

Нижне-Томбинский трапповый комплекс как многофазная интрузия (северо-восток Тунгусской синеклизы)

М.Д.ТОМШИН, А.Г.КОПЫЛОВА (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН), 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39), Р.Ф.САЛИХОВ (Амакинская ГРЭ АК «АЛРОСА», пос. Айхал, ул. Южная, д. 12).

Рассмотрены морфология тел, петрографический и петрогеохимический состав пород Нижне-Томбинского траппового комплекса. Интрузив, считавшийся ранее единым, сформирован в три самостоятельные фазы внедрения. Породы первой фазы соответствуют наиболее распространенному на востоке Сибирской платформы первому петрохимическому типу траппов. Внедрившийся во вторую фазу базитовый расплав имеет признаки докамерной дифференциации, а сформированные им породы относятся к траппам второго петрохимического типа. Своеобразный состав пород интрузии третьей фазы не соответствует ни одному из ранее выделенных петрохимических типов.

Ключевые слова: Тунгусская синеклиза, Нижне-Томбинский трапповый комплекс, фазы внедрения, петрохимические типы.

Томшин Михаил Дмитриевич
Копылова Альбина Георгиевна
Салихов Равиль Фанисович



tmd@diamond.ysn.ru
kopylova@diamond.ysn.ru
SalikhovRF@alrosa.ru

Lower Tomba trap complex as a multi-phase intrusion (northeastern part of the Tunguska syneclyse)

M.D.TOMSHIN, A.G.KOPYLOVA, R.F.SALIKHOV

Morphology of bodies and petrogeochemical composition of rocks of the Lower Tomba trap complex are discussed. It was established that the intrusive was formed from three independent intrusions emplaced in three phases. The rocks of the first phase intrusion correspond to traps of the first most widespread petrochemical type. Differentiation of the basic melt, which emplaced during the second phase, occurred in pre-chamber conditions. With regard to petrochemical composition, it belongs to the second type traps. Specific composition of the third phase intrusion matches none of the earlier recognized petrochemical types.

Key words: Tunguska syneclyse, Lower Tolba trap complex, emplacement phases, petrochemical types.

На северо-восточной окраине Тунгусской синеклизы в зоне ее сочленения с Анабарской антеклизой в верховьях рек Нижняя Томба, Нижний Яролин, Ниниме и Моркока находится поле трапповых интрузивов. Магмовыводящей для них была Вилуйско-Котуйская система глубинных разломов, активизация которых обусловлена разнонаправленными движениями крупных геоблоков в пермо-триасовое время [3, 7, 8]. В результате магматической деятельности в разрезах палеозоя исследуемого района были сформированы разноуровневые протяженные субгоризонтальные трапповые sill, такие как Могды, Ниниме, Моркокинский, Верхне-Вилуйчанский и др. По активным контактам трапповых sill с осадочными породами нижней возрастной границей для них является верхняя пермь. Верхняя граница определяется по контактовому взаимоотношению долеритов второй фазы внедрения

с туфами кочучумской свиты нижнего триаса (рис. 1, скв. III-5). В контактовой зоне наблюдаются инъекции базитовой магмы в туфы, при этом следов закалки и метасоматических преобразований в туфах не отмечено, то есть оба контактирующих вещества были горячими и, следовательно, образовались практически одновременно. Поэтому верхней возрастной границей для траппов следует считать низы нижнего триаса.

По материалам геологосъемочных работ, проведенных в 1950–1960-х гг. и обобщенных в работе А.М.Вилленского [1], считалось, что для трапповых sill района характерны большие мощности и значительный размах внутрикамерной дифференциации от долеритов и габбро-долеритов до гранофилов. Сульфидная минерализация, установленная в нижних частях Нижне-Томбинской интрузии, а также отмеченная в шлирах гранофилов и габбро-диоритов рассеянная сульфидная

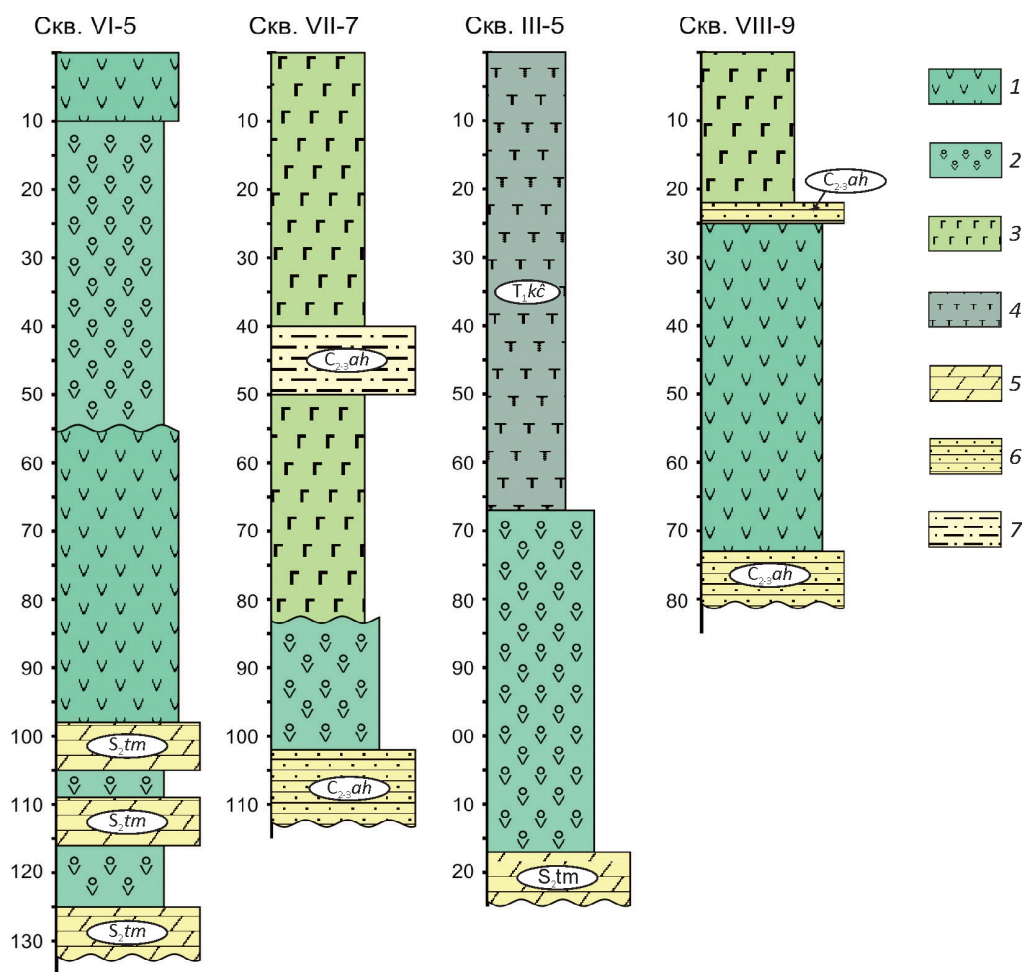


Рис. 1. Положение интрузивов Нижне-Томбинского комплекса в разрезе скважин. По данным Р.Ф.Салихова (АМГРЭ, 2015):

долериты фазы внедрения: 1 – первой, 2 – второй, 3 – третьей; 4 – туфы основного состава кочечумской свиты, Тк^с; 5 – карбонатные породы томбинской свиты, S₂tm; 6 – песчаники и 7 – алевролиты айхальской свиты, C₂₋₃ah

вкрапленность предполагала для интрузивов данного района наличие медно-никелевого оруденения [1, 4]. В этой связи Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» буровыми работами планировалось полностью вскрыть интрузив. Полученный фактический материал положен в основу данной статьи. Было установлено, что Нижне-Томбинская интрузия сформирована в три фазы. Поэтому в задачу исследований входило: определение формы тел интрузивов, их взаимоотношение и последовательность становления, петро- и геохимические различия и их соответствие ранее выделенным в траппах востока Тунгусской синеклизы [5–8] петрохимическим типам.

Проведенные исследования показали, что первые два интрузива, сформировавшие Нижне-Томбинский интрузивный комплекс, имеют силлообразную форму

тел и залегают согласно с вмещающими осадочными породами. Установлено, что второй (по времени внедрения) силл в западной части территории располагается под первым, а затем в районе верхнего течения р. Нижняя Томба прорывает его, внедряясь в северо-восточном направлении по его кровле. Подобное явление прорыва интрузивом второго петрохимического типа более раннего тела авторы данной публикации наблюдали западнее данной территории в береговых обнажениях р. Верхняя Томба. Форма третьего интрузива неопределенна. Он располагается локально в центре верхней части комплекса. Не выяснено и его возрастное взаимоотношение с двумя предыдущими телами. Предполагается, что становлением данного интрузива заканчивается магматическая деятельность в районе.

Интрузив первой фазы внедрения занимает юго-западную и северо-восточную части Нижне-Томбинского интрузивного комплекса в виде силла с максимальной мощностью около 70 м. Сложен интрузив пойкилоофитовыми габбро-долеритами с переменным содержанием оливина. Максимально обогащенные оливинами (до 7%) разности пород образуют в центральной части интрузива 15–17-метровый горизонт. В сторону кровли и подошвы доля оливина постепенно уменьшается до 2%. Процессы внутрикамерной дифференциации обусловили появление в верхней части залежи не содержащие оливин шлиры габбро-пегматитов и гранофириров, а в приподошвенной – ферро-габбро. В оливинсодержащих разностях габбро-долеритов преобладает пойкилоофитовая структура – крупные ойкокристаллы клинопироксена создают сплошное поле, в котором располагаются все остальные породообразующие минералы. Клинопироксен представлен широкопластинчатыми кристаллами размером от 1 до 5 мм. По составу минерал отвечает авгиту ($Wo_{33-35}En_{36-39}Fs_{26-30}$). В оливиновых габбро-долеритах он более магнезиальный ($Wo_{14-28}En_{44-51}Fs_{28-35}$), а по содержанию кальция соответствует пижониту. Железистость минерала практически не меняется. В небольших количествах присутствует гиперстен (Fs_{44-47}). Порфиновый плагиоклаз практически отсутствует, а минерал основной массы образует лейсты и призмы лабрадор-битовнитового состава (An_{77-65}), реже основность плагиоклаза опускается до андезина (An_{34}). Оливин (Fa_{49-67}) образует две морфологические группы: крупные (до 1 мм) изометричные кристаллы и скопления мелких округлых зерен. Окисно-рудные минералы (до 3%) представлены изометричными табличками ильменита и скелетными агрегатами титаномагнетита. Имеющие ограниченное распространение мезостазисные участки содержат продукты раскристаллизации остаточного кислого расплава – кварц, ортоклаз, мусковит, хлорит.

В прикровлевых горизонтах силла появляются шлиры габбро-пегматитов. Это крупнозернистые лейкократовые породы с габбро-офитовой в сочетании с габбро-пегматитовой структурой. Последняя обусловлена мирмекитовым прорастанием плагиоклаза и клинопироксена. Плагиоклаз имеет кислый лабрадор-андезиновый состав (An_{55-47}), авгит максимально обеднен магнием ($Wo_{37}En_{21}Fs_{42}$), оливин отсутствует. Количество окисно-рудных минералов в габбро-пегматитах увеличивается до 10%. Фиксируется сыпь сульфидных минералов. Шлиры феррогаббро (до 1 м в поперечнике) наблюдаются в нижней части силла и представлены крупно- и гигантозернистыми лейкократовыми породами с габбровой или габбро-офитовой структурами. Зерна плагиоклаза (An_{47-39}) достигают размеров 1 см. Минерал часто замещен калишпатом. По призмам железистого авгита развивается бурая роговая обманка, установлены кристаллы бронзита и амфибола и кварц.

Таким образом, данная интрузия дифференцирована от оливиновых габбро-долеритов до феррогаббро и гранофириров. Сульфидная минерализация представлена редкой вкрапленностью преимущественно в шлирах.

Интрузив второй фазы внедрения в основном выполняет центральную часть и восточное крыло Нижне-Томбинского интрузивного комплекса. Максимальная мощность интрузива 115 м. При прорыве данным интрузивом силла долеритов первой фазы внедрения, как предполагают авторы, произошло частичное отщепление магмы придонных частей магматического клина. Отделившийся расплав, образуя маломощные (2–5 м) интрузивные инъекции, уходил в карбонатные породы, подстилающие интрузив первой фазы (см. рис. 1, скв. VI-5). Интрузив второй фазы сложен оливиновыми разностями габбро-долеритов вплоть до троктолитов (17% оливина), формирующих в средней части залежи линзообразные обособления. В сторону кровли и подошвы количество оливина постепенно уменьшается до 2–3%. Габбро-долериты интрузива имеют пироксенофирировый тип структуры и отличаются такситовой текстурой. Пространство между ойкокристаллами клинопироксена заполнено мелкими лейстами и призмами плагиоклаза, мелкими зернами оливина, пироксена и нераскристаллизованным стекловатым мезостазисом, количество которого может достигать 12%. К подошве залежи количество мезостазиса уменьшается и увеличивается его раскристаллизованность. Основные породообразующие минералы габбро-долеритов представлены двумя генерациями. Максимальное количество минералов первой генерации концентрируется в троктолитовых разностях, в оливиновых габбро-долеритах их существенно меньше, и они практически отсутствуют в оливинсодержащих породах. Плагиоклаз первой генерации образует крупные (1–1,5 мм) порфиновые призмы и таблицы битовнита (An_{86-72}), а в основной массе – мелкие (0,2–0,3 мм) короткие лейсты и призмы лабрадор-андезина (An_{70-47}). Ойкокристаллы пироксена могут достигать 1 см в поперечнике, создавая пироксенофирировый облик структуры. В их центральных частях минерал по составу отвечает авгиту ($Wo_{37-39}En_{42-43}Fs_{18-21}$). По периферии таблиц и в основной массе он более железистый ($Wo_{26-40}En_{35-45}Fs_{25-29}$). Редко железистость минерала может опускаться до Fs_{11-13} . По клинопироксену часто развиваются пертитовые прорастания бронзита (Fs_{36-46}), который образует и самостоятельные зерна. Оливин в троктолитовых и оливиновых габбро-долеритах отвечает двум генерациям: крупные идиоморфные порфиновые кристаллы гиалосидерита (Fa_{34-36}) и мелкие округлые скопления зерен более железистой его разности (Fa_{41-48}). В сложении основной массы участвуют титаномагнетит и ильменит.

Третий интрузив расположен локально в центре Нижне-Томбинского интрузивного комплекса. Максимально вскрытая его мощность составляет 73 м. Одной из скважин (рис.1 скв.VII-7) в средней части

2. Средние содержания петрогенных (в массовых долях %) и редких (в г/т) элементов в траппах Нижне-Томбинского объекта и восточного борта Тунгусской синеклизы

Компоненты	Нижне-Томбинский объект			Восточный борт Тунгусской синеклизы [6, 8]		
	Фаза					
	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	49,23	48,84	52,65	49,01	51,55	49,35
TiO ₂	1,59	1,06	0,93	1,51	1,04	2,26
Al ₂ O ₃	14,68	15,81	15,23	15,04	14,96	13,44
Fe ₂ O ₃	4,14	3,61	3,44	4,37	3,93	5,84
FeO	8,81	7,70	5,99	8,01	6,53	9,27
MnO	0,20	0,17	0,14	0,21	0,18	0,26
MgO	6,23	8,41	6,66	6,57	6,97	5,30
CaO	10,83	11,06	10,59	10,92	10,90	9,54
Na ₂ O	2,16	1,91	1,93	2,24	2,04	2,41
K ₂ O	0,48	0,38	0,93	0,53	0,81	0,75
P ₂ O ₅	0,16	0,10	0,11	0,16	0,13	0,24
H ₂ O	0,77	0,67	0,98	0,83	0,74	0,66
Сумма	99,29	99,93	99,75	99,40	99,78	99,32
Mg#	47	58	57	48	54	31
Ni	110	172	33	121	81	28
Co	47	52	38	53	40	43
Cr	180	240	110	145	169	74
V	301	250	196	237	191	304
Sc	48	41	37	35	32	38
Ba	177	141	253	162	205	200
Sr	178	160	181	222	195	153
Zr	157	111	149	118	77	191
Y	26	19,4	18	24	21	35
Nb	10	6,9	8,11	8,9	7,4	11,5
N	10	21	9	123	104	18

Примечание. N – число анализов.

установлен десятиметровый ксеноблок алевролитов айхальской свиты (C_{2-3ah}). Интрузив сложен средне- и мелкозернистыми габбро-долеритами с долеритовой структурой. Отличительная особенность габбро-долеритов – постоянное присутствие как стекловатого, так и частично раскристаллизованного мезостазиса, количество которого колеблется от 2 до 19%, чаще всего составляя 8–10%. Степень раскристаллизации стекловатого мезостазиса увеличивается с глубиной, где развиваются ортоклаз, скелетные кристаллы титаномагнетита и хлорито-слюдистый агрегат. Второе отличие – низкое содержание в породе (1–3,5%) полностью замещенного боулингитом оливина. В интрузиве отсутствуют признаки дифференциации вещества, он сложен одним типом пород, что свидетельствует о гипабиссальной природе его становления.

Основной породообразующий минерал габбро-долеритов – плагиоклаз – представлен единичными порфиловыми зернами и короткими лейстами и призмами размером 0,2–0,3 мм лабрадор-андезинового состава (An₇₁₋₃₅). Плагиоклаз часто имеет зональное строение, и по нему развивается ортоклаз. Клинопироксен име-

ет форму овальных таблиц одинаковой с плагиоклазом размерности. Состав минерала нестабилен и изменяется в широком диапазоне (Wo₁₃₋₄₀En₂₂₋₄₉Fs₁₁₋₄₃), отдельные кристаллы sdвойникованы. Окисно-рудные минералы представлены титаномагнетитом и ильменитом.

Выделенные по структурно-петрографическим признакам интрузивы разных фаз внедрения отличаются и по особенностям химического и микроэлементного составов. Магма первой фазы внедрения в среднем обогащена относительно пород остальных фаз титаном (TiO₂ 1,59%), фосфором (P₂O₅ 0,16%), в ней выше суммарное содержание железа (FeO 12,54%) (таблицы 1, 2 и рис. 2). Индекс магнезиальности Mg# изменяется в пределах 46–50 и увеличивается до 58 только в горизонтах, обогащенных оливином. Характерная черта долеритов интрузии второй фазы внедрения – их высокая магнезиальность (Mg#=53–66), что определено повышенным содержанием оливина в породах. Количество индикаторных оксидов в данном интрузиве ниже (TiO₂ 1,06%, P₂O₅ 0,10% и FeO 10,94%), чем в интрузиве первой фазы. Широкое присутствие в породах второй фазы основного плагиоклаза (до битовнита) обусловило как

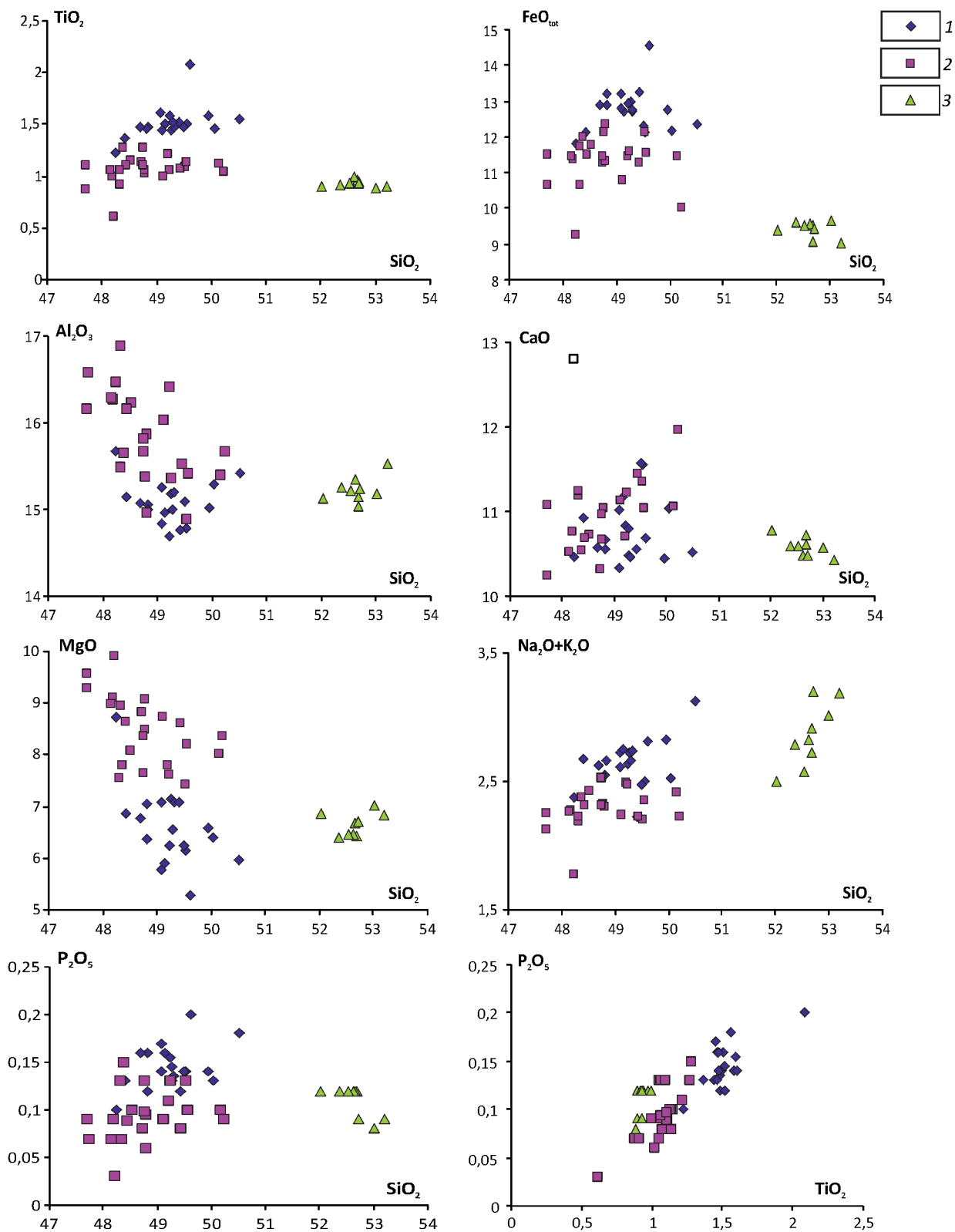


Рис. 2. Корреляционные отношения породообразующих оксидов в породах Нижне-Томбинского комплекса:

долериты фазы внедрения: 1 – первой, 2 – второй, 3 – третьей

3. Содержания редких элементов в представительных пробах траппов Нижне-Томбинского объекта (в г/т)

Элементы	Фаза				
	1		2		3
	Образцы				
	VIII-9-71	IX-3-6	5-117	18-12	7-65
Rb	16,2	15,3	12,7	10,9	41,0
Ba	188	167	146	114	314
Sr	242	253	217	199	280
Th	2,39	2,29	1,85	1,28	3,88
U	0,57	0,51	0,37	0,20	1,32
Zr	104	93,4	73,8	66,5	106
Hf	3,02	2,67	2,23	1,85	3,14
Nb	4,61	4,35	3,68	2,95	7,77
Ta	0,36	0,34	0,29	0,19	0,61
Y	30,2	27,3	23,2	20,2	22,7
Pb	2,17	1,96	2,08	1,31	5,26
La	12,4	12,5	9,70	8,60	20,0
Ce	28,4	28,6	22,5	19,4	43,3
Pr	3,81	3,88	3,19	2,67	5,55
Nd	16,5	15,6	14,2	11,4	21,5
Sm	4,11	4,33	3,65	3,10	4,97
Eu	1,23	1,18	1,00	0,933	1,10
Gd	4,95	4,49	3,69	3,07	4,17
Tb	0,76	0,84	0,64	0,54	0,68
Dy	5,32	4,74	4,19	3,48	4,14
Ho	1,15	1,06	0,90	0,84	0,92
Er	3,49	3,17	2,68	2,41	2,61
Tm	0,45	0,42	0,43	0,29	0,35
Yb	2,95	2,85	2,63	2,12	2,36
Lu	0,41	0,42	0,38	0,30	0,34
ΣREE	83,73	86,35	69,75	59,04	112,0
(La/Yb) _n	3,41	3,02	2,44	2,91	6,08
(Gd/Yb) _n	1,30	1,39	1,16	1,20	1,46
Eu/Eu*	0,84	0,81	0,83	0,92	0,74
Nb/Nb*	0,29	0,35	0,28	0,32	0,32

Примечание. Элементы определены методом ICP-MS на приборе Elan 6100 DRC (ИМГРЭ); аналитик Д.З.Журавлев; Nb/Nb* = 0,3618 × Nb/V(La × Th); Eu/Eu* = Eu_n/0,5(Sm + Gd)_n, n – значения нормализованы по составу хондрита [9].

повышенную глиноземистость пород в целом, так и более существенный интервал ее изменения (Al₂O₃ 14,8–16,9%). Фигуративные точки состава долеритов интрузии третьей фазы внедрения на корреляционных графиках отношений петрогенных окислов составляют обособленную группу. Это более кремнекислые породы с повышенным средним содержанием SiO₂ 52,65% и K₂O 0,93% и с минимальным титана (TiO₂ 0,93%) и железа (FeO 9,08%). Индекс магнезиальности изменяется в пределах 55–58.

Значимые различия установлены и в содержаниях микроэлементов (см. таблицы 1–3). На графиках отношений редких элементов точки значений содержаний в долеритах разнофазных интрузивов образуют отдельные поля, фиксируя тем самым свойственный каждому из них своеобразный состав микроэлементов (рис. 3). В долеритах интрузива первой фазы фиксируются повышенные содержания элементов HFSE – Zr, Y, Nb и

V. Более магнезиальные долериты второй фазы обогащены элементами группы железа – Ni, Co, Cr. Самые низкие содержания элементов группы железа зафиксированы в породах интрузива третьей фазы внедрения.

На спайдер-диаграммах для долеритов всех фаз Нижне-Томбинского комплекса проявлен Nb-Ta минимум, типичный для интрузивного траппового магматизма Сибирской платформы в целом (рис. 4, а). Распределение элементов показывает обогащение всеми несовместимыми элементами долеритов первой фазы относительно пород второй. Для распределения REE в долеритах I и II фаз характерно умеренное фракционирование, невысокое суммарное содержание, наличие незначительной отрицательной европиевой аномалии (см. рис. 4, б). Индикаторные данные для долеритов I фазы следующие: ΣREE=83–86 г/т, (La/Yb)_n × n=3,41–3,02, Eu/Eu*=0,81–0,84; для долеритов II фазы: ΣREE=59–70, (La/Yb)_n=2,4–2,9, Eu/Eu*=0,83–0,92.

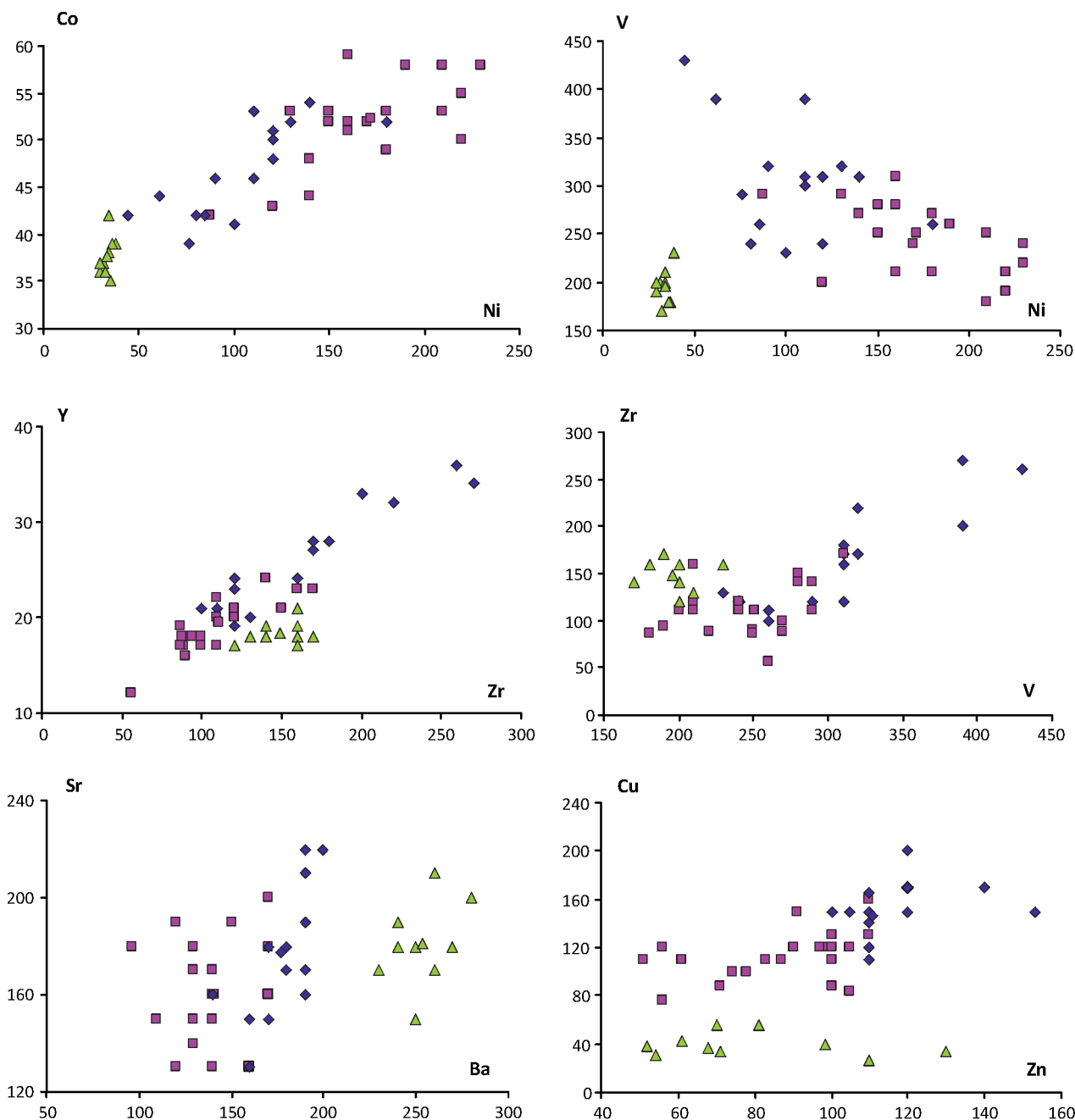


Рис. 3. Корреляционные отношения редких элементов в породах Нижне-Томбинского комплекса:

для построения использованы данные эмиссионного спектрального анализа, приведенные в табл. 1; см. услов. обозн. к рис. 2

Наиболее яркими геохимическими чертами долеритов интрузива третьей фазы внедрения являются максимальные содержания крупноионных Ba, Rb, высокозарядных Th, U, Nb, Ta и LREE. Они характеризуются более высокой суммой редкоземельных элементов ($\Sigma\text{REE}=112$ г/т). При этом значительно фракционированы легкие лантаноиды $(\text{La}/\text{Yb})_n=6,08$ и более слабый

уровень дифференциации в области тяжелых $(\text{Gd}/\text{Yb})_n=1,46$. Подобное распределение элементов логичнее всего объяснить разубоживанием базитовой магмы коровым веществом. В результате возрастает роль легких REE при практически неизменном количестве тяжелых и происходит обогащение такими элементами, как Si, Rb, Ba, Th, U, Pb.

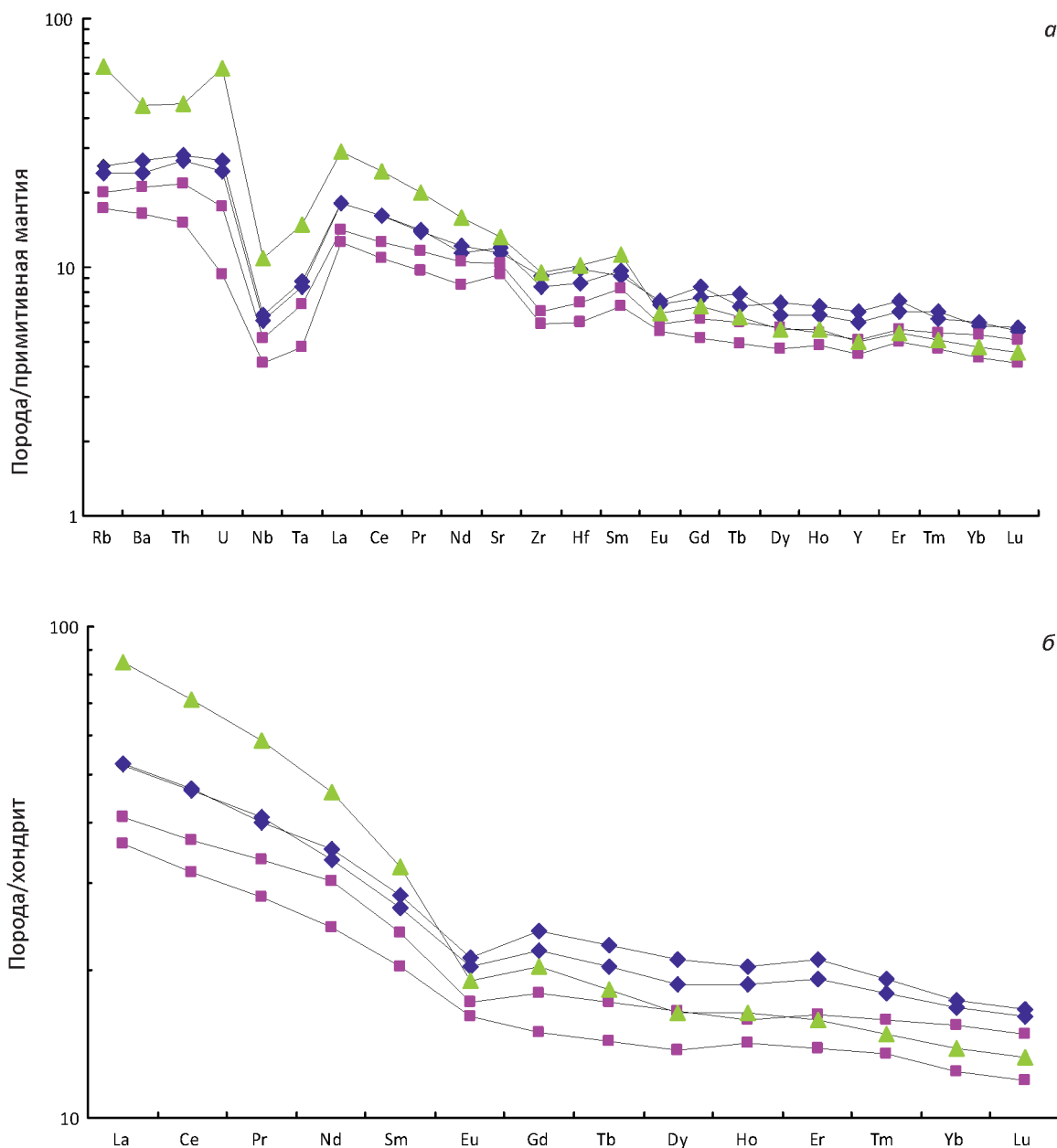


Рис. 4. Распределение в породах Нижне-Томбинского комплекса редких элементов, нормированных [9] к примитивной мантии (а), и редкоземельных элементов, нормированных к хондриту (б):

см. услов. обозн. к рис. 2

Предыдущими работами по траппам восточной части Тунгусской синеклизы среди них были выделены три петрохимических типа [5–8] пород, имея в виду понятие петрохимического типа, предложенное в [2] и развернутое в [5, 6]. К первому типу отнесены умереннотитанистые долериты с содержанием TiO_2 1,2–2,1 и $FeO_{общ.}$ 12–13%, к низкотитанистому второму – траппы с содержанием TiO_2 0,7–1,2 и $FeO_{общ.}$ 9–11%, для вы-

сокотитанистого третьего петрохимического типа характерны содержания TiO_2 2,05–4,2 и $FeO_{общ.}$ 14–18% с соответствующим набором микроэлементов. По своим петрохимическим и геохимическим характеристикам долериты интрузивов первой и второй фаз внедрения Нижне-Томбинского комплекса соответствуют первому и второму петрохимическим типам трапповых интрузий востока Тунгусской синеклизы (см. табл. 2).

Траппы третьей фазы отличаются от долеритов интрузивов первых двух фаз внедрения и не соответствуют третьему петрохимическому типу, что вероятно связано с влиянием корового материала.

Таким образом, в ходе выполнения настоящих работ установлено, что магматические образования Нижне-Томбинского комплекса по петрографическим и геохимическим признакам делятся на три группы. Каждой фазе внедрения соответствует свой петрографический и петрохимический тип. Образованный в первую фазу внедрения интрузив первого петрохимического типа соответствует наиболее распространенному типу траппов Тунгусской синеклизы [5–8]. Его расплав дифференцирован во внутрикамерной обстановке от оливиновых габбро-долеритов до феррогаббро. Внедрившаяся во вторую фазу базитовая магма второго петрохимического типа прошла этап протокристаллизации в докамерной обстановке, где наблюдалась интенсивная кристаллизация основных породообразующих минералов ранней генерации. Петрографическое своеобразие пород третьей фазы внедрения свидетельствует об их приповерхностной или лавовой природе. Они не соответствуют выделенному ранее [5, 7] третьему петрохимическому типу пород. Ассимиляция терригенного материала карбона (наличие их ксенолитов в разрезе тела подтверждает это) изменила геохимический облик базитов, получить которые невозможно в ходе дифференциации магмы как во внутрикамерной, так и в докамерной обстановках.

Работа выполнена в рамках программы НИР Института и при финансовой поддержке АК «АЛРОСА» (ОАО).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виленский А.М.* Петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы. – М.: Наука, 1967. 270 с.
2. *Виленский А.М., Олейников Б.В.* Принципы классификации интрузивных трапповых образований Сибирской платформы // Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. – М.: Наука, 1970. С. 78–102.
3. *Горништейн Д.К., Петров А.Ф.* Морфокинетическая характеристика разломов восточной части Сибирской платформы // Разломная тектоника территории Якутской АССР. – Якутск, 1976. С. 136–149.
4. *Мацук М.С., Панкратов А.А., Пономаренко А.И.* Об открытии интрузий, несущих сульфидную никелевую минерализацию на северо-восточном борту Тунгусской синеклизы // Геология рудных месторождений. 1966. № 2. С. 95–97.
5. *Копылова А.Г., Томшин М.Д.* Геохимия траппов восточной части Тунгусской синеклизы // Отечественная геология. 2011. № 5. С. 80–88.
6. *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.
7. *Схема развития траппового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы / М.Д.Томшин, М.И.Лелюх, С.Г.Мишенин и др. // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 19–24.*
8. *Geochemical and isotope characteristics of intrusive traps in the eastern Siberian Platform / M.D.Tomshin, A.G.Kopylova, A.E.Vasilyeva et al. // 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences. 2014. Albena, Bulgaria. Pp. 113–120.*
9. *Sun S. S., McDonough, W.F.* Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Public.* 1989. Vol. 42. Pp. 313–345.