

Петролого-геохимические особенности среднепалеозойских базитов Муно-Тюнгского междуречья

А. Г. Копылова, С. С. Гоголева✉

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация
✉gogoleva_ss@mail.ru

Аннотация

В связи с открытием в пределах Вилюйско-Мархинского дайкового пояса (ВМДП) алмазоносных кимберлитовых трубок резко увеличился интерес к исследованию сопряженных с ними в пространстве и времени продуктов среднепалеозойского базитового магматизма. В результате установлено, что долериты даек, располагающиеся вблизи кимберлитовых трубок, отличаются от основной массы базитов дайкового пояса высоким содержанием титана, и данный признак предложен в качестве критерия поисков кимберлитовых трубок. Это явилось основанием для постановки работ по изучению базитов на северо-восточном окончании ВМДП в районе Муно-Тюнгского междуречья, где отмечены поля россыпных алмазов, характерных для кимберлитовых тел с продуктивной алмазоносностью. При исследовании интрузивов среднепалеозойских базитов Муно-Тюнгского междуречья дайкового пояса были установлены тела высокотитанистых базитов, по своим петрохимическим характеристикам близкие базитам, ассоциирующим с кимберлитами в алмазоносных районах. Они локализируются на флангах дайкового пояса, где действует режим компенсационного сжатия. Это дает основание использовать их в качестве одного из поисковых признаков на кимберлиты и обоснованно считать зоны преимущественного сжатия наиболее перспективными участками для выявления локализации коренных месторождений алмазов.

Ключевые слова: дайковый пояс, высокотитанистые базиты, кимберлиты, россыпные алмазы

Финансирование. Работа выполнена в рамках плана НИР ИГАБМ СО РАН «Мантийный магматизм, эволюция литосферы и рудоносность восточной части Сибирской платформы, геоэкология недропользования (№ FUGG-2024-0007)».

Для цитирования: Копылова А.Г., Гоголева С.С. Петролого-геохимические особенности среднепалеозойских базитов Муно-Тюнгского междуречья. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(2):204–215. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-204-215>

Original article

Petrological and geochemical features of Middle Paleozoic basites in the Muna-Tyung interfluvial region

Albina G. Kopylova, Sargylana S. Gogoleva✉

Diamond and Precious Metal Geology Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
✉gogoleva_ss@mail.ru

Abstract

The discovery of kimberlite pipes containing diamonds in the Viluy-Markha dyke belt led to a surge in interest in studying the products of Middle Paleozoic basic magmatism associated with these pipes in terms of their spatial and temporal characteristics. A distinct group of high-titanium rocks linked to diamond-bearing kimberlites was identified among the basic intrusions, serving as a key indicator for locating kimberlite pipes. This discovery prompted further research on basites and potential areas, such as the northeastern region of the dyke belt within the Muna-Tunga interfluvial region, where alluvial diamonds have been found but their original sources remain unidentified. The presence of

diamond varieties typical of kimberlites with high diamond concentrations in the placer diamonds of this area suggests the possibility of a new kimberlite field. The study of Middle Paleozoic basites in the Muna-Tunga interfluvial region revealed high-titanium basites with similar petrochemical characteristics to those associated with diamond-bearing kimberlites. These basites are situated on the flanks of the dyke belt marked by compensating compression, making them a promising indicator for kimberlite prospecting. This study has demonstrated that areas with preferential compression are highly prospective for identifying primary diamond deposits.

Keywords: dike swarm, high-Ti basites, kimberlites, alluvial diamonds

Funding. This study was conducted as part of the research plan for the DPMGI SB RAS “Mantle magmatism, lithosphere evolution and ore content of the eastern part of the Siberian platform, geocology of subsurface use” (No. FUG-2024-0007).

For citation: Kopylova A.G., Gogoleva S.S. Petrological and geochemical features of Middle Paleozoic basites in the Muna-Tyung interfluvial region. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):204–215. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-204-215>

Введение

Вилуйско-Мархинский дайковый пояс (ВМДП) расположен на северо-западном борту Вилуйского палеорифта [1–3]. В его пределах расположены поля кимберлитовых алмазоносных трубок и многочисленные тела среднепалеозойских базитов [4–6]. При исследовании пород, непосредственно ассоциирующих с кимберлитами, выделена отдельная группа щелочных высокотитанистых базитов [7–9]. Она была предложена в качестве поискового критерия кимберлитовых трубок [9, 10]. Это явилось основанием для постановки работ по изучению базитов в районе Муно-Тюнгского междуречья [11]. На данной территории находится Верхне-Мунское кимберлитовое поле, выделены поля россыпных алмазов и встречается широкий спектр базитов среднепалеозойского возраста [12–14]. Среди россыпных алмазов отмечено повышенное содержание разновидностей, характерных для кимберлитовых тел с продуктивной алмазоносностью, что может свидетельствовать о присутствии в данном регионе нового кимберлитового поля [13, 14]. Вселяет надежду открытие Сюльдюкарского кимберлитового поля на западной периферии ВМДП, которое показало, что перспективными на локализацию продуктивных кимберлитов могут быть территории на его флангах [15].

Петрогеохимические характеристики базитов

Территория Муно-Тюнгского междуречья приурочена к северо-восточному окончанию Вилуйско-Мархинского дайкового пояса (рис. 1). В районе, включающем бассейны рек Тюнг, Муна, Линда и их притоков, ширина дайкового пояса достигает 150 км. На этом фланге пояс базитов, постепенно закругляясь, меняет свое доминирующее направление. В условиях «подвора-

чивающего клина» северного фланга дайкового пояса меняется динамика развития рифтовой структуры, в его периферийных и центральных частях существует разная динамическая обстановка. В разных частях района были проведены замеры трещиноватости пород, которые показали, что режим растяжения в осевых частях рифтовой долины меняется на режим сжатия на фронтальных участках [16]. По структурным особенностям, химическому и геохимическому составу можно выделить центральную и периферийные зоны дайкового пояса. В центральных частях наиболее распространены призматически-офитовые и гломеропорфировые габбро-долериты, выполняющие в основном разломы северо-восточного направления. В зоне максимального растяжения и утонения литосферы располагаются наиболее мощные (до 100 м) тела базитов протяженностью десятки километров, сложенные офитовыми и призматически-офитовыми долеритами. Минеральный состав представлен лабрадором An_{63-57} , умеренно железистым авгитом Fs_{15-18} , оливином, по составу отвечающим гортонолиту Gr_{50-62} , часто замещенному иддингсит-боулинговитом или тальк-магнетитовым агрегатом (рис. 2, а, б). Дополняют минеральный состав рудные минералы (до 6 %) – ильменит, титаномагнетит. Химический и микроэлементный составы пород даек призматически-офитовых габбро-долеритов на исследуемой территории соответствуют среднему составу доминирующей группы пород ВМДП (см. таблицу). Распределение редких элементов, нормированных к составу примитивной мантии [17], пологое, а отсутствие минимума Ta-Nb исключает влияние контаминации материала коры на состав исходных расплавов (рис. 3).

Дайки гломеропорфировых габбро-долеритов располагаются в зоне относительного сжатия в краевых частях рифтовой долины. Мощность даек

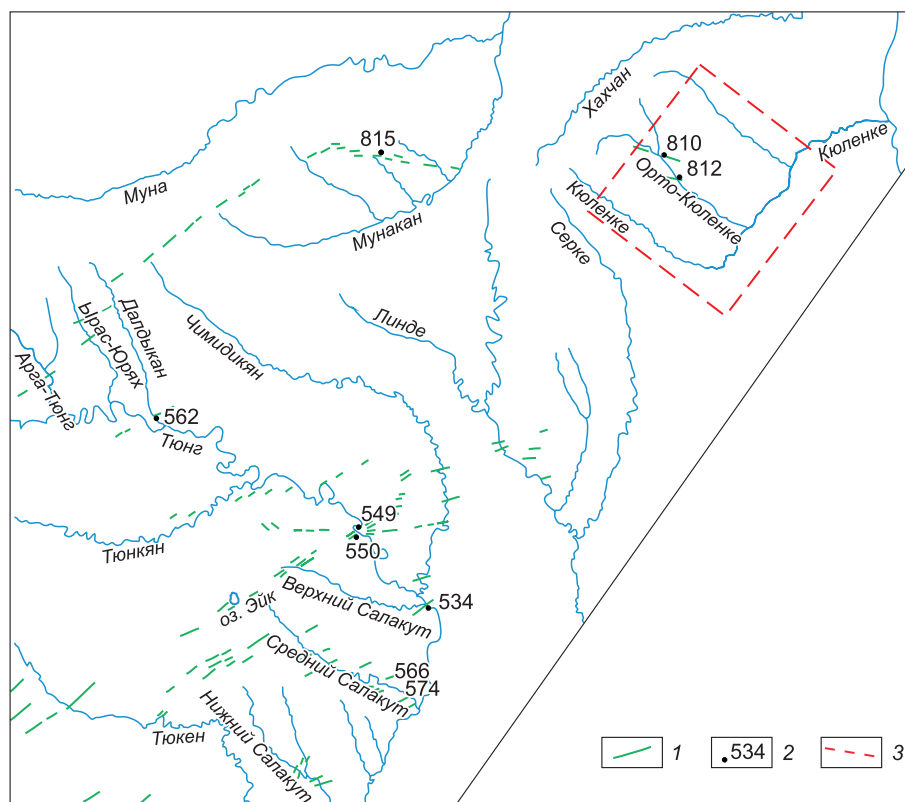


Рис. 1. Схема расположения даек базитов в пределах Муно-Тюнгского междуречья.

1 – дайки среднепалеозойских базитов, 2 – выходы даек долеритов, составы которых приведены в таблице, 3 – контур перспективного участка на открытие кимберлитов

Fig. 1. Scheme of location of basites dikes in the Muno-Tung interfluvial region.

1 – dikes of Middle Paleozoic basites, 2 – outcrops of dolerite dikes, the compositions of which are given in Table, 3 – outline of a promising area for the discovery of kimberlites

уменьшается до 17–20 м, протяженность до первых километров. Прямым петрологическим свидетельством начала кристаллизации магмы в магмовыводящих каналах служит увеличение протофаз (до 10 %) оливина и плагиоклаза (рис. 2, в–е). Наиболее ранние из них представлены битовнитом An_{83-72} , гиалосидеритом Fa_{34} и иногда магнезиальным авгитом $En_{49}Wo_{34}Fs_{17}$. Плагиоклаз ранней генерации обрастает плагиоклазом внутрикамерного этапа кристаллизации. Зональность подобных таблиц охватывает значительный интервал An_{83-60} . Характерной особенностью гломеропорфировых габбро-долеритов является существенная доля (до 6 %) оливина в сложении пород. В основной массе он представлен гортонолитом Fa_{52-59} . Следующая особенность данных пород наличие двух пироксенов – авгита и пижонита. Специфика химического состава гломеропорфировых габбро-долеритов ($Mg\# = 36$) также указывает на то, что их расплав подвергался интенсивной

протокристаллизации до прихода его в гипабиссальную камеру. Следует отметить повышенное содержание Al_2O_3 , обусловленное достаточно высоким значением анортитового компонента в плагиоклазе. По содержанию титана и остальных породообразующих элементов гломеропорфировые габбро-долериты близки призматическо-офитовым долеритам района и вообще рядовым значениям для доминирующих групп среднепалеозойских базитов ВМДП [18]. На классификационной диаграмме $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ (по [19]) составы пород центральных частей Муно-Тюнгского междуречья располагаются в основном в полях нормативно-кварцсодержащих толеитов и только частично в полях субщелочного состава (рис. 4). Наличие этапа докамерной кристаллизации расплава отразилось на закономерном уменьшении содержаний сидерофильных элементов – Ni и Cr, часть которых была удалена из расплава при потере оливина и магнезиального

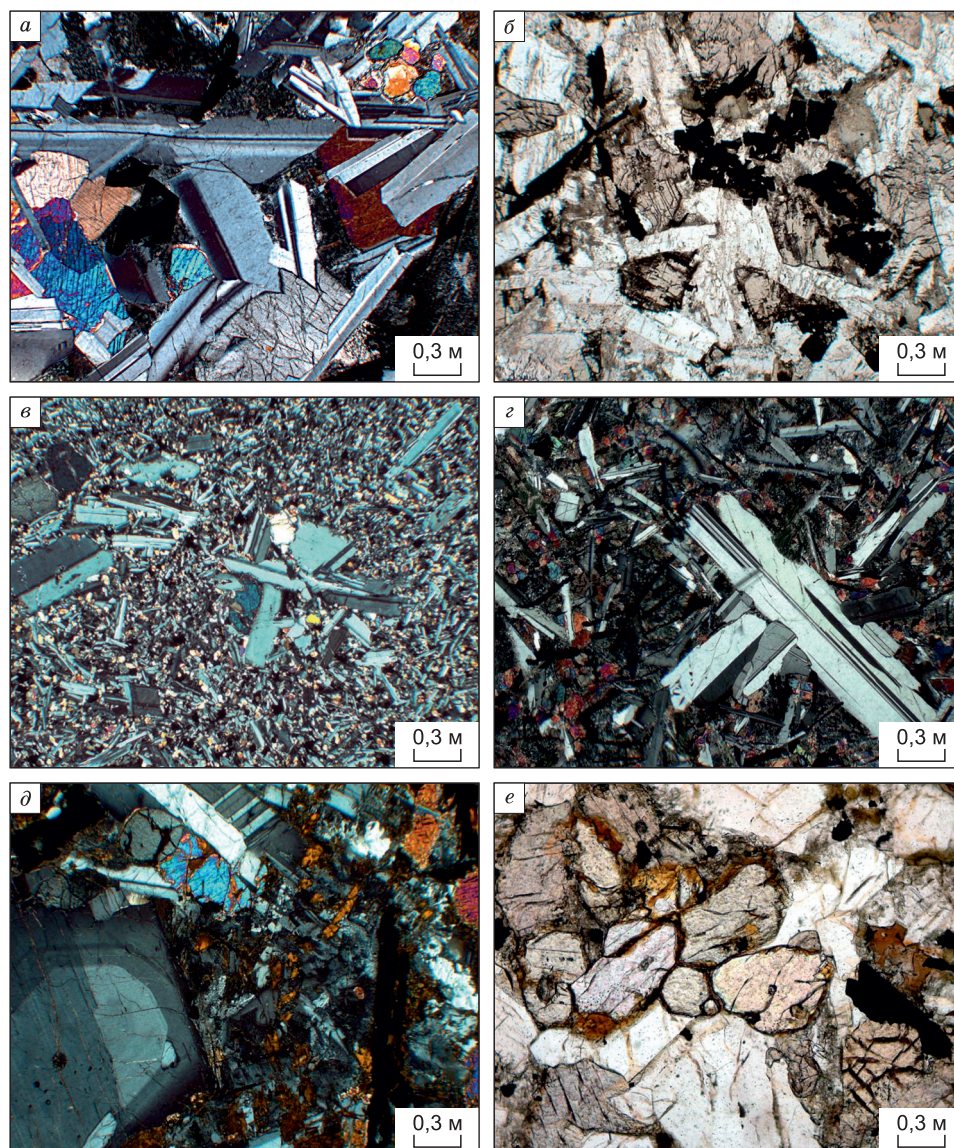


Рис. 2. Габбро-долериты центральных частей Муно-Тюнгского междуречья: *a* – плагиоклаз, клинопироксен, титаномагнетит в призматическо-офитовом габбро-долерите даек (550-8); *б* – кристаллы ильменита в мелкозернистом офитовом долерите, оливин замещен тальк-магнетитовым агрегатом (566-1); *в* – «звездчатое» скопление лейст битовнита в гломеропорфировом габбро-долерите, основная масса – лабрадор, авгит, оливин, ильменит (571-1); *г* – порфировый кристалл плагиоклаза An_{79} и игольчатые выделения ильменита (534-4б); *д* – зональная порфировая таблица плагиоклаза: в центре An_{80-78} , в краевых частях An_{51-48} (534-4л); *е* – агрегат оливина (Fa_{50}), частично замещенного по периферии идингситом (534-4л)

Fig. 2. Gabbro-dolerites of the central parts in the Muno-Tung interfluvial region: *a* – plagioclase, clinopyroxene, titanomagnetite in prismatic-ophite gabbro-dolerite dyke (550-8), *б* – ilmenite crystals (Ilm) in fine-grained ophite dolerite, olivine is replaced by talc-magnetite aggregate (566-1), *в* – “stellate” accumulation of leucite bitovnite in glomeroporphyritic gabbro-dolerite, the bulk is labrador, augite, olivine, ilmenite (571-1), *г* – porphyry crystal of plagioclase An_{79} and needle-like ilmenite secretions (534-4л), *д* – zonal porphyry table of plagioclase: in the center An_{80-78} , in the marginal parts An_{51-48} (534-4л), *е* – is an aggregate of olivine grains (Fa_{50}) partially replaced at the periphery by iddingsite (534-4л)

пироксена. На спайдер-диаграммах концентраций несовместимых элементов отражена положительная аномалия Sr – признак интрузивов, сформированных расплавом, с фракционирова-

нием раннемагматического высококальциевого плагиоклаза [20].

На северном фланге Муно-Тюнгского междуречья дайковый пояс в виде полукруга меняет

Состав базитов Муно-Тюнгского междуречья, мас.%, г/т

Basite content found in the Muna-Tyug interfluve, wt, %, ppm

Компонент	Базиты центральной части дайкового пояса				Базиты периферийных частей дайкового пояса				Среднее	
	549-5	550-5	27/34	534/46	562-4	815-1	812-2	574-1		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	48,40	48,06	48,37	48,84	48,64	49,20	48,37	46,63	48,32	46,47
TiO ₂	2,56	2,75	3,14	3,11	4,5	4,36	5,02	3,89	2,27	4,88
Al ₂ O ₃	13,96	13,84	14,25	15,05	13,32	14,18	15,01	13,73	14,76	14,25
Fe ₂ O ₃	2,86	3,12	6,72	3,38	5,41	4,76	3,52	6,71	3,33	4,84
FeO	11,84	11,83	9,03	12,44	7,49	8,4	9,40	8,46	9,89	8,02
MnO	0,23	0,21	0,24	0,25	0,10	0,15	0,15	0,18	0,17	0,12
MgO	6,48	5,75	4,59	4,97	4,88	5,05	5,16	5,09	5,42	6,31
CaO	9,81	10,8	9,34	9,05	7,41	6,94	6,67	7,4	9,49	7,59
Na ₂ O	2,08	2,11	2,23	2,13	2,85	2,21	2,49	2,49	2,51	2,68
K ₂ O	0,67	0,56	0,82	1,15	2,39	1,91	1,56	2,01	1,40	1,94
P ₂ O ₅	0,29	0,26	0,33	0,32	0,59	0,56	0,55	0,42	0,27	0,53
H ₂ O+	1,31	1,31	1,96	1,66	1,37	1,4	1,66	1,78	1,36	1,83
Сумма	100,4	100,6	100,5	100,3	98,95	99,59	99,6	98,79	99,32	100,41
Mg#	44	41	35	36	41	42	45	38	43	48
Ni	103	88	57	69	38	37	42	51	93	88
Co	57	53	51	48	47	49	44	53	45	46
Cr	149	130	55	54	36	53	71	54	112	152
V	286	352	370	346	326	310	305	442	322	367
Rb	13,4	12,6	20,9	28,8	45,4	46,3	39,1	34,4	21	37
Ba	173,	171	232	304	460	471	445	254	235	359
Th	2,03	2,02	3,21	3,13	5,95	6,10	6,01	3,94	2,02	4,46
U	0,54	0,51	0,80	0,75	1,20	1,25	1,27	0,91	0,60	1,18
Nb	18,2	17,5	28,7	19,6	50,0	34,91	35,0	40,2	22,0	43,5
Ta	1,04	1,09	2,36	1,65	3,92	2,91	3,06	3,14	1,47	2,99
Sr	275	308	360	394	561	497	574	510	562	696
Zr	183	159	264	542	395	380	360	310	185	322
Hf	4,24	3,65	6,31	5,44	7,73	8,65	8,74	7,14	4,52	7,75
Y	32,0	33,3	41,6	40,7	39,4	38,7	34,51	43,2	29,0	27,7
Pb	2,01	1,81	3,21	3,00	6,43	5,73	4,83	2,41	2,33	4,43
La	18,5	18,7	25,5	25,4	46,5	44,6	38,5	34,9	19,69	37,09
Ce	43,3	43,8	57,5	56,4	103	107	95	76,3	45,35	86,48
Pr	5,44	5,43	7,27	7,09	12,86	12,87	12,23	9,56	6,05	11,54
Nd	26,3	26,1	34,8	34,5	60,5	58,8	56,5	44,1	26,21	49,77
Sm	6,21	6,37	8,49	8,11	12,69	13,0	11,8	10,2	6,12	10,54
Eu	2,06	2,20	2,44	2,63	4,02	3,93	3,69	3,02	1,87	3,06
Gd	6,24	6,56	7,91	7,51	10,29	10,07	9,71	8,88	6,12	8,77
Tb	0,88	0,98	1,22	1,12	1,35	1,38	1,31	1,34	0,96	1,21
Dy	5,70	5,49	6,55	6,50	6,86	6,84	6,52	7,61	5,68	6,28
Ho	1,10	1,10	1,39	1,34	1,35	1,31	1,22	1,50	1,17	1,16
Er	2,95	3,05	3,71	3,72	3,41	3,42	3,16	4,09	3,05	2,78
Tm	0,48	0,46	0,62	0,57	0,50	0,52	0,47	0,65	0,45	0,37
Yb	2,77	2,99	3,34	3,59	2,86	2,75	2,58	3,44	2,79	2,20
Lu	0,39	0,43	0,47	0,49	0,36	0,41	0,30	0,49	0,41	0,30

Компонент	Базиты центральной части дайкового пояса				Базиты периферийных частей дайкового пояса				Среднее	
	549-5	550-5	27/34	534/46	562-4	815-1	812-2	574-1		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΣREE	122	124	161	161	240	267	243	206	125,9	221,56
$(\text{La/Yb})_n$	4,79	4,5	5,15	5,08	13,6	10,7	10,1	6,86	5,07	12,12
Eu/Eu^*	1,01	1,04	0,90	1,03	0,92	1,05	1,02	0,95	0,92	0,95
Nb/Nb^*	1,4	0,76	1,15	0,8	1,1	0,77	0,83	1,24	1,29	1,22
$(\text{Tb/Yb})_n$	1,44	1,49	1,66	1,42	2,41	2,31	2,15	1,77	1,56	2,42

Примечание. Редкие элементы анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Elan 6100 DRC в стандартном режиме (ICP-MS) (ИМГРЭ РАН, Д.З. Журавлев). Анализы: 1, 2 – призматически-офитовые долериты, 3, 4 – гломеропорфировые габбро-долериты, 5–7 – плагиодолериты, 8 – долериты низовьев р. Ср. Салакут, средние данные: 9 – типичные базиты ВМДП (из 8 анализов), 10 – высокотитанистые базиты, ассоциирующие с кимберлитовыми трубками (из 6 анализов). $\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_n / (\text{Sm}_n \times \text{Gd}_n)^{1/2}$, $\text{Nb/Nb}^* = 0,3618 \times \text{Nb} / \sqrt{(\text{La} \cdot \text{Th})}$, n – нормализовано по хондриту [17].

Note. Trace elements were analyzed by (ICP-MS) with an Elan 6100 DRC (Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Element, D.Z. Zhuravlev), analyses: 1, 2 – prismatic-ophitic dolerites, 3, 4 – glomeroporphyritic gabbro-dolerites, 5–7 – plagiodolerites, 8 – dolerites of the lower reaches of the Wed Salakut River, 9 – typical basites of the VMDS (from 8 analyses), 10 – high-titanium basites associated with kimberlite pipes (from 6 analyses). $\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_n / (\text{Sm}_n \times \text{Gd}_n)^{1/2}$, $\text{Nb/Nb}^* = 0.3618 \times \text{Nb} / \sqrt{(\text{La} \cdot \text{Th})}$, n – normalized by chondrite [17].

свое преобладающее северо-восточное направление на субширотное восточное и, далее, на юго-восточное. Здесь происходит смена условий доминирующего растяжения на режим устойчивого компенсационного сжатия [21]. Следствием этого процесса является задержка расплава и начало кристаллизации его в магмопроводнике. Пе-

трологическим доказательством служит образование специфического роя маломощных даек щелочных плагиодолеритов. Мощность даек изменяется от 1–2 до 25–30 м, протяженность тел первые километры. Эта цепь тел, протянувшаяся на 230 км от р. Арга-Тюнг по водоразделу р. Чимидикян с р. Муна до р. Кюленке, получила на-

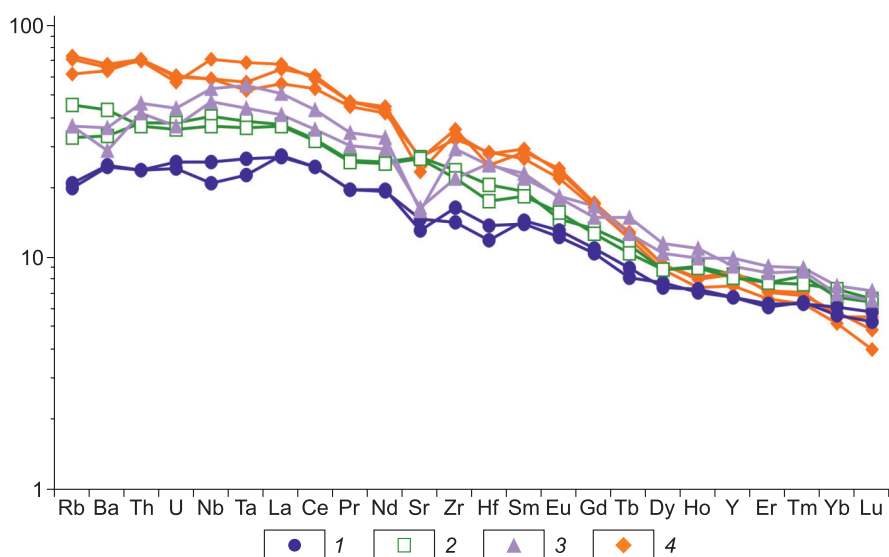


Рис. 3. Распределение редких элементов в базитах Муно-Тюнгского междуречья. Нормировано по примитивной мантии [17].

1 – призматически-офитовые габбро-долериты, 2 – гломеропорфировые габбро-долериты, 3 – долериты даек низовьев р. Ср. Салакут, 4 – плагиодолериты северной части Муно-Тюнгского междуречья

Fig. 3. Distribution of rare elements in the basites in the Muno-Tung interfluvium. Normalized by primitive mantle [17].
1 – prismatic-ophite gabbro-dolerites, 2 – glomeroporphyritic gabbro-dolerites, 3 – dolerites of dikes of the lower reaches of the Salakut River, 4 – plagiodolerites of the northern part of the Muno-Tung interfluvium

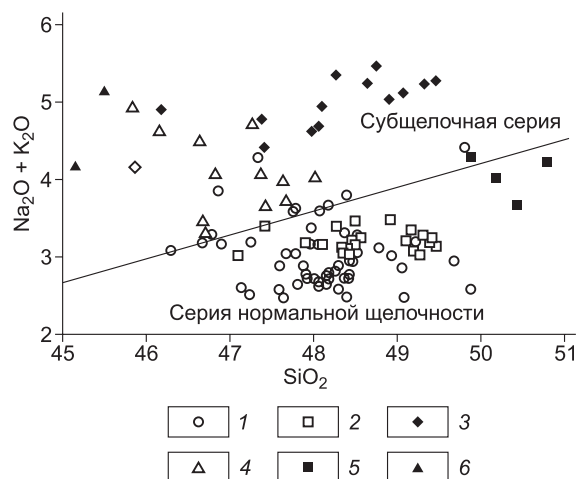


Рис. 4. Диаграмма $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для базитов Муно-Тюнгского междуречья (по [19]).

1 – призматически-офитовые габбро-долериты; 2 – гломеропорфировые габбро-долериты; 3 – плагиодолериты северной части Муно-Тюнгского междуречья; 4 – долериты даек низовьев р. Ср. Салакут; 5 – лейкократовые долериты; 6 – щелочные долериты береговых обнажений юго-восточной части Муно-Тюнгского междуречья

Fig. 4. $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ diagram for the basites in the Muno-Tung interfluvial region [by 19].

1 – prismatic-ophite gabbro-dolerites, 2 – glomeroporphyritic gabbro-dolerite, 3 – plagiodolerites of the northern part of the Muno-Tung interfluvial, 4 – dolerites of dikes of the lower reaches of the Salakut River, 5 – leucocratic dolerites and 6 – alkaline dolerites of coastal outcrops of the southeastern part of the Muno-Tung interfluvial

звание Чимидикянского роя даек. Признаки интенсивного фракционирования расплава в докамерной близповерхностной обстановке проявились появлением в долеритах значительных количеств (до 30 %) протофаз плагиоклаза, а привнос калия в эволюционирующую систему является причиной активной его калишпатизации (рис. 5, а–г). Плагиоклаз представлен лабрадором (An_{62-51}), состав клинопироксена отвечает авгиту ($\text{Wo}_{42-37}\text{En}_{42-40}\text{Fs}_{22-17}$) и практически нет оливина. Химический состав пород Чимидикянского роя характеризует высокое содержание щелочей ($\geq 4\%$). На диаграмме кремнезем–сумма щелочей все точки составов плагиодолеритов полностью располагаются в поле субщелочных базитов (см. рис. 4). Гравитационное осаждение ранних темноцветных минералов обусловило пониженное содержание в плагиодолеритах Mg, Fe, Ni, Co, Cr (см. таблицу). В то же время они обогащены титаном, фосфором, а также Zr, Hf, Ta, Nb, Th, U, охотно входящими в состав ильме-

нита, сфена и апатита (см. таблицу). Сумма REE возрастает (до 267) в основном за счет легких редкоземельных элементов, накапливающихся в объеме плагиоклаза, необычно большом для базитов. Об активном влиянии флюидной фазы свидетельствует повышенное содержание легкоподвижных крупноионных литофилов – K, Rb, Ba, Pb. В качестве индикатора глубины плавления используется отношение $(\text{Tb}/\text{Yb})_n$, которое превышает значение 1,8 в магмах, формирующихся в глубинных условиях в присутствии граната. Более низкие значения этой величины характерны для расплавов, равновесных со шпинелью [22]. Величина отношения $(\text{Tb}/\text{Yb})_n = 2,15\text{--}2,41$ для плагиодолеритов существенно выше, чем для других пород района, что свидетельствует о формировании расплава плагиодолеритов в наиболее глубинных условиях.

Юго-восточная периферийная часть дайкового пояса, примыкающая к рифтовой долине, включает территорию низовьев рек Верхний, Средний и Нижний Салакуты – правых притоков р. Тюнг. Среди расположенных здесь даек также встречаются интрузивы с повышенным содержанием титана. В приустьевой части р. Средний Салакут отмечены дайки призматически-офитовых долеритов с содержанием в среднем около 4 % TiO_2 . Основная часть даек сложена лабрадором, титансодержащим авгитом и оливином, часто замещенным тальк-магнетитовым агрегатом. Рудные минералы (~6 %) представлены титаномagnetитом и ильменитом. Химический состав отличается низкой кремнекислотностью, магнизиальностью, пониженной кальциевостью, при довольно высоком содержании TiO_2 , $\text{FeO}_{\text{общ}}$, повышенном K_2O и P_2O_5 . Для долеритов даек характерно низкое содержание сидерофильных элементов и относительно повышенные доли крупноионных литофильных элементов – Ba, Sr, Zr, Nb.

Дайки лейкократовых щелочных долеритов с содержанием титана $> 4\%$ установлены в береговых обнажениях правых притоков р. Тюнг – рек Нижний Салакут и Тас-Юрях [23, 24]. В этом же районе при бурении вскрыта дайка лейкократовых долеритов, на 65 % сложенная преимущественно андезиновым (An_{54-37}) плагиоклазом. Клинопироксен полностью замещен хлоритом и роговой обманкой, оливин отсутствует. Значительная часть объема породы выполнена кварцем, калиевым полевым шпатом и микропегматоидным агрегатом (см. рис. 3, д, е). В межзерновом

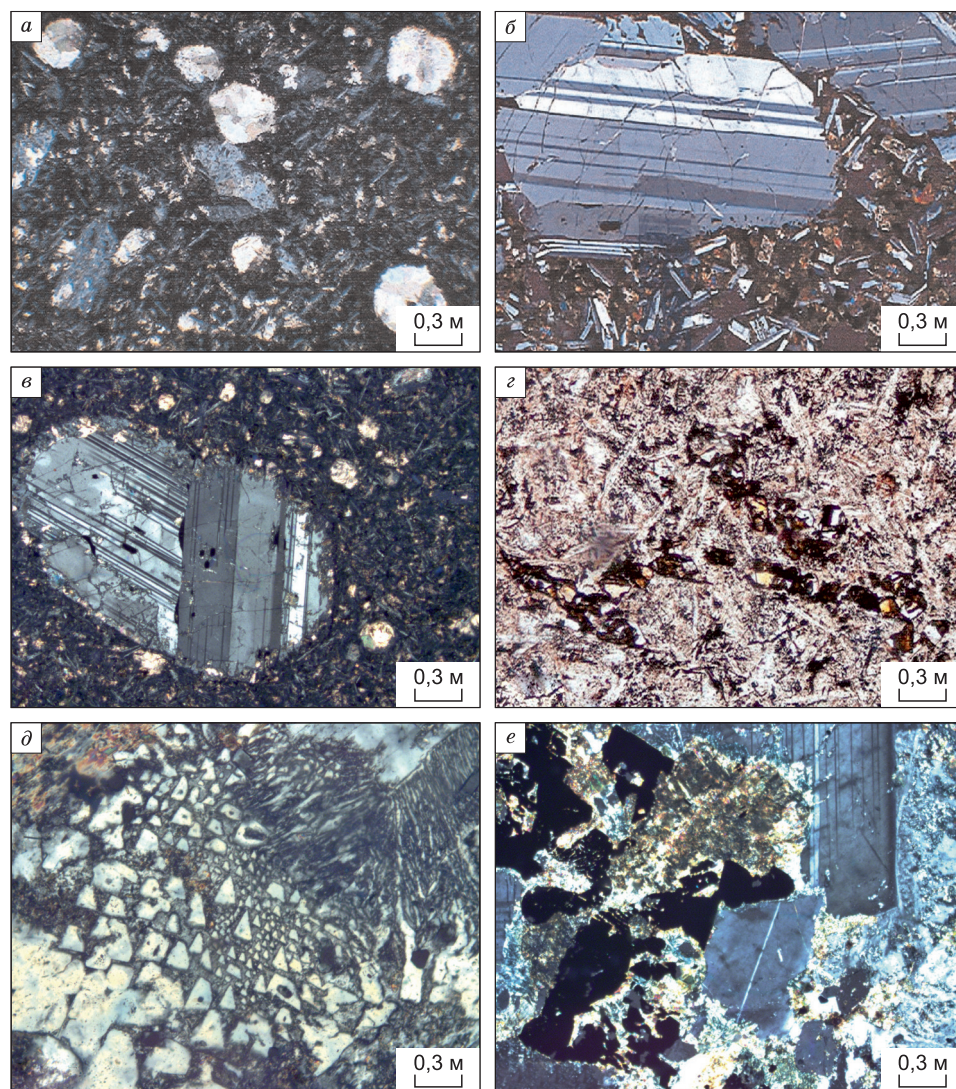


Рис. 5. Плагидолериты (а-г) и щелочные долериты (д, е) краевых частей Муно-Тюнгского междуречья: а – краевой миндалекаменный плагидолерит, миндалины выполнены карбонатом (561-6); б – скопление оплавленных порфировых таблиц плагиоклаза (An_{60-51}) (561-5); в – таблица плагиоклаза, замещенная по периферии калишпатом (561-2); г – кристаллы сфена различной морфологии в плагидолерите (561-2); д – микрографическое срастание кварца с полевым шпатом, псевдоморфозы хлорита и роговой обманки по пироксену в лейкократовом долерите (187/88); е – призмы плагиоклаза (An_{54-37}), кристаллы титаномagnetита в кварц-полевошпатовом и хлорит-амфиболовом метастазисе (187/88)

Fig. 5. Plagioclaserites (a–g) and alkaline dolerites (d, e) of the marginal parts in the Muno-Tung interfluvial region: a – marginal amygdala–stone plagioclaserite, tonsils are made of carbonate (561-6), b – accumulation of fused porphyry plagioclase tables (An_{60-51}) (561-5), v – plagioclase table replaced on the periphery by kalishpate (561-2), g – sphenes of various morphologies in plagioclaserite (561-2), d – micrographic coalescence of quartz with feldspar, pseudomorphs of chlorite and hornblende by pyroxene in leucocrate dolerite (187/88), e – prisms plagioclase (An_{54-37}), titanomagnetite crystals in quartz-feldspar and chlorite-amphibole metastasis (187/88)

пространстве располагаются крупные кристаллы апатита (до 1,2 %) и титаномagnetит. В отличие от щелочных долеритов береговых обнажений, долериты скважины относятся к насыщенным кремнекислотой породам с повышенным содержанием железа, калия, фосфора и низкой магнезиальностью.

Результаты и обсуждение

При исследовании базитов ВМДП в районе Муно-Тюнгского междуречья были установлены группы тел, объединенные одинаковыми геодинамическими условиями формирования и вещественными характеристиками. Они наглядно иллюстрируют наличие латеральной зонально-

сти, проявленной вкрест простирания дайковых поясов. На периферийных участках дайкового пояса в зонах преобладающего режима сжатия локализованы дайки высокотитанистых базитов. По своим петрохимическим характеристикам они близки базитам, ассоциирующим с кимберлитами в алмазоносных районах, что дает основание использовать их в качестве одного из поисковых признаков на кимберлиты и обоснованно считать зоны преимущественного сжатия наиболее перспективными участками для выявления локализации коренных месторождений алмазов. Геохимические характеристики пород указывают на то, что они являются производными глубинного гранатосодержащего мантийного источника.

Исследуемые базиты располагаются в пределах Верхне-Тюнгского россыпного поля алмазов [14]. Наиболее значительные россыпи алмазов в Муно-Тюнгском районе установлены в пределах распространения Чимидикянского роя даек плагиодолеритов, охватывая район от р. Арга-Тюнг, захватывая верховья рек Чимидикян и Мунакан и протягиваясь до р. Орто-Кюленке. При этом в россыпном поле отмечено повышенное содержание разновидностей алмазов, обычно характерных для алмазоносных трубок [15]. На основании изучения структурных дефектов алмазов предполагается, что россыпи района сформированы за счет локальных коренных источников кимберлитового типа, но при этом они отличаются от алмазов кимберлитовых тел Верхнемунского поля [25, 26].

Такие данные могут свидетельствовать о перспективах района локализации плагиодолеритов северной части Муна-Тюнгского района на открытие нового продуктивного кимберлитового поля. К этому стоит добавить то обстоятельство, что и в алмазоносном Среднемархинском, и в исследуемом Муно-Тюнгском районе большинство тел базитов формировалось в пределах 368–376 млн лет до внедрения кимберлитов. Посткимберлитовое время характеризуется образованием на алмазоносной территории тел высокотитанистых околокимберлитовых долеритов более молодого возраста (341–352 млн лет) [3]. И для плагиодолеритов северной части района установлены близкие к ним возрасты (329, 339 млн лет). Кроме того, в центральных частях района встречены двухфазные дайки. По одному из таких двухфазных тел выполнено изотопное датирование. Возраст первой фазы – 367, второй – 346 млн лет. Это слу-

жит основанием считать, что активизация базитовой магматической деятельности на Муно-Тюнгской площади также происходила дважды. Сохраняет перспективы открытия кимберлитовых тел и территория юго-восточного фланга, особенно низовья рек Средний и Нижний Салакуты, где также установлены дайки высокотитанистых долеритов.

Заключение

В результате исследования установлена латеральная зональность вещественного состава базитов, обусловленная сменой режима растяжения в центральных районах на преобладающий режим сжатия на участках периферии. Определен перспективный район на поиски продуктивных кимберлитовых тел, выделенный по наличию даек высокотитанистых базитов, приуроченный к зоне преимущественного сжатия и совпадающий с аллювиальной россыпью алмазов.

Список литературы / References

1. Гайдук В.В. *Вилуйская среднепалеозойская рифтовая система*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1988. 128 с.
Gayduk V.V. *Vilyui Middle Paleozoic rift system*. Yakutsk: YaSC SB USSR; 1988. 128 p. (In Russ.)
2. Polyansky O.P., Prokopiev A.V., Koroleva O.V., et al. Temporal correlation between the formation of dyke swarms and crustal extension in the middle Palaeozoic Vilyui rift basin, Siberian platform. *Lithos*. 2017;282-283:45–64. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.02.020>
3. Томшин М.Д., Копылова А.Г., Константинов К.М., Гоголева С.С. Базиты Вилуйского палеорифта. Геохимия и последовательность становления. *Геология и геофизика*. 2018;59(10):1503–1518. <https://doi.org/10.15372/GiG20181002>
4. Tomshin M.D., Kopylova A.G., Konstantinov K.M., Gogoleva S.S. Basites of the Vilyui paleorift: Geochemistry and sequence of intrusive events. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(10):1204–1216. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.09.002>
5. Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П. и др. Особенности магматических образований Накынского кимберлитового поля Якутской провинции. *Геология и геофизика*. 1998;39(2):1693–1703.
6. Tomshin M.D., Fomin A.S., Kornilova V.P., et al. Features of magmatic formations of the Nakyn kimberlite field of the Yakut province. *Russian Geology and Geophysics*. 1998;39(2):1693–1703. (In Russ.)
7. Машак М.С., Наумов М.В., Леухин В.И. и др. Среднепалеозойский базитовый магматизм Марха-Тюнгского междуречья (Накынский кимберлитовый поле). *Региональная геология и металлогения*. 2004; (20):122–138.

- Mashchak M.S., Naumov M.V., Leukhin V.I., et al. Middle Paleozoic basic magmatism in the Nakyn Kimberlite Area (the Markha-Tjung interfluvium). *Regional Geology and Metallogeny*. 2004;(20):122–138. (In Russ.)
6. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Иванов А.В., Егоров К.Н. Пространственно-временные отношения среднепалеозойских базитов и алмазоносных кимберлитов на северо-западном плече Вилуйского рифта (Сибирский кратон). *Геология и геофизика*. 2014; 55(2):185–196.
- Kiselev A.I., Ivanov A.V., Egorov K.N., Yarmolyuk V.V. Middle paleozoic basaltic and kimberlitic magmatism in the northwestern shoulder of the Vilyui rift, Siberia: Relations in space and time. *Russian Geology and Geophysics*. 2014;55(2):144–152.
7. Томшин М.Д., Зайцев А.И., Земнухов А.Л., Копылова А.Г. Характер становления базитов в Накынском кимберлитовом поле (Якутия). *Отечественная геология*. 2004;(5):39–43.
- Tomshin M.D., Zaitsev A.I., Zemnukhov A.L., Kopylova A.G. Character of basite formation in Nakyn kimberlite field, Yakutia. *Otechestvennaya geologiya*. 2004;(5): 39–43. (In Russ.)
8. Копылова А.Г., Земнухов А.Л., Томшин М.Д. Петрохимические особенности щелочных базитов Накынского кимберлитового поля. *Отечественная геология*. 2005;(5):65–73.
- Kopylova A.G., Zemnukhov A.L., Tomshin M.D. Petrochemical features of alkaline mafic rocks of the Nakyn kimberlite field. *Otechestvennaya geologiya*. 2005;(5): 65–73. (In Russ.)
9. Земнухов А.Л., Зайцев А.И., Копылова А.Г. и др. Базитовый магматизм Ханья-Накынского междуречья. В кн.: Зинчук Н.Н. (ред.). *Геология алмазов – настоящее и будущее*. Воронеж: ВГУ; 2005. С. 482–494.
- Zemnukhov A.L., Zaitsev A.I., Kopylova A.G., et al. Basic magmatism of Khanna-Nakyn interfluvium. In: Zinchuk N.N. (ed.). *Geology of diamond – the present and the future*. Voronezh: VGU; 2005, pp. 482–494. (In Russ.)
10. Томшин М.Д., Гоголева С.С. Высокотитанистые долериты как новый критерий поисков кимберлитов. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(4):499–513. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-1-15>
- Tomshin M. D., Gogoleva S. S. High-titanium dolerites as a new criterion for kimberlite prospecting. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(4):499–513. (In Russ.). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-499-513>
11. Копылова А.Г., Томшин М.Д. Базитовый магматизм Среднесалакутского района. *Наука и образование*. 2008;52(4):27–33.
- Kopylova A.G., Tomshin M.D. Maphic magmatism in the Middle Salakut Region. *Nauka i obrazovaniye*. 2008;52(4):27–33. (In Russ.)
12. Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А. и др. *Россыпи алмазов России*. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео»; 2007. 454 с.
- Grakhanov S.A., Shatalov V.I., Shtyrov V.A., et al. *Diamond placers of Russia*. Novosibirsk: Geo; 2007. 454 p. (In Russ.)
13. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. *Типоморфизм алмазов Сибирской платформы*. Москва: Недра; 2003. 603 с.
- Zinchuk N.N., Koptil' V.I. *Typomorphism of the Siberian platform diamonds*. Moscow: Nedra; 2003. 603 p. (In Russ.)
14. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Особенности алмазов из россыпей Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования их коренных источников. В кн.: *Геология алмазов – настоящее и будущее*. Воронеж: ВГУ; 2005. С. 1020–1050.
- Zintchouk N.N., Koptil' V.I. Specific features of diamonds from the Siberian platform's placers (in connection with forecasting problem of their primary sources). In: *Geology of diamond – the present and the future*. Voronezh: VGU; 2005, pp.1020–1050. (In Russ.)
15. Проценко Е.В., Горев Н.И. К вопросу о перспективах коренной алмазоносности северо-восточного фланга Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны В кн.: *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х томах, г. Якутск, 10–12 апреля 2019 года. Том 1*. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2019. С. 160–165.
- Protsenko E.V. Gorev N.I. Prospects for the primary diamond content of the northeastern flank of the Vilyuisk-Markhinskaya mineragenic zone. In: *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Proceedings of the 9th All-Russian scientific and practical conference: in 2 volumes, Yakutsk, 10–April 12, 2019. Volume 1*. Yakutsk: NEFU Publishing House; 2019, pp. 160–165. (In Russ.)
16. Калинин А.И., Земнухов А.Л. Тектоническое подтверждение латеральной зональности северо-восточной части Вилуйско-Мархинского дайкового пояса. В кн.: *Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, г. Томск, 06–10 апреля 2020 года*. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет; 2002. С. 121–122.
- Kalinin A.I., Zemnukhov A.L. Tectonic confirmation of the lateral zoning of the northeastern part of the Vilyui-Markhinsky dike belt. In: *Problems of geology and subsoil development: proceedings of the 24th International Symposium named after Academician M.A. Usov students and young scientists, dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War, Tomsk, April 06–10, 2020*. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University. 2002, pp. 121–122. (In Russ.)

17. Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D., Norry M.J. (eds.). *Magmatism in ocean basins. Geological Society. Special Publications*. 1989;(42), pp. 313–345.
18. Гоголева С.С., Копылова А.Г. Петролого-геохимическая характеристика базитов Тенкеляхской площади. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019;24(1):33–43. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-1-33-42>
- Gogoleva S.S., Kopylova A.G. Petrological and geochemical characteristics of the basites of the Tenkelyakh area. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2019;24(1): 33–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-1-33-42>
19. Богатиков О.А., Гоньшакова В.И., Ефремова С.В. и др. *Классификация и номенклатура магматических горных пород*. М.: Недра; 1981. 160 с.
- Bogatikov O.A., Gonshakova V.I., Efremova S.V., et al. *Classification and nomenclature of igneous rocks*. Moscow: Nedra; 1981. 160 p. (In Russ.)
20. Drake M.J., Weill D.F. Partition of Sr, Ba, Ca, Y, Eu⁺², Eu⁺³, and other REE between plagioclase feldspar and magmatic liquid: an experimental study. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*. 1975;39(5):689–712. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(75\)90011-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(75)90011-3)
21. Олейников Б.В., Томшин М.Д., Копылова А.Г., Рихванов Л.П. Петролого-геохимические черты латеральной зональности базитов среднепалеозойских палеорифтов Сибирской платформы. *Отечественная геология*. 1997;(9):3–7.
- Oleynikov B.V., Tomshin M.D., Kopylova A.G., Rikhvanov L.P. Petrologo-geokhimicheskiye cherty lateral'noy zonal'nosti bazitov srednepaleozoyskikh paleoriftov Sibirskoy platformy. *Otechestvennaya geologiya*. 1997;(9):3–7. (In Russ.)
22. Wang K., Plank T., Walker J.D., Smith E.L. A mantle melting profile across the Basin and Range, SW USA. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2002; 107(B1). <https://doi.org/10.1029/2001JB000209>.
23. Олейников Б.В., Саввинов В.Т. Пространственно-временная эволюция траппового магматизма в пределах Вилуйско-Мархинской и Жиганской магмоподводящих зон. В кн.: Ковальский В.В., Олейников Б.В. (ред.). *Магматические образования северо-востока Сибирской платформы: (геология, петрография, минералогия и геохимия)*. Якутск; 1975. С. 73–98.
- Oleynikov B.V., Savvinov V.T. Spatiotemporal evolution of trap magmatism within the Vilyui-Markha and Zhigansk magma supply zones. In: Kovalsky V.V., Oleynikov B.V. (eds.). *Igneous formations of the northeast of the Siberian platform: (geology, petrography, mineralogy and geochemistry)*. Yakutsk; 1975, pp. 73–98. (In Russ.)
24. Копылова А.Г., Гоголева С.С. Базиты Тюнго-Мунского междуречья. В кн.: *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Матер. XII ВНИК*. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2022. С. 72–76.
- Kopylova A.G., Gogoleva S.S. Basites of Tyungo-Muna interfluece. In: *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Proceedings of the 12th VNPk*. Yakutsk: NEFU Publishing House; 2022, pp. 72–76. (In Russ.)
25. Хачатрян Г.К., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Структурные дефекты в алмазах северо-востока Сибирской платформы и их типоморфное значение. В кн.: *Геология алмазов – настоящее и будущее*. Воронеж: ВГУ; 2005. С. 1607–1615.
- Khachatryan G.K., Zinchuk N.N., Koptil' V.I. Structural defects in diamonds of the northeast of the Siberian platform and their typomorphic significance. In: *Geology of diamond – the present and the future*. Voronezh: VGU; 2005, pp.1607–1615. (In Russ.)
26. Уханов А.В., Никольская Н.Е., Галимов Э.М. и др. Изотопный состав углерода алмазов коренных и россыпных месторождений Якутской алмазоносной провинции. В кн.: *Геология алмазов – настоящее и будущее*. Воронеж: ВГУ; 2005. С. 1095–1111.
- Ukhanov A.V., Nikol'skaya N.Ye., Galimov E.M., et al. Carbon isotope composition of diamonds from primary and alluvial deposits of the Yakut diamond-bearing province. In: *Geology of diamond – the present and the future*. Voronezh: VGU; 2005, pp. 1095–1111. (In Russ.)

Об авторах

КОПЫЛОВА Альбина Георгиевна, научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6577-9615>, SPIN: 4639-4246, e-mail: Kopylova@diamond.ysn.ru

ГОГОЛЕВА Саргылана Семеновна, ведущий инженер, <https://orcid.org/0000-0002-1043-3710>, SPIN: 1231-9190, e-mail: gogoleva_ss@mail.ru

Вклад авторов

Копылова А.Г. – разработка концепции, методология, проведение исследования, проведение статистического анализа, руководство исследованием, администрирование проекта, редактирование рукописи, получение финансирования

Гоголева С.С. – программное обеспечение, верификация данных, проведение исследования, визуализация, создание черновика рукописи, получение финансирования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

KOPYLOVA, Albina Georgievna, Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6577-9615>, SPIN: 4639-4246, e-mail: Kopylova@diamond.ysn.ru

GOGOLEVA, Sargylana Semenovna, Leading Engineer, <https://orcid.org/0000-0002-1043-3710>, SPIN: 1231-9190, e-mail: gogoleva_ss@mail.ru

Authors' contribution

Kopylova A.G. – conceptualization, methodology, investigation, formal analysis, supervision, project administration, review & editing, funding acquisition

Gogoleva S.S. – software, validation, investigation, visualization, original draft, funding acquisition

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 01.08.2023

Поступила после рецензирования / Revised 20.02.2024

Принята к публикации / Accepted 15.03.2024