения магматитов и золотоплатиноносных россыпей проявлений на севере Сибирской платформы. Построена на основе геологической карты Сибирской платформы масштаба 1:1 500 000, 1999:

1 – палеоген-неогеновые осадки, P-N; 2 – меловые пески, алевриты и галечники, K; 3 – юрские конгломераты, песчаники, алевролиты, J; 4 – пермские и триасовые песчаники, алевролиты, P-T; 5 – венд-кембрийские доломиты, известняки, мергели и песчаники, V-PZ; 6 – рифейские конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты и доломиты, R; 7 – архейские метаморфические комплексы, AR; 8 – структура Попигайской астроблемы; 9 – трубки: а – кимберлитовые и б – базитовые; 10 – интрузии и дайки щелочных и ультраосновных пород с карбонатами: а – установленные (1 – Гули, 2 – Бор-Урях, 3 – Одихинча, 4 – Кугда, 5 – Маган, 6 – Томтор, 7 – Богдо и др.), б – предполагаемые (8 – Чюэмпте); 11 – эффузивы базальтов и щелочных базальтоидов (а) и пикритобазальты, устье р. Анабар (б); 12 – силлы и дайки P-T долеритов и трахидолеритов; 13 – докембрийские базиты; 14 – россыпи золота с Fe-Pt (а) и Ir-Os минералами (б)

ультраосновных пород бассейна р. Анабар, а также возможную связь с магматитами таких разновозрастных щелочных комплексов золотоплатиноносных россыпей проявлений, широко распространенных на севере Сибирской платформы.

Массив Томтор приурочен к сводовой части Уджинского поднятия, расположенного на восточном склоне Анабарского щита (рис. 1). Он имеет концентрически-зональное строение, обусловленное наличием карбонатитового ядра, окаймленного мощной неполно-

кольцевой фойдолитовой оторочкой, а значительная периферийная часть массива сложена щелочными и нефелиновыми сиенитами (рис. 2). В пределах массива широко распространены мелкие секущие жильные, дайковые, пластовые, трубчатые тела, а также крупные сильно измененные ксеноблоки щелочных ультраосновных пород, природа которых до сих пор вызывает острую дискуссию. Эти породы изучены в образцах, отобранных лично авторами данной публикации с естественных выходов магматитов на поверхность и



**Рис. 2. Схематическая геологическая карта Томторского массива.** Построена на основе геологической карты доюрских образований массива Томтор, составленной А.В.Толстым (1998) по материалам геологической съемки (1974–1983) и результатам работ Эбеляхской ГРП:

1 – нижнетриасовые туфы, лавы платобазальтов, Т; 2 – пермские конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли, Р; 3 – песчаники, гравелиты, алевролиты венда, V; 4 – доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники рифея, R; 5–7 – карбонатный комплекс: 5 – редкометалльные, 6 – безрудные карбонаты и 7 – камафориты; 8–10 – комплекс силикатных пород: 8 – мелкие секущие тела щелочно-ультраосновных пород, 9 – фойолиты, 10 – щелочные и нефелиновые сиениты; 11 – тектонические нарушения; 12 – места отбора исследованных образцов: а – из керна скважин (с номером скважин) и б – из коренных выходов и эллювиально-делювиальных развалов пород на поверхности (с номером обнажений)

из кернов заверочных скважин, а также использованы образцы из коллекции, собранной ранее сотрудниками лаборатории геологии кимберлитов ИГАБМ СО РАН.

Севернее от Томторского массива находится второе подобное тело – Богдо, а по аэрогеофизическим

материалам предполагается [23] существование под пермскими и мезо-кайнозойскими осадками Лено-Анабарского прогиба ещё трех аналогичных погребенных массивов: Чюэмпинский (р. Уджа), Буолкалахский и Уэлинский (по одноименным рекам). По Е.М.Эпштейну



и др. [32] эти комплексы ультрамафитов, ийолитов и карбонатитов (УИК) составляют Восточно-Прианбарскую провинцию УИК предкембрийского возраста, подобную раннемезозойской Западно-Прианбарской провинции той же формации, расположенной на западном и юго-западном склонах Анабарского щита.

На водоразделах рек Чимара и Эбелях, Томтор и Токур-Уджа Б.Р.Шпунт с соавторами [24] описали вулканогенные породы щелочно-ультраосновного состава, близкие таковым из мелких секущих тел Томторского массива. Указанными авторами сделан вывод, что эти покровы являются краевой частью ранее единой вулканоплутонической постройки Томтор. Ещё первые исследователи [33 и др.] определили Томтор как вулканоплутонический комплекс, а в работах [6, 19] на основе K-Ar и Rb-Sr датирования показана следующая последовательность формирования Томторского массива, состоящая из трех этапов. Первый интрузивный этап – внедрение фойдитов, нефелиновых сиенитов периферической зоны, карбонатитов I и фоскоритов (камафоритов) охватывает рубеж 800–650 млн. лет; второй вулканогенный – формирование карбонатитов центрального ядра, внедрение секущих тел щелочных габброидов, нефелиновых сиенитов, пород пикритовой и альнеит-тингватитовой серий и связанных с ними карбонатитов II–III, эффузивов фойдитов и рудных лав – 450–370 млн. лет; третий вулканогенно-осадочный сложен породами верхнего рудного горизонта, поздними метасоматитами, образовавшимися в коре выветривания, туфами с прослоями углей, сохранившимися в кальдерах проседания на трубках взрыва P<sub>1-2</sub> – 400–240 млн. лет.

Геохронологическими U-Pb и <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar исследованиями [5] для пород Томторского массива получены следующие оценки возрастов: щелочной сиенит – 689±5 млн. лет, карбонатиты 1 этапа – 693±8 и 681±6 млн. лет, лампроиты – 412±2 млн. лет и рудоносного карбонатита 2 этапа – 400±4 млн. лет. Авторами также был исследован <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar методом, выполненным в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) под руководством А.В.Травина, образец То-2/1 (см. таблицу) зеленоватых темно-серых мелкозернистых пород с крупными порфиристыми выделениями флогопита из диатремы, прорывающей рифейские отложения вблизи южного обрамления Томторского массива. В результате для данного образца определен возраст 379±3 млн. лет (рис. 3), что хорошо согласуется с возрастом в 371±4 млн. лет, полученным Rb-Sr методом для флогопитсодержащих щелочно-ультраосновных пород одного из трубчатых тел на южном обрамлении массива [24]. В последней указанной работе для пород одного из подобных тел отмечается возраст 226±23 млн. лет и на этом основании предполагается проявление на Уджинском поднятии наряду со среднепалеозойским и раннемезозойским этапом щелочно-ультраосновного магматизма.

В верховьях р. Малая Куонамка по руч. Томах было обнаружено [18] дайкообразное тело свежих порфиро-

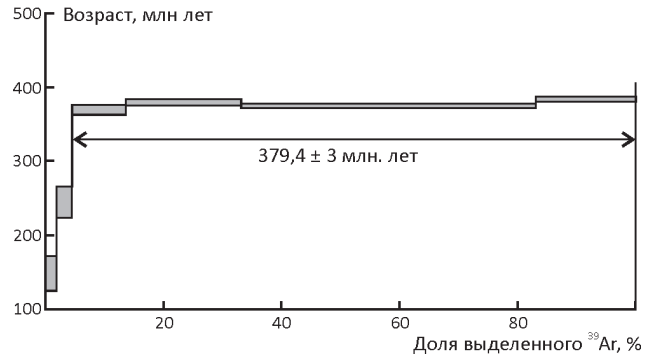


Рис. 3. Результаты геохронологических <sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar исследований флогопита из диатремы То-2 щелочно-ультраосновных пород Томторского массива

видных темно-серых пород с вкрапленниками оливина (Fa<sub>16</sub>) и зоной закалки. В основной массе пород, по химическому составу отвечающей меймечитам Гулинского массива, кроме пироксена, флогопита и оливина широко распространен перовскит. Приуроченность данной дайки к разлому северо-восточного простирания, по которому развита также и дайка нижнемезозойских долеритов, указывает предположительно на такой же возраст меймечитоподобных пород.

При проверке предположения о возможном существовании на шельфе моря Лаптевых самостоятельной кимберлитовой провинции было установлено, что гальки и валуны щелочно-ультраосновных пород являются постоянными компонентами кайнозойских отложений лишь на прилегающей к морю полосе шириной около 60 км и протяженностью 150 км от Нордвикского залива до бассейна р. Урасалах-Батынит [17]. На более южных территориях они не встречены. Крупные размеры обломков (до 0,5 м) этих пород, представленных нефелиновыми пикритами, оливиновыми меланефелинитами, нефелинитами, анальцимитами, оливиновыми мельтейгитами, и существенная примесь их минералов в шлихах молодых отложений указывает на близость коренных выходов данных магматитов.

В устье р. Анабар (мыс Аиркат) авторами были описаны находки пород базальтоидного облика с вкрапленниками оливина, пироксена и флогопита [9], часто встречающиеся среди делювиальных развалов пермо-триасовых долеритов. По химическому составу данные породы относятся к субщелочным пикритобазальтам, меланефелинитам и оливиновым меланефелинитам, для которых характерны высокие содержания TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Пикритобазальты по составу близки трахидолеритам Эбехаинского дайкового пояса [34], протягивающегося от Анабара-Уджинского междуречья к северо-западному склону Анабарского щита (см. рис. 1). Меланефелиниты отличаются от трахидолеритов повышенным содержанием MgO и низкой

## Представительные анализы пород силикатного комплекса Томторского массива

Оксиды	Сиеиты периферийной части массива					Фойдолиты оторочки карбонатитового ядра				Щелочно-ультраосновные породы мелких секущих тел										
	T-72/7*	14-81/3	14-81/9	15-81/1	15-81/4	6865/2	1641/8	1641/10	1641/13	n=20**	14-81/7	15-81/5	23-81/2	39-66/1	39-66/5	40-66/5	59/13	59/15	T0-1/1	T0-2/1
SiO <sub>2</sub>	54,38	49,50	52,32	53,33	48,87	32,10	34,64	39,66	38,69	35,81	38,15	33,99	33,64	31,39	34,13	31,45	30,68	33,03	31,70	31,25
TiO <sub>2</sub>	0,53	0,76	0,85	1,09	2,18	4,55	4,85	4,64	5,87	2,37	1,44	2,31	2,28	2,38	1,60	2,96	4,95	3,18	2,73	2,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,96	19,37	18,17	25,31	19,00	14,25	9,89	8,94	11,03	17,93	12,38	9,62	6,89	6,14	7,87	6,43	7,37	11,29	11,79	8,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,26	4,74	4,56	3,53	10,25	8,60	10,08	17,08	22,74	5,61	4,06	7,68	6,56	7,04	6,24	7,10	10,14	7,00	5,19	10,29
FeO	1,67	1,41	1,49	1,00	3,57	12,68	9,50	2,48	1,02	2,15	2,93	3,40	2,97	2,83	2,29	3,82	2,95	4,46	4,83	5,82
MnO	0,04	0,21	0,22	0,02	0,05	0,63	1,06	1,06	1,06	0,16	0,22	0,25	0,16	0,13	0,16	0,16	0,13	0,24	0,32	0,18
MgO	2,02	1,47	0,94	0,05	1,74	7,88	3,50	0,54	0,22	4,66	6,07	9,55	25,30	18,84	29,84	22,27	11,53	8,13	5,75	15,18
CaO	0,64	3,07	4,67	0,81	0,72	3,44	7,88	5,61	3,56	13,06	9,06	15,47	7,63	13,76	3,84	9,11	19,16	16,98	15,65	11,12
Na <sub>2</sub> O	0,36	7,42	2,85	0,54	0,11	0,26	6,60	6,41	8,15	7,65	4,52	0,98	0,13	0,12	0,13	0,11	0,15	2,59	4,84	0,63
K <sub>2</sub> O	12,60	3,48	8,39	9,07	7,46	5,01	0,10	0,11	0,11	3,38	4,38	3,44	1,72	1,51	0,81	2,65	3,62	2,51	2,91	2,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,22	0,06	0,06	0,05	0,14	1,18	4,74	4,71	1,96	0,84	0,57	1,55	0,51	0,55	0,23	0,94	0,11	0,97	1,26	1,22
CO <sub>2</sub>	1,18	2,33	2,08	0,06	0,22	7,04	2,30	2,36	1,02	0,15	11,66	6,13	3,69	9,14	1,39	5,30	5,05	3,76	5,95	5,37
П.П.П.	1,98	6,11	3,21	5,29	5,78	2,10	6,10	5,11	4,76	5,44	4,35	4,54	8,83	5,99	11,08	7,52	4,10	5,76	6,49	5,10
Сумма	99,84	99,93	99,81	100,15	100,09	99,72	101,24	98,71	100,19	99,21	99,79	98,91	100,31	99,82	99,61	99,82	99,94	99,90	99,41	99,98

Примечание. \* – номер пробы; первые цифры соответствуют номеру скважин или обозначения на рис. 2, а последние цифры после косой линии – порядковому номеру образца; химические анализы образцов сиеитов и пород мелких секущих тел выполнены в химико-аналитической лаборатории ИГАБМ СО РАН Л.Т.Галенчиковой и Э.Е.Сабардаховой, а анализы фойдолитов выполнены в ЦАЛ ПГО «Якутскгеология» (позже ГУП «Центргеоаналитика») Т.Р.Забуга; \*\* – средний состав фойдолитов из 20 проб по работе [26].

кремнеземистостью, что отражается в частом присутствии в них нефелина и анальцима. Возраст двух образцов меланефелинитов устья р. Анабар, определенный Rb-Sr методом, составляет 220 и 221 млн. лет [9]. Таким образом, можно констатировать широкое развитие в бассейне р. Анабар, кроме среднепалеозойских проявлений щелочно-ультраосновных пород в Томторском массиве и раннемезозойских щелочных пикритобазальтов, трахидолеритов и меланефелинитов, которые по минералого-геохимическим характеристикам близки щелочно-ультраосновным породам Маймеча-Котуйской провинции.

Сложные взаимоотношения между полихронными породами Томторского массива фойдолитового, щелочно-сиенитового, щелочно-ультраосновного и карбонатитового составов вызывают противоречивые мнения не только об их генезисе, но и формационной принадлежности пород. Сложность систематики щелочных магматических пород обусловлена высокими содержаниями в них щелочных элементов, что может вызвать при кристаллизации магмы, в зависимости от её относительной кремнеземистости и глиноземистости, появление самых разнообразных ассоциаций минералов. Последние, кроме типичных породообразующих минералов, включают фельдшпатоиды, мелилиты, монтичеллиты, щелочные и кальциевые феррические минералы и другие экзотические фазы. Эта сложность усугубляется ещё и обогащенностью таких пород летучими компонентами, которые накапливаются на постмагматическом этапе и провоцируют сильные автометасоматические изменения материнского субстрата. Согласно девятому принципу систематики магматических горных пород Международного союза геологических наук (IUGS, 1989), если реальный минеральный состав породы не может быть установлен, химический состав выступает как следующий классификационный признак. В связи с этим одним из авторов [20] было предложено рассматривать сильно измененные породы щелочно-ультраосновного состава на модифицированной диаграмме SAM с развернутыми системами  $MgO-CaO$  и  $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ , где дается удобная визуальная растяжка по главным петрогенным элементам (рис. 4).

На этой мультидиаграмме центральная тройная система SAM строится в координатах  $S=SiO_2$ ;  $A=Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O$  – фельзические (афанитовые) компоненты светлоокрашенных минералов;  $M=FeO_{tot}+MgO+MnO+TiO_2+P_2O_5$  – феррические (мафические) компоненты темноокрашенных минералов. Слева прикрепляется тройной симплекс с обособлением от основной массы петрогенных оксидов ( $SiO_2+TiO_2+Al_2O_3+FeO_{tot}+MnO+Na_2O+K_2O+P_2O_5$ ) двух самостоятельных координат  $MgO$  и  $CaO$ , характеризующих ультрамафитовый (магнезиальный) и мелилититовый (кальциевый) тренды изменения составов. К нижней стороне треугольника SAM, показывающей содержание кремнезема, примыкает бинарная диаграмма  $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ .

Как видно из этой диаграммы, составы силикатных пород Томторского массива в основном компактно укладываются в поля составов пород щелочных ультрабазитов, базитов, сиенитов и мелилитовых пород Маймеча-Котуйской провинции [3, 7, 31]. Последняя является уникальным районом, где сохранились все фациальные и формационные разновидности щелочных ультраосновных пород, формирующих многочисленные сложные вулканоплутонические комплексы с карбонатитовым редкометалльным оруденением. Частично породы Томтора попадают в поля неалмазоносных или убогалмазоносных кимберлитов и пикритовых порфиритов восточного склона Анабарской антеклизы [10, 11]. Составы щелочно-ультраосновных пород, слагающих мелкие секущие тела (дайки, трубки и силлы) как в пределах Томторского массива, так и в его обрамлении, полностью совпадают с данными, приводимыми по этим породам в работе [27], которые не показаны на диаграмме только из-за её сильной загруженности. Указанные породы занимают области бесполовошпатовых пород выше коннод  $O1-Cpx-Ne$  – щелочных пикритов, мелилитолитов и ультраосновных фойдолитов, примыкающих к тренду мелилитовых пород Маймеча-Котуйской провинции [7]. Второй тренд образуют составы щелочных и нефелиновых сиенитов, слагающих значительную периферическую часть Томторского массива. Этот тренд уводит составы пород в сторону насыщенных кремнеземом базитов и сиенитов с полевошпатовым нормативом.

Оба указанных тренда начинаются от состава исходной магмы, соответствующего среднему составу [3] пикритовых порфиритов Маймеча-Котуйской провинции, что, очевидно, свидетельствует о глубинной общей генетической связи пород, формирующих два разрозненных ряда, но часто сопутствующих друг с другом в разных районах в пределах одних комплексов. Появление двух вышеуказанных трендов можно объяснить в рамках экспериментальных данных по фазовым соотношениям расширенного щелочно-базальтового тетраэдра  $Ne-Fo-SiO_2-La(Ca_2SiO_4)$  [28]. Состав предполагаемого исходного расплава щелочных ультраосновных комплексов, расположенный вблизи коннод  $O1-Di-Ne$  (см. рис. 4), будет соответственно находиться недалеко от  $Ne-Fo-Di$  сечения щелочно-базальтового тетраэдра, где на котектической линии  $Ne-Fo-Di-L$  экспериментально установлен температурный максимум, разделяющий невариантные точки  $Ne-Mel-Fo-Di$  и  $Ne-Pl-Fo-Di$ . Таким образом, даже небольшие вариации содержания  $CaO$  в исходном расплаве, например в результате дифференциации магмы в глубинных промежуточных очагах или контаминации вмещающих карбонатных пород, могут повлечь за собой мелилитовый или нефелиновый тренды изменения составов пород, внедрившихся на различных стадиях становления крупных магматических комплексов.

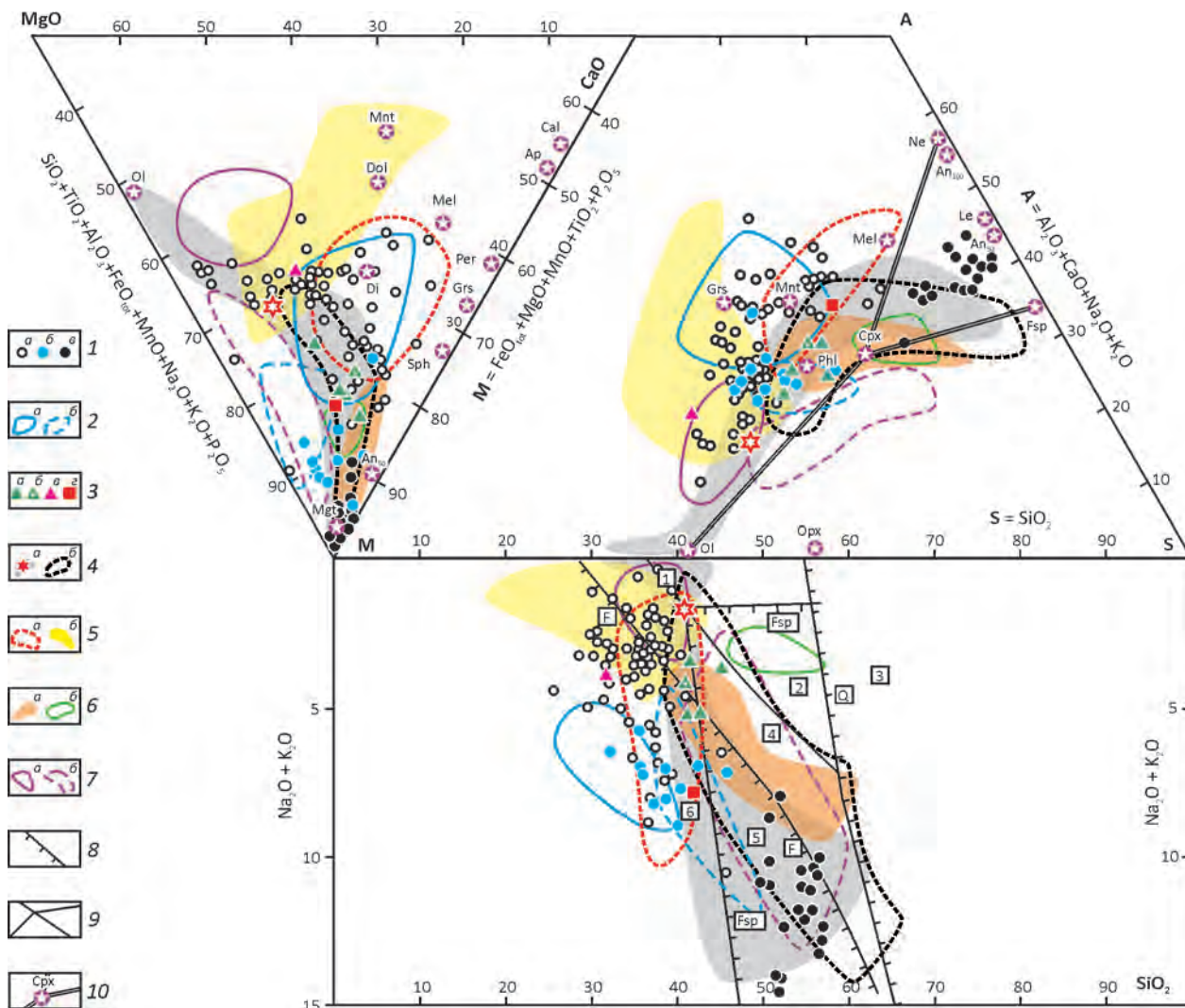


Рис. 4. Составы пород на диаграмме SAM–MgO–CaO–(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) (в массовых долях %):

1 – щелочно-ультраосновные породы (а), фойдолиты (б), щелочные и нефелиновые сиениты (в) Томторского массива по данным авторов; 2 – составы лампроитов по [4] Томторского массива: а – первичные образцы и б – после кислотного выщелачивания; 3 – пикритобазальты и меланефелиниты устья р. Анабар по [9] (а), меланефелиниты побережья моря Лаптевых по [17] (б), меймечиты р. Малая Куонамка [18] (в), рассчитанный валовый состав раскристаллизованного оксидно-силикатного включения в железистой платине из россыпи р. Маяк по [9] (г); 4 – породы щелочно-ультраосновных комплексов (а) – звездочкой показан средний состав пикритовых порфиритов и лавы щелочных базальтоидов (б) Маймеча-Котуйской провинции по работам [3, 7, 8, 31]; 5 – мелилитовые породы (а) Маймеча-Котуйской провинции [7, 31] и кимпикриты (б) Анабара [10]; 6 – силы и дайки Р–Т трахидолеритов, щелочных сиенитов (а) и толеитовых долеритов (б) бассейна р. Анабар-Уджа по [34]; 7 – алмазоносные кимберлиты (а) Якутской кимберлитовой провинции [10] и лампроиты (б) западной Австралии [35]; 8 – границы появления типоморфных минералов (Fsp – полевой шпат, F – фельдшпатоид, Q – кварц, по [15]); 9 – границы между различными группами пород по виртуальному составу минералов, цифры в квадратах: 1 – ультрамафиты без полевых шпатов и фельдшпатоидов, 2 – плагиоклаз-пироксеновые, плагиоклаз-оливиновые и роговообманковые бескварцевые, 3 – кварц-полевошпатовые, 4 – субщелочные полевошпатовые, 5 – полевошпатово-фельдшпатоидные, 6 – фельдшпатоидные без полевых шпатов по [15]; 10 – точки виртуальных составов типоморфных породообразующих минералов: Ol – форстерит, Orx – ортопироксен, Srx – клинопироксен, Di – диопсид, Phl – флогопит, Mnt – монтичеллит, Grs – меланитовый гранат, Mel – мелилит, Ne – нефелин, Le – лейцит, An<sub>50</sub> – плагиоклаз, Fsp – щелочные полевые шпаты, Mgt – магнетит, Ap – апатит, Sph – сфен, Per – перовскит, Cal – кальцит, Dol – доломит; точки состава пород вынесены после пересчета анализа на 100% сухого остатка; использованы анализы проб без видимых наложенных карбонатитовых изменений и содержащие CO<sub>2</sub> <12%



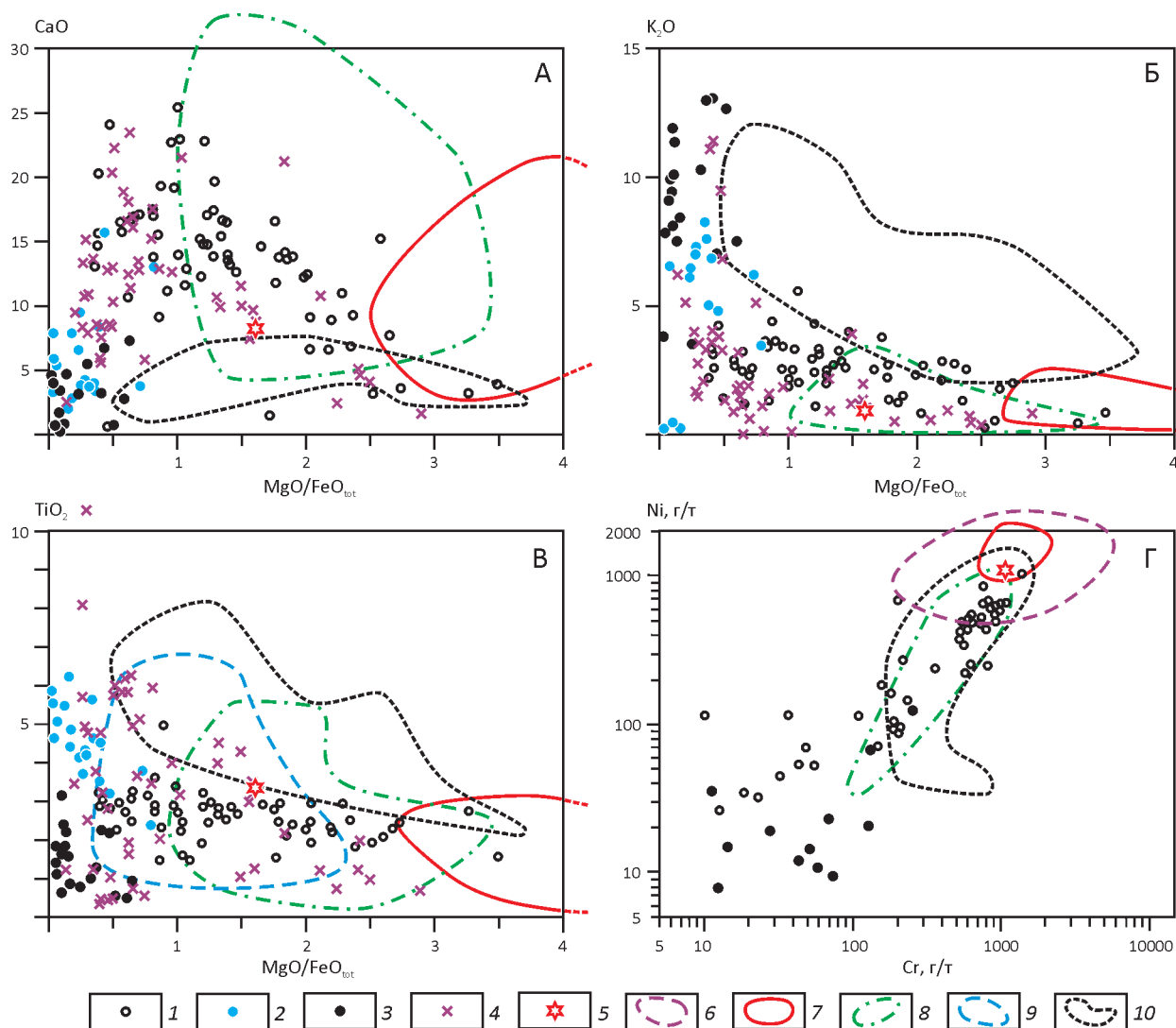


Рис. 5. Диаграммы зависимости содержаний CaO (А), K<sub>2</sub>O (Б) и TiO<sub>2</sub> (В) от MgO/(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и Cr – Ni соотношения (Г) для щелочно-ультраосновных пород:

1 – щелочно-ультраосновные породы мелких секущих тел; 2 – фойдолиты и 3 – щелочные и нефелиновые сиениты Томторского массива по данным авторов; 4 – щелочно-ультраосновные породы Гулинского и других интрузивов Маймеча-Котуйской провинции [31]; 5 – средний состав пикритовых порфиров Маймеча-Котуйской провинции [3]; 6 – ультраосновные породы, меймечиты и пикритовые порфиры Гулинского плутона [3]; 7 – поля составов алмазоносных кимберлитов ЯКП по [10]; 8 – поля кимпикритов и 9 – альпикритов по [10]; 10 – лампроиты Западной Австралии [35]; петрогенные оксиды – в массовых долях %, а Cr и Ni – в г/т

Для сравнительного анализа с другими формациями щелочно-ультраосновных пород Сибирской платформы составы пород Томторского массива вынесены на петрогеохимические диаграммы зависимости содержаний CaO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> от MgO/(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и соотношения Cr–Ni (рис. 5). На подобных диаграммах А.А.Фроловым с соавторами [10] были показаны четкие различия между породами алмазоносных кимберлитовых полей Якутской кимберлитовой провинции (ЯКП), неалмазоносных и убогоалмазоносных кимберлитов (кимпикритов)

севера Сибирской платформы, а также пород альнеит-пикритового ряда (альпикритов) Чадобецкого щелочно-ультраосновного комплекса. На этих диаграммах также хорошо видно, что породы Томторского массива очень близки таковым Маймеча-Котуйской провинции.

В изученных авторами мельтейгитах Томторского массива, как и в пикритобазальтах, и меланефелинитах устья р. Анабар [9], наблюдается (рис. 6) значительное плавное повышение концентрации легких редкоземельных элементов (РЗЭ), определенных ICP-MS методом в



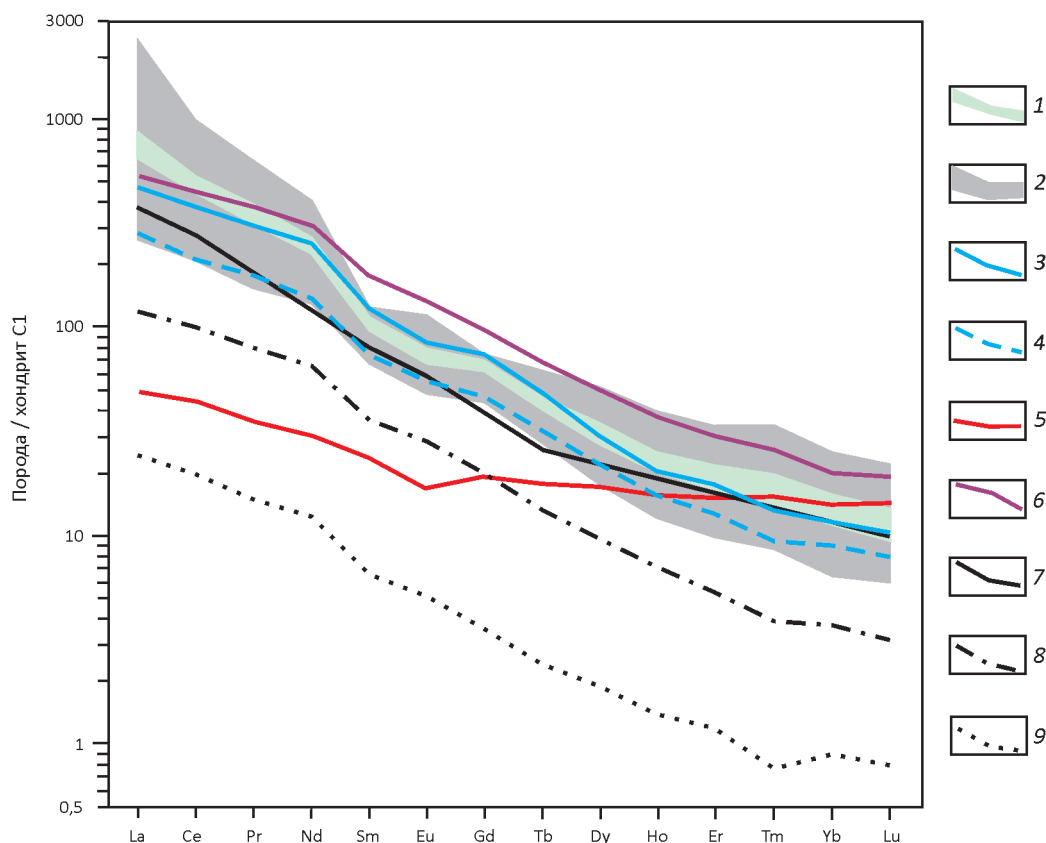


Рис. 6. Распределение РЗЭ в щелочно-ультраосновных и базитовых комплексах пород севера Сибирской платформы:

1 – мельтейгиты и оливиновые мелилиты Томторского массива ( $n=3$ ) по [9]; 2 – лампроиты Томторского массива ( $n=13$ ) по [5]; 3 – меланефелиниты и 4 – оливиновые меланефелиниты устья р. Анабар, мыс Аиркат [9]; 5 – долериты и 6 – трахидолериты Эбехаинского дайкового пояса [34]; 7 – пикриты Маймеча-Котуйской провинции [14]; 8 – меймечиты и 9 – дуниты Гулинского массива [16]; нормировано по хондриту C1 [37]

ИГМ СО РАН под руководством А.В.Травина. По величинам распределения РЗЭ очень близки трахидолеритам Эбехаинского дайкового пояса, а также пикритам Маймеча-Котуйской провинции [14], но существенно отличаются от типичных трапповых толеитовых долеритов Эбехаинского пояса. Спектр РЗЭ в оливиновых меланефелинитах устья р. Анабар в деталях повторяет на более низком уровне распределение редкоземельных элементов в меланефелинитах. Подобная картина параллельного снижения РЗЭ наблюдается от пикритов через меймечиты к дунитам Гулинского плутона [16]. Можно предположить, что исходными расплавами для Гулинского массива служат пикриты, фракционная дифференциация которых при осаждении оливина и высокотитанистого хромшпинелида приводит к появлению меймечитов, а далее и дунитов, как предполагалось ранее Ю.Р.Васильевым и В.В.Золотухиным [3].

Некоторые исследователи [4, 29] относят разнообразные проявления пород К-пикритового состава Томторского массива к лампроитам, против чего выступил

Ю.А.Багдасаров [2]. Не вдаваясь в общую полемику по этому вопросу, отметим лишь, что первичные анализы томторских лампроитов из работы [4] на рассматриваемой диаграмме (см. рис. 4) в целом совпадают с авторскими образцами щелочно-ультраосновных пород из мелких секущих тел. После кислотного выщелачивания карбонатов из предполагаемых лампроитов, по мнению самих авторов такой методики, породы восстанавливают свой первичный состав. Однако, как видно из диаграммы, составы выщелоченных пород только на левом сегменте диаграммы попадают в поле лампроитов за счет сильного уменьшения доли CaO, в то время как на других, они лишь несколько сдвигаются в сторону лампроитов, но не достигают их полей, то есть проблема не заключается в наложенной карбонатизации первичных лампроитов. Если бы кислотное выщелачивание устраняло последствия наложенной карбонатизации, то наблюдались бы более значительные совпадения составов обработанных пород со всеми полями лампроитов. Можно предположить, что при кислотной обработке

вымывается значительная часть СаО породы, которая была трансформирована в карбонатные фазы при постмагматическом автотермическом преобразовании пород. Небольшой сдвиг в сторону поля лампроитов только по координатам кремнезема заметен лишь за счет относительного увеличения доли SiO<sub>2</sub> – как основного компонента пород, а по другим второстепенным оксидам эти сдвиги практически незаметны.

Многие исследователи придерживаются модели частичного выплавления магм, имеющих богатую редкометалльную специализацию, из метасоматически обогащенной мантии. Высокие концентрации редких элементов в щелочных породах и карбонатах Гулинского массива Л.Н.Когарко и Р.Э.Зартманом [12] связываются с процессами мантийного метасоматоза, вызванного подъемом Сибирского суперплюма. В.С.Шкодзинским [30] активно развивается теория о формировании кимберлитовых и карбонатитовых магм, связанная с процессами фракционирования магматического океана на поверхности Земли. В этом случае не существует трудно разрешимой проблемы отделения той мизерной доли расплава, которая бы соответствовала рассматриваемым высокощелочным магмам, согласно гипотезе частичного выплавления из мантийных гипербазитов. Напротив, обогащенные легкими элементами очаги остаточных расплавов кимберлитового, щелочно-базальтоидного, лампроитового, карбонатитового составов при благоприятных геодинамических обстановках подвергаются быстрому всплытию и последующему декомпрессионному расплавлению. Это и приводит к формированию щелочно-ультраосновных комплексов с карбонатитами и кимберлитовых тел.

Приуроченность щелочно-ультраосновных комплексов пород к периферии Сибирской платформы авторы связывают с формированием крупных изверженных провинций в результате распада суперконтинента Родиния, начавшегося в неопротерозойское время [36]. В периферийных зонах древних платформ часто сохраняются последствия, унаследованные глубинными плюмовыми потоками, несущими, как ни парадоксально, кажущиеся иногда несовместимыми полезные ископаемые, начиная от драгоценных камней и кончая благородными и редкоземельными металлами.

В одном зерне иридисто-железистой платины из алмазоносной россыпи р. Маят авторы обнаружили включение хорошо раскристаллизованного силикатного вещества, вероятно, являющегося веществом вмещающей магмы. Исходя из соотношения минералов на срезе включения (в %): Сру – 40, Ne – 30, Fl – 15, Mgt – 10, Amf – 5 и состава минеральных фаз, определенных микронзондовым анализом, был рассчитан примерный валовый состав включения (массовые доли %): SiO<sub>2</sub> 41,22; TiO<sub>2</sub> 1,19; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15,14; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,03; FeO<sub>общ</sub> 13,61; MnO 0,12; MgO 9,71; CaO 10,27; Na<sub>2</sub>O 5,02; K<sub>2</sub>O 2,88, что соответствует породам ийолит-мельтейгитового ряда [9]. Также, по результатам прямого датирования

<sup>190</sup>Pt-<sup>4</sup>He методом четырех зерен было установлено, что возраст железистой платины из этой россыпи составляет 259±9 млн. лет [21]. Все эти данные, наряду с находкой в щелочных сиенитах Томторского массива рудного низкопробного золота в ассоциации с пиритом [22], свидетельствуют о связи благородных металлов из россыпей бассейна р. Анабар с комплексами щелочно-ультраосновных пород.

В заключение отметим, что формирование разновозрастных ассоциаций магматитов щелочного ультрабазит-базитового составов является индикатором рифтогенного режима развития краевых структур на северо-востоке Сибирской платформы в рифейское, девонское и пермо-триасовое время. Итак, Анабарский район можно рассматривать как перспективную территорию на обнаружение кроме Nb-TR месторождений томторского типа и Au-Pt минерализаций, связанных с комплексами щелочных ультраосновных пород с карбонатитами. По-видимому, многие богатые коренные источники благородных металлов погребены под мезозойскими толщами Лено-Анабарского прогиба, проявляя себя в виде обширных площадных Au-Pt россыпей проявлений (см. рис. 1).

*Авторы благодарны А.С.Борисенко и А.В.Травину за содействие в выполнении аналитических исследований проб из Томторского массива.*

*Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (проекты VIII.72.1.3 и VIII.72.1.3), проекта «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно привлекательных территорий Республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий» Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие ее производительных сил и социальной сферы на 2016-2020 гг., а также при поддержке гранта РФФИ №17-05-00390.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасаров Ю.А. Геохимические особенности карбонатитов и сопровождающих их силикатных пород щелочно-карбонатитового массива Томтор (Восточное Прианбарье, Якутия) // Геохимия. 1997. № 1. С. 10–20.
2. Багдасаров Ю.А. Петрогеохимические критерии лампроитового семейства магматических пород и особенности формирования массива Томтор (Северо-Западная Якутия) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 10. С. 1178–1185.
3. Васильев Ю.Р., Золотухин В.В. Петрология ультрабазитов севера Сибирской платформы и некоторые проблемы их генезиса. – Новосибирск: Наука, 1975.
4. Владыкин Н.В., Торбеева Т.С. Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианбарье) // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 10. С. 1038–1049.
5. *Возрастные рубежи формирования щелочно-ультра-*

- основного массива Томтор: результаты геохронологических U-Pb и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  исследований / Н.В.Владыкин, А.Б.Котов, А.С.Борисенко и др. // ДАН. 2014. Т. 454. № 2. С. 195–199.
6. *Геохронология и изотопная геохимия карбонатитов Якутии* // А.И.Зайцев, А.Р.Энтин, Н.И.Ненашев и др. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992.
  7. *Егоров Л.С.* Мелилитовые породы Маймеча-Котуйской провинции. – Л.: Недра, 1969.
  8. *Жук-Почекутов К.А., Гладких В.С., Леонтьев Л.Н.* Ассоциация щелочных базальтоидов–базальтов Маймеча-Котуйской вулканоплутонической формации // Петрология и геохимические особенности комплекса ультрабазитов и карбонатитов. – М.: Наука, 1965.
  9. *Золотоплатиноносные россыпи бассейна р. Анабар и их возможная связь с щелочно-ультраосновными магматитами севера Сибирской платформы* / А.В.Округин, А.И.Зайцев, А.С.Борисенко и др. // Отечественная геология. 2012. № 5. С. 11–21.
  10. *Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минералогия, прогноз)* // А.А.Фролов, А.В.Лапин, А.В.Толстов и др. – М.: НИИ-Природа, 2005.
  11. *Ковальский В.В., Никишов К.Н., Егоров О.С.* Кимберлитовые и карбонатитовые образования Анабарской антеклизы. – М.: Наука, 1969.
  12. *Когарко Л.Н., Зартман Р.Э.* Новые данные о возрасте Гулинской интрузии и проблема связи щелочного магматизма Маймеча-Котуйской провинции с Сибирским суперплюмом (данные по изотопии U-Th-Pb системы) // Геохимия. 2011. № 5. С. 462–472.
  13. *Кравченко С.М., Беляков А.Ю., Покровский Б.Г.* Геохимия и генезис Томторского массива (север Сибирской платформы) // ДАН. 1992. Т. 322. № 5. С. 966–972.
  14. *Леснов Ф.П.* Редкоземельные элементы в ультрамафитовых и мафитовых породах и их минералах. Кн. 1. – Новосибирск: Академич. изд-во «Гео», 2007.
  15. *Маракушев А.А.* Петрогенезис и рудообразование. – М.: Наука, 1979.
  16. *Механизм образования сибирских меймечитов и природа их связи с траппами и кимберлитами* / А.В.Соболев, С.В.Соболев, Д.В.Кузьмин и др. // Геология и геофизика. 2009. № 12. С. 1293–1334.
  17. *Милашев В.А., Томановская Ю.И.* Проявления щелочно-ультраосновного магматизма в прибрежной части моря Лаптевых // Кимберлитовый вулканизм и перспективы коренной алмазности Сибирской платформы. – Л.: НИИГА, 1971. С. 127–133.
  18. *Музыка Г.М., Чумирин К.Г.* К вопросу о проявлении аналогов меймечитов на южной окраине Анабарского массива // Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. – М.: Наука, 1970. С. 183–190.
  19. *О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Северо-западная Якутия)* / А.Р.Энтин, А.И.Зайцев, Н.И.Ненашев и др. // Геология и геофизика. 1990. Т. 31. № 12. С. 42–51.
  20. *Округин А.В.* Петрохимические и генетические особенности щелочно-ультраосновного комплекса пород Томторского массива // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Т. 1. – Якутск, 2017. С. 349–354.
  21. *Округин А.В., Якубович О.В., Гедз А.М.*  $^{190}\text{Pt}$ - $^4\text{He}$  возраст платиновых минералов из россыпи р. Анабар (северо-восток Сибирской платформы) // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы. Мат-лы VI Российской конференции по изотопной геохронологии. – С-Пб: ИГГД РАН, 2015. С. 202–204.
  22. *Первые данные о благороднометалльном оруденении массива Томтор* / А.В.Толстов, Л.Н.Баранов, Е.В.Лазарева, Н.С.Карманов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Т. 1. – Якутск, 2017. С. 462–467.
  23. *Поршнев Г.И., Степанов Л.Л.* Геология и минералогия Уджинской провинции (северо-запад Якутской АССР) // Советская геология. 1981. № 12. С. 103–106.
  24. *Состав и петрохимические особенности щелочно-ультраосновных пород Уджинского поднятия (север Сибирской платформы)* / Б.Р.Шпунт, Э.А.Шамшина, Ф.Ф.Брахфогель, Н.Д.Филиппов // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1991. № 8. С. 68–80.
  25. *Толстов А.В.* Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (С-З Якутия) // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 9. С. 91–100.
  26. *Толстов А.В., Тянь О.А.* Геология и рудоносность массива Томтор. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999.
  27. *Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В.* Карбонатитовые месторождения России. – М.: НИИ «Природа», 2003.
  28. *Шерер Дж., Йодер Х.* Кристаллическое состояние и плавление простых щелочных базальтов // Экспериментальная петрология и минералогия. – М.: Недра, 1971. С. 6–15.
  29. *Шихорина К.М.* Высококальциевые породы Чимара-Уджинского района (северо-восток Сибирской платформы) // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1991. № 3. С. 58–64.
  30. *Шкодзинский В.С.* Генезис кимберлитов и алмазов. – Якутск, 2009.
  31. *Эпштейн Е.М., Аникеева Л.И.* Некоторые вопросы геологии и петрологии комплекса ультраосновных щелочных интрузивных пород // Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд. Т. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 182–195.
  32. *Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А.* Геология Томторского уникального месторождения редких металлов (север Сибирской платформы) // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 2. С. 83–110.
  33. *Эрлих Э.Н.* Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы // Зап. ВМО. 1964. Т. 90. Вып. 6. С. 682–693.
  34. *Эбехаинский дайковый пояс трахидолеритов на севере Сибирской платформы* / М.Д.Томшин, А.В.Округин, В.Т.Савинов, Л.И.Шахотко // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 9. С. 1475–1483.
  35. *Jaques A.L., Lewis J.D., Smith C.B.* The kimberlites and lamproites of Western Australia. Bull. Geol. Surv. W. Australia. 1986. 132.
  36. *Long-lived connection between southern Siberia and northern Laurentia in the Proterozoic* / R.E.Ernst, M.A.Hamilton, U.Söderlund et al. // Nature Geoscience. 2016. Vol. 9. No. 6. Pp. 464–469.
  37. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / Ed. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. Vol. 42. Pp. 313–346.