

Траппы северо-востока Тунгусской синеклизы и Оленекского поднятия. Сравнительный анализ

М.Д. Томшин, А.Г. Копылова

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия
e-mail: tmd@diamond.ysn.ru*

Аннотация. Проведено сравнение траппов Оленекского поднятия и северо-востока Тунгусской синеклизы. По петрографическим, петрохимическим и геохимическим показателям траппы Оленекского поднятия достаточно уверенно отличаются от подобных образований Тунгусской синеклизы. Их индикаторные парные отношения несовместимых элементов (Zr/Nb, Nb/Th, Nb/Y, Zr/Y) на соответствующих диаграммах образуют два изолированных поля, что свидетельствует о различающихся источниках. Делается вывод, что плюм-магматические события, с которыми связаны траппы Тунгусской синеклизы и Оленекского поднятия, были самостоятельными и разорванными во времени. Для траппов Оленекского поднятия они были связаны с Оленекским плюмом, под воздействием которого на границе перми и триаса сформировалась Оленекская трапповая синеклиза.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Тунгусская синеклиза, Оленекское поднятие, траппы, плюм.

Traps of the Northeastern Tunguska Syncline and the Olenek Uplift. Comparative Analysis

M.D. Tomshin, A.G. Kopylova

*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia
e-mail: tmd@diamond.ysn.ru*

Abstract. A comparative analysis was made between the traps of the Olenek uplift and the northeastern Tunguska syncline, which showed that they differ in terms of petrography and petro- and geochemistry. Their indicator pair ratios of incompatible elements (Zr/Nb, Nb/Th, Nb/Y, Zr/Y) form, in diagrams, two isolated fields, which suggests different sources. It is concluded that traps of the Tunguska syncline and the Olenek uplift were associated with independent plume-magmatic events separated in time. Responsible for the formation of the Olenek uplift traps was the Olenek plume which caused the origination of the Olenek trap syncline at the Permian – Triassic boundary.

Key words: Siberian platform, Tunguska syncline, Olenek uplift, traps, plume.

Плюм-магматические события, происходившие под Сибирским кратоном в позднепалеозойское время, спровоцировали существенную его перестройку. Расчленение на крупные геоблоки сопровождалось их контрастными вертикальными перемещениями, формированием трапповых синеклиз. Наиболее крупной из них является Тунгусская. На северо-востоке она через Анабарскую антеклизу сопряжена с Оле-

некским поднятием. Обе структуры характеризуются широким развитием трапповых образований, но отличаются масштабностью этих событий. Для Тунгусской синеклизы тектономагматическая активность сопровождалась поступлением колоссальных (млн. км³) объемов толеит-базальтовых магм, формировавших мощные многоярусные силлы, лавовые потоки и туфовые поля. Оленекское поднятие характеризуется многократно меньшими объемами поступившей магмы.

В задачу настоящего исследования входит сравнение трапповых образований двух выше-названных территорий для подтверждения пра-

ТОМШИН Михаил Дмитриевич – к.г.-м.н., в.н.с., зав. геологическим музеем; КОПЫЛОВА Альбина Георгиевна – н.с.

вомерности выделения [1] Оленекской трапповой синеклизы, фрагменты которой в виде продуктов траппового магматизма сегодня наблюдаются в пределах Оленекского поднятия, в самостоятельную структуру. Учитывая незначительную мощность интрузий траппов Оленекского поднятия, для корректного выполнения поставленной задачи в качестве объекта исследований на Тунгусской синеклизе выбраны слабодифференцированные тела в северо-восточной части на флангах выклинивания трапповых полей.

Траппы Тунгусской синеклизы. На северо-восточной окраине Тунгусской синеклизы в зоне ее сочленения с Анабарской антеклизой располагается полоса трапповых силлов. Она вытянута от верховьев р. Оленек в юго-восточном направлении до долины р. Моркока-Мархарата на протяжении более чем 400 км. Вмещающими для трапповых силлов являются карбонатные породы нижнего палеозоя и перми. По активным контактам траппов с осадочными породами нижней возрастной границей для них служит верхняя пермь. По отсутствию зон закалки как в туфах кочучумской свиты ($T_{1k\delta}$), так и в долеритах II фазы внедрения (свидетельство одновременности образования) верхней возрастной границей для траппов следует считать низы нижнего триаса. Определение изотопного возраста долеритов трапповых силлов южной и центральной частей Тунгусской синеклизы [2–4 и др.] Ar/Ar и U-Pb методами показало, что они внедрялись в интервале времени 264–240 млн. лет. Ранее [5, 6] было обосновано, что траппы Тунгусской синеклизы формировались в три самостоятельные фазы внедрения. Каждый из трех поступающих объемов базальтового расплава нес свою петрохимическую специфику [7]. Нами установлено, что интрузии с возрастом 258–252 млн. лет близки к телам первого умереннотитанистого петрохимического типа, а на рубеже 243–240 млн. лет формировались низкотитанистые траппы второго петрохимического типа. Прямыми геологическими наблюдениями установлено, что интрузивы второго петрохимического типа прорывают интрузивы первого типа и сами в свою очередь прорваны интрузивами третьего петрохимического типа. Все вместе взятое подтверждает вывод о самостоятельности внедрения каждой из выделенных фаз и о продолжительности трапповых событий.

Первым петрохимическим типом базитов выполнено большинство интрузивов района. Сложены интрузивы однообразными среднезернистыми долеритами, переходящими в периферийных частях в мелко- и тонкозернистые раз-

ности. Мощность интрузий колеблется от 30 до 150 м. Преобладают маломощные (30–50 м) слабодифференцированные тела, выполненные пойкилоофитовыми долеритами. Основной породообразующий минерал плагиоклаз (45 до 52 %) лабрадорного состава (An_{57-75}). Реже встречаются более кислые (An_{40-49}) и основные (An_{80-84}) разновидности. Пироксен занимает 27–35 % объема породы. Он представлен крупными ойкокристаллами авгита ($Wo_{34-44}En_{39-45}Fs_{16-27}$). Иногда отмечается высокожелезистый ферроавгит ($Wo_{40}En_{25}Fs_{35}$). Оливин в долеритах присутствует в количестве 2–5 % в виде мелких округлых зерен. Состав минерала изменяется от хризолита (Fe_{27}) до гортонолита (Fe_{63}). Уверенно фиксируются два максимума в магнезиальной (Fe_{27-35}) и более железистой (Fe_{50-55}) областях. Окиснорудные минералы представлены титаномагнетитом, реже встречается ильменит. Общее их количество в долеритах достигает 5–7 %.

В тех редких случаях, когда мощность интрузивов превышает 60–70 м, четко просматриваются процессы внутрикамерной дифференциации. Прежде всего они проявляются в формировании в средней части залежи горизонта обогащенных (до 7–8 %) оливином долеритов. Кроме этого в прикровлевой и приподошвенной частях залежи образуются шпире габбро-пегматитов и феррогаббро.

Интрузии второго петрохимического типа в основном залегают под пластовыми телами первого петрохимического типа и, прорывая их на флангах траппового поля, переходят на более высокий гипсометрический уровень. Расплав, сформировавший рассматриваемые интрузивы, несет следы докамерной кристаллизации. Долериты имеют порфировый облик за счет гломеропорфировых скоплений и отдельных фенокристаллов раннего плагиоклаза. В них постоянно присутствуют ранний магнезиальный оливин и маложелезистый клинопироксен. Преобладающая структура пород – офитовая, чем они отличаются от долеритов первой фазы. В некоторых объектах, например, в Нижне-Томбинской интрузии [8], долериты приобретают пироксенофиновый тип структуры и отличаются такситовой текстурой. Плагиоклаз ранней стадии кристаллизации отвечает по составу лабрадор-битовниту (An_{75-90}), для внутрикамерной обстановки характерен лабрадор (An_{55-65}). Клинопироксен относится к более магнезиальному авгиту ($Wo_{33-43}En_{44-50}Fs_{10-19}$), чем в базитах первой группы. Все долериты рассматриваемых интрузий оливинсодержащие. Количество оливина увеличивается от 3 % в кровле тел до 6 % в приподошвенных участках и, редко, до 12 % в центральных частях дифференцированных сил-

лов. По составу минерал ранних стадий кристаллизации отвечает хризолиту – Fa_{23-29} , а внутрикамерного этапа – гиалосидериту (Fa_{32-54}). Титаномагнетит в офитовых долеритах образует скелетные формы и доля его не более 2,5 %. Для ильменита характерны таблитчатые кристаллы в количестве до 1 %.

Интрузивы третьего петрохимического типа менее распространены. По своему геологическому положению они наиболее молодые. Сложены они средне- и крупнозернистыми разновидностями пород. Преобладающий тип структуры – офитовый в сочетании с габбро-офитовым. Долериты этих интрузий имеют трахитоидный облик. Отличительная особенность данных долеритов – постоянное присутствие в них как стекловатого, так и частично раскристаллизованного мезостаза (до 10 %). Основным минералом долеритов является плагиоклаз (48–53 %) андезинового состава (An_{44-51}). Он образует длинные лейсты, часто ориентированные параллельно контактам интрузива, что и обуславливает трахитоидный облик пород. Пироксен (до 30 %), представленный железистой разновидностью авгита ($\text{Wo}_{34-38}\text{En}_{32-37}\text{Fs}_{26-33}$), образует столбчатые и призматические кристаллы. Единичные зерна оливина соответствуют гортонолиту (Fa_{55-65}). Характерной чертой пород интрузий третьего типа является преобладание титаномагнетита над ильменитом.

Выделенные петрохимические типы траппов отличаются по химическому составу и содержанию микроэлементов (таблица, рис. 1, 2). Долериты I типа с умеренной долей TiO_2 (в среднем 1,40–1,80 %), общей железистостью (до 13 %) и магнезиальностью ($\text{Mg\#} = 48$ и 47) относятся к самым распространенным траппам. В состав этой группы пород входят и мощные дифференцированные залежи, поэтому для траппов I петрохимического типа характерны достаточно широкие вариации составов, как по петрогенным, так и по редким элементам. Долериты II типа обладают малой вариабельностью содержания основных оксидов. Они являются низкотитанистыми (0,1–1,25 % TiO_2), часто с повышенным содержанием SiO_2 , невысокой суммарной железистостью (8,9–11,3 % $\text{FeO}_{\text{общ}}$) и несколько более богаты MgO ($\text{Mg\#} = 56$ и 58). По химическому и микроэлементному составу резко выделяются габбро-долериты III типа. Для них присущи высокие содержания титана, железа, низкая магнезиальность ($\text{Mg\#} = 38$) и минимальное содержание алюминия. Существенно отличаются они и по распределению редких элементов. Максимальные содержания LILE, REE и элементов группы титана (V, Nb, Zr, Y) установлены в высокотитанистых габбро-

долеритах III типа, а минимальные – в долеритах II типа. Содержание транзитных элементов Ni, Co, Cr в долеритах I типа несколько ниже, чем в магматитах II типа и минимальные значения данных элементов, чутко реагирующих на магнезиальность пород, установлены в габбро-долеритах III типа.

Траппы Оленекского поднятия. Полоса трапповых силлов протяженностью более 400 км прослеживается вдоль северного склона Анабарской антеклизы в восточном направлении в бассейнах рр. Уджа и Куойка. Затем траппы пересекаются р. Оленек в районе ее притоков р. Мерчемден и р. Биенчима и уходят на восток до верховьев р. Нунку-Юрях. В этой полосе траппов отдельные силлы имеют протяженность 100–120 км (например, Сектеляхская интрузия). Мощность пластовых тел изменяется от преобладающей 15–50 м до 110 м. Это субвулканические залежи, залегающие среди отложений пермского возраста. По взаимоотношению с осадочными породами можно уверенно говорить лишь о нижнетриасовом возрасте тел.

Приповерхностное расположение интрузивов предопределило быструю кристаллизацию магмы и развитие эруптивных брекчий в кровлевой зоне. Слагаются интрузии долеритами и оливинсодержащими габбро-долеритами. Все они относятся к стеклосодержащим (толеитовым) разновидностям. В наиболее мощных интрузиях в нижней половине тел появляется горизонт (до 5 м) оливиновых габбро-долеритов с содержанием оливина до 12–13 %. Структура породы в оливинсодержащих разновидностях пойкилоофитовая, такситоофитовая и в эндоконтактных зонах офитовая. Контактные участки силлов выполнены микродолеритами и долеритовыми порфиритами. В сложении пород интрузивов четко фиксируются две ассоциации минералов, отвечающие докамерному и внутрикамерному этапам фракционирования базитового расплава. Ранняя ассоциация представлена анортит-битовнитом, хризолитом, слабозелезистым клинопироксеном и муассанитом. Плагиоклаз докамерной генерации (An_{95-75}) образует оплавленные ядра, широкие и крупные лейсты, часто образующие гломеровые скопления. В оплавленных центрах таблиц иногда отмечаются буровато-черные включения стекла, характеризующие высокие скорости кристаллизации минерала. Плагиоклаз внутрикамерного этапа становления интрузивов представлен лейстами и таблицами (0,3–0,5 мм) лабрадор-андезинового состава (An_{70-35}). Моноклинный пироксен первой генерации – это магнезиальный авгит ($\text{Wo}_{39-41}\text{En}_{40-52}\text{Fs}_{9-19}$) с зеленоватым оттенком окраски. Клинопироксен внутрикамерного этапа

ТРАПЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ И ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ

Средние химические составы траппов, вес. %, г/т

	Тунгусская синеклиза					Оленекская антеклиза				
	Бассейн р.Моркока-Мархарата			Бассейн р. Нижняя Томба		Ол-64	Ол-66	Ол-201-4	Ол-35 Ол-38	Среднее
	I	II	III	I	II					
SiO ₂	48,81	49,30	47,14	49,23	48,84	49,17	48,95	48,54	49,59	48,97
TiO ₂	1,50	1,09	3,22	1,59	1,06	1,31	1,27	1,35	1,20	1,25
Al ₂ O ₃	15,80	15,35	11,50	14,68	15,81	15,51	15,36	15,43	14,51	15,21
Fe ₂ O ₃	5,48	4,30	5,40	4,14	3,61	3,17	4,01	4,68	3,73	3,69
FeO	7,29	7,16	11,64	8,81	7,70	8,77	7,98	7,54	8,61	8,30
MnO	0,19	0,20	0,28	0,20	0,17	0,20	0,21	0,19	0,12	0,26
MgO	6,95	7,85	5,74	6,23	8,41	7,28	7,54	6,65	7,41	7,45
CaO	10,50	11,38	10,55	10,83	11,06	11,12	11,39	11,49	10,77	11,99
Na ₂ O	2,33	1,90	2,33	2,16	1,91	2,15	2,19	2,16	2,27	2,15
K ₂ O	0,44	0,41	0,54	0,48	0,38	0,30	0,30	0,27	0,48	0,32
P ₂ O ₅	0,23	0,13	0,24	0,16	0,10	0,13	0,13	0,14	0,25	0,15
H ₂ O ⁺	0,44	0,41	0,57	0,77	0,67	1,75	1,52	1,36	0,86	0,62
Сумма	100,0	99,78	99,73	99,29	99,93	100,8	100,8	99,47	99,77	100,0
Mg#	48	56	38	47	58	55	56	52	52	53
n	14	20	4	10	21	14	6	3	16	39
Rb	11,9	9,1	14,3	15,8	11,8	8,19	6,98	5,43	10,2	7,70
Ba	122	137	211	177,5	130	173	159	200	144	169
Th	1,44	1,06	1,96	2,34	1,18	2,35	2,23	1,52	1,98	2,02
U	0,49	0,4	0,59	0,54	0,29	0,47	0,47	0,45	0,62	0,50
Nb	5,87	3,47	7,89	6,93	3,87	4,57	4,66	4,50	4,39	4,53
Ta	0,53	0,34	0,4	0,35	0,24	0,31	0,35	0,33	0,32	0,34
Sr	184	173	202	247	208	257	221	306	224	252
Zr	113	78	176	98,5	70,25	71	76	91	97	84
Hf	2,79	2,07	4,53	2,84	2,04	1,93	1,76	2,41	2,39	2,12
Y	30,10	22,17	47,58	28,75	21,7	22,1	21,4	22,5	22,3	22,1
Pb	1,97	2,42	2,74	2,06	1,69	3,2	11,0	2,80	3,45	5,11
La	8,38	6,9	12,4	12,4	9,2	7,98	7,72	7,81	9,56	8,27
Ce	20,25	16,05	29,75	28,5	20,95	18,6	18,1	18,6	19,7	18,8
Pr	2,58	2,11	4,04	3,84	2,93	2,51	2,45	2,58	2,48	2,51
Nd	13,15	10,28	20,5	16,05	12,8	11,5	10,9	12,0	12,6	11,8
Sm	3,77	2,84	6,18	4,22	3,37	3,17	2,98	3,43	3,15	3,18
Eu	1,33	1,01	1,97	1,2	0,96	1,08	1,02	1,09	1,01	1,05
Gd	4,62	3,45	7,12	4,72	3,38	3,8	3,65	3,99	3,24	3,67
Tb	0,73	0,59	1,16	0,8	0,59	0,63	0,629	0,671	0,55	0,62
Dy	4,61	3,76	7,14	5,03	3,84	4,19	4,06	4,34	4,24	4,21
Ho	1	0,79	1,58	1,105	0,87	0,92	0,88	0,90	0,83	0,88
Er	2,89	2,385	4,67	3,33	2,54	2,56	2,46	2,61	2,17	2,45
Tm	0,45	0,35	0,72	0,43	0,36	0,37	0,37	0,36	0,39	0,37
Yb	2,85	2,35	4,40	2,9	2,37	2,41	2,27	2,42	2,29	2,35
Lu	0,39	0,32	0,64	0,42	0,34	0,36	0,36	0,361	0,36	0,36
Ni	94	100	34	110	170	136	140	140	162	145
Co	50	49	56	47	52	54	50	51	56	53
Cr	120	191	38	168	185	240	240	260	304	260
V	241	220	580	300	250	272	220	290	280	270
Sc	36	37	55	48	39	42	39	53	41	44
Cu	185	101	231	147	113	136	137	130	200	150
Zn	117	81	106	111	80	99	92	44	135	93
ΣREE	67,05	53,6	102,3	85	64,5	60,1	59,0	61,2	62,6	61,0
(La/Yb) _n	2,06	2,13	2,02	3,21	2,67	2,37	2,44	2,31	2,79	2,48
Eu/Eu*	1,01	0,96	0,96	0,82	0,87	0,95	0,94	0,90	0,95	0,94
Nb/Nb*	0,61	0,78	0,58	0,32	0,3	0,38	0,41	0,47	0,56	0,46

Данные о химическом составе траппов получены на основе классического силикатного анализа. Определение редких элементов проводилось масс-спектрометрическим (ICP-MS) методом (ИМГРЭ). Mg# = Mg²⁺ × 100 / (Mg²⁺ + 0,85 × Fe²⁺); Nb/Nb* = 0,3618 × Nb / √(La · Th); Eu/Eu* = Eu_n / 0,5(Sm + Gd)_n; n – значения нормализованы по составу хондрита [9].

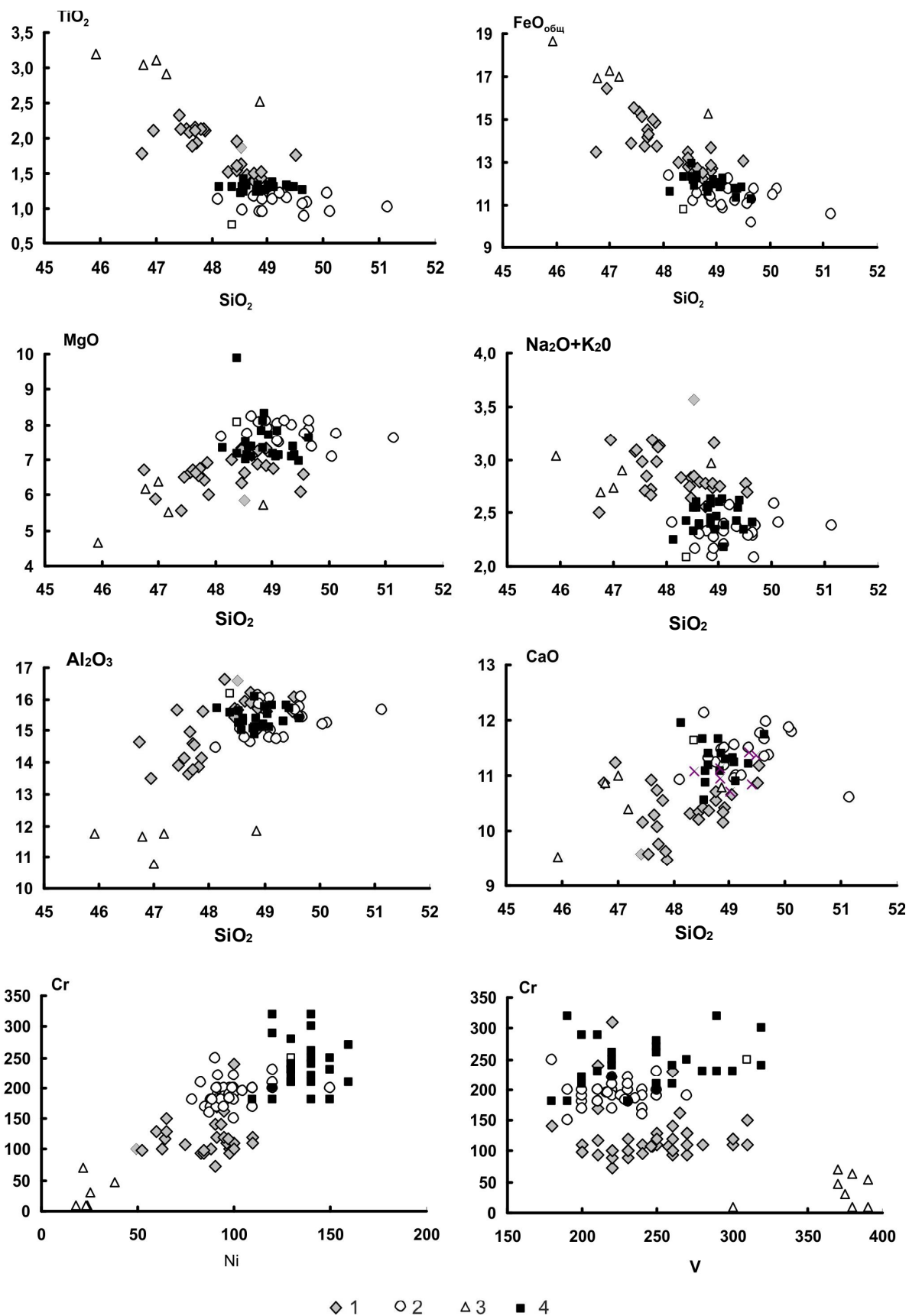


Рис.1. Корреляционные отношения породообразующих окислов и микроэлементов: 1–3 – траппы Тунгусской синеклизы: 1 – I тип, 2 – II тип, 3 – III тип; 4 – траппы Оленекского поднятия

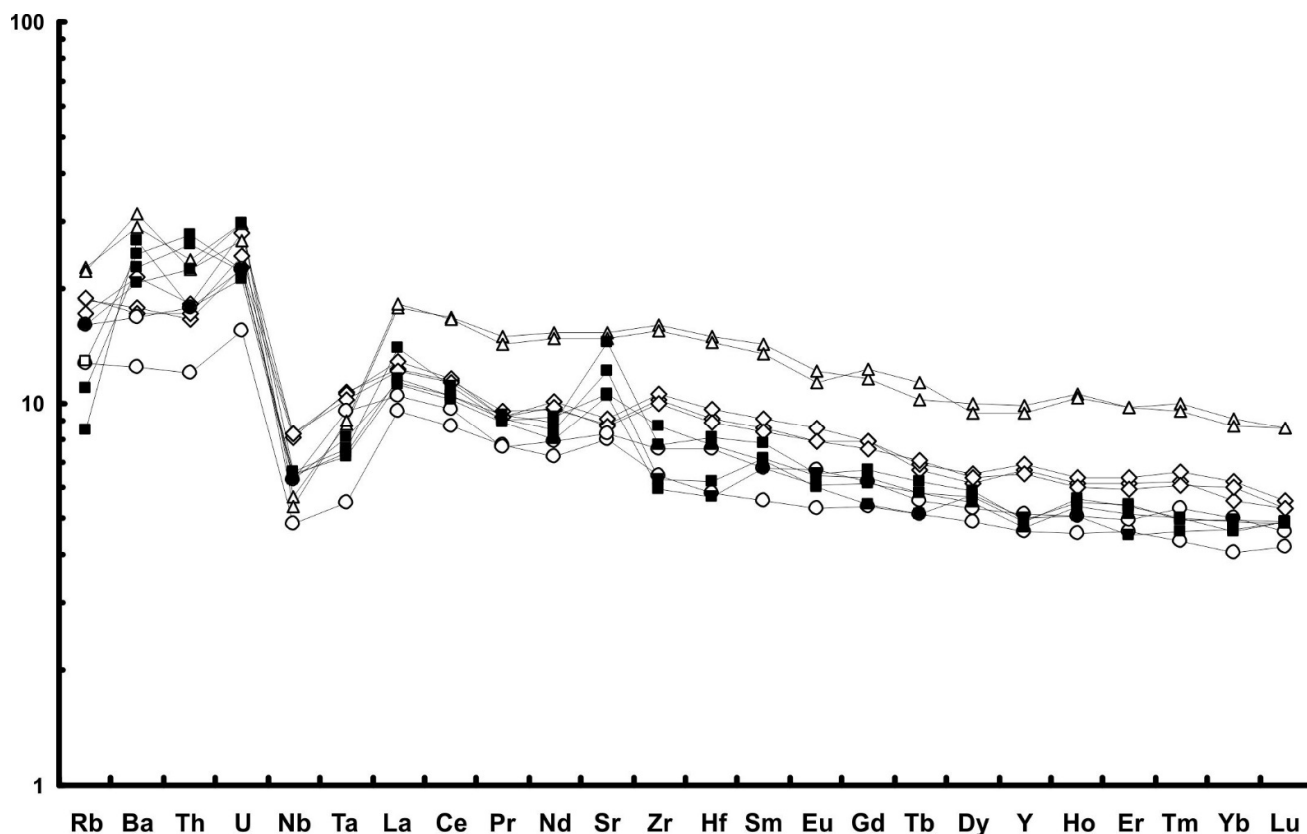


Рис. 2. Распределение несовместимых элементов в траппах, нормированных к составу примитивной мантии [9]. Усл. обозначения см. на рис. 1

кристаллизации имеет темно-бурые цвета окраски и отвечает более железистому авгиту (вплоть до $Wo_{34}En_{33}Fs_{33}$). Кроме этого, в интерстиционном мезостазисе среди продуктов раскристаллизации стекла наблюдается третья морфологическая группа кристаллов клинопироксена скелетного габитуса – ферроавгит. Наиболее магнезиальные разности оливина (Fa_{17-29}) установлены в близконтактных зонах, а в центральной части интрузива и в обогащенных оливином горизонтах он становится более железистым, вплоть до гиалосидерита (Fa_{30-41}). Титаномагнетит отличается стабильностью состава. Он образует таблитчатые кристаллы, реже встречаются его скелетные агрегаты. Показательно отсутствие в долеритах интрузива таких минералов, как биотит, роговая обманка, кварц, ортоклаз и незначительное количество апатита.

Из приведенного выше видно, что по петрографическим характеристикам траппы Оленекского поднятия занимают своё положение, отличное от траппов востока Тунгусской синеклизы. Так, например, по преобладающей пойкилоофитовой структуре они близки долеритам I петрохимического типа, а по наличию стекловатого мезостазиса – третьему. По составу породообразующих минералов они сопоставимы с долеритами II петро-

химического типа. При этом в долеритах Оленекского поднятия оливин более магнезиален, чем в целом в траппах востока Тунгусской синеклизы (Fa_{17-41} против Fa_{27-63}), что отражает более высокую магнезиальность магмы. Четко проявленный докамерный этап кристаллизации расплава в долеритах Оленекского поднятия характерен лишь для траппов II типа Тунгусской синеклизы.

Химический состав интрузивов траппов Оленекского поднятия характеризуется узким диапазоном породообразующих элементов: содержания SiO_2 (вес. %) находятся в пределах 48–50, TiO_2 – 1,1–1,5, K_2O – 0,3–0,5, P_2O_5 – 0,12–0,25, суммарная железистость 11–12 $FeO_{общ}$, индекс $Mg\# = 52–56$ (таблица). В целом, по содержанию основных окислов и распределению многих редких элементов они занимают промежуточное положение между составами траппов I и II типов, приближаясь к значениям для долеритов II типа. От последних траппы Оленекского поднятия наиболее четко отличаются более высокими содержаниями титана, железа, щелочей и, соответственно, элементов группы титана – V, Nb, Zr, а также Rb, Ba, Th и U. Повышенная железистость и достаточно высокое содержание магния в них обусловили максимальные концентрации элементов, входящих в раннекристалли-

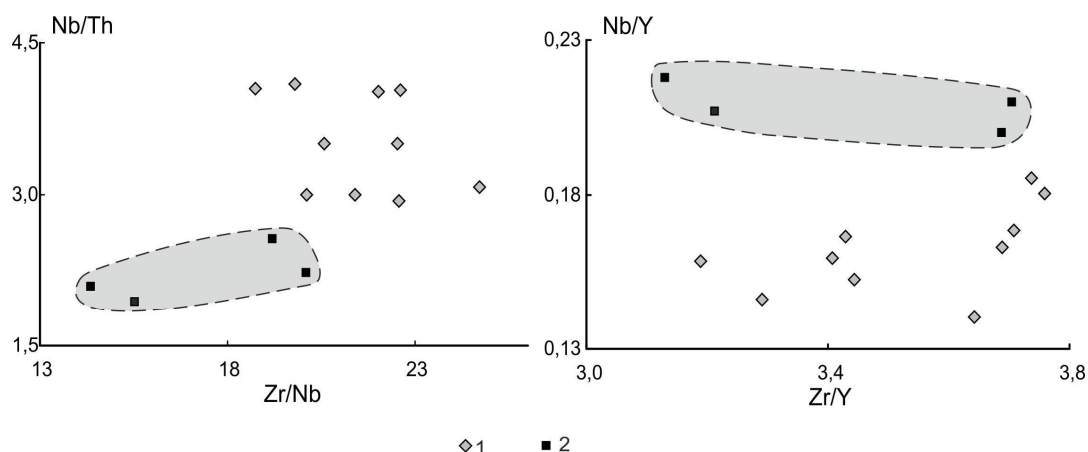


Рис. 3. Положение составов траппов на диаграммах парных отношений несовместимых элементов: 1—траппы Тунгусской синеклизы; 2—траппы Оленекского поднятия. Выделено поле составов пород Оленекского поднятия

ческие железомagneйные минералы – Cr, Ni и Co. Спектры распределения РЗЭ траппов Оленекского поднятия более крутые ($La/Yb_n=2,4-2,8$) по сравнению с траппами Тунгусской синеклизы, суммарное значение REE (г/т) в них лежит в пределах 59–63, что выше, чем в долеритах II типа. Резко выраженный стронциевый максимум, связанный с наличием раннего основного плагиоклаза, характерен для магматитов II типа и траппов Оленекского поднятия, но в последних он выражен наиболее ярко (рис. 2). В отличие от них в траппах I типа проявлен стронциевый минимум. На диаграммах парных отношений несовместимых элементов Nb/Th–Zr/Nb и Nb/Y–Zr/Y долериты Оленекского поднятия образуют своё поле составов, изолированное от составов траппов Тунгусской синеклизы, подчеркивая тем самым участие в процессе магмообразования различающихся источников (рис. 3).

Выводы

Таким образом, проведенный сравнительный анализ траппов Оленекского поднятия и востока Тунгусской синеклизы показал, что по геологическим (пермотриасовый и триасовый возраста), структурно-минералогическим, петрохимическим и геохимическим параметрам они четко различаются. Последнее дает основание говорить о двух различных источниках для траппов Тунгусской синеклизы и Оленекского поднятия и о том, что плюм-магматические события для них были самостоятельными. Поэтому нет оснований относить траппы Оленекского поднятия к фланговым частям траппов Тунгусской синеклизы.

Литература

1. Олейников Б.В., Шпунт Б.Р. Генетические типы и геодинамические обстановки проявления магматизма на Сибирской платформе // Состав и процессы глубинных зон континентальной литосферы. Новосибирск, 1988. С. 57–60.

2. Васильев Ю.Р., Мазуров М.П., Прусская С.Н., Травин А.В. Первые данные об $^{40}Ar/^{39}Ar$ – возрасте трапповых интрузий западного сектора Сибирской платформы // ДАН. 2010. Т. 432, № 4. С. 514–517.

3. Алексеева К.С., Попова Л.П., Постников А.В., Постникова О.В. Изотопно-геохронологический возраст пород трапповой формации в разрезе осадочного чехла Байкитской антеклизы // ДАН. 2016. Т. 470, № 6. С. 682–687.

4. Ivanov A.V., Huaiyu H., Liekun Y., Nikolaeva I.V., Palesskii S.V. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of intrusive magmatism in the Angara-Taseevskaya syncline and its implication for duration of magmatism of the Siberian traps // Journal of Asian Earth Sciences. 2009. 35. P. 1–12.

5. Томшин М.Д., Лелюх М.И., Мишенин С.Г., Сунцова С.П., Копылова А.Г., Убинин С.Г. Схема развития траппового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 19–24.

6. Tomshin M.D., Kopylova A.G., Vasilyeva A.E., Zaitsev A.I. Geochemical and isotope characteristics of intrusive traps in the eastern Siberian Platform // 14th International GeoConferences SGEM. 2014 Albena, Bulgaria. STEF92 Technology Ltd., V. I. P. 113–120.

7. Томшин М.Д., Копылова А.Г., Тянь О.А. Петрохимическое разнообразие траппов восточной периферии Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 1. С. 72–82.

8. Томшин М.Д., Копылова А.Г., Салихов Р.Ф. Нижне-Томбинский трапповый комплекс как многофазная интрузия (северо-восток Тунгусской синеклизы) // Отечественная геология. 2016. № 6. С. 52–61.

9. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. Amer. Spec. Publ. 1989. V.42. P. 313–345.

Поступила в редакцию 04.08.2017