НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Геология и полезные ископаемые

CC BY 4.0

УДК 552.325(551.24):553.81
https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-353-364

Оригинальная статья

Перспективы территории Чаро-Синского дайкового пояса на обнаружение кимберлитов по геохимическим особенностям базитов

М. Д. Томшин, А. В. Толстов, А. И. Журавлев✉

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация
✉*Ai.zhuravlevgeo@gmail.com*

Аннотация
Проблема поисков кимберлитов в закрытых территориях на сегодня остается весьма актуальной, поскольку легко открываемых, имеющих выход на дневную поверхность и хорошо читаемых в геофизических полях объектов в пределах Якутской алмазоносной провинции практически не осталось. Поэтому при постановке поисковых работ на алмазоносные кимберлиты требуется новый – не традиционный (геологический, минералогический, структурный и т. п.) подход. Установлено, что в долеритах даек Вилюйско-Мархинского пояса, располагающихся вблизи кимберлитов (Накынское, Мало-Ботуобинское и Сюльдюкарское кимберлитовые поля), содержание оксида титана ряда высокозарядных и редкоземельных элементов (Th, Ta, Hf, Nd, Tb, Gd) увеличивается в два раза и более по сравнению с типичным их содержанием в целом в долеритах полей. Эту особенность в поведении названных элементов предложено использовать как один из поисковых на кимберлиты критериев. Учитывая факт наличия в пределах Чаро-Синского дайкового пояса долеритов с аномально повышенным количеством оксида титана и ряда высокозарядных (Th, Hf, Ta, Zr, Y), редкоземельных (Nd, Tb, Gd) элементов, проведено сравнительное изучение долеритов даек вблизи этих тел. Установлено, что в сторону от дайки с максимальным содержанием реперных элементов их концентрация постепенно уменьшается. Предложено считать такие участки перспективными на обнаружение кимберлитов. К подобным участкам отнесены территории в пределах Чаро-Ленского междуречья и правобережья р. Лена напротив п. Синск. Полученные в работе результаты и выделенные участки предложено рекомендовать геолого-производственным предприятиям для постановки поисковых работ на кимберлиты на конкретных, локальных территориях.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Вилюйский палеорифт, дайковые пояса, долериты, кимберлиты, поиски кимберлитов

Финансирование. Работа выполнена в рамках планов НИР государственного задания ИГАБМ СО РАН (проект № FUFG-2024-0007).

Для цитирования: Томшин М.Д., Толстов А.В., Журавлев А.И. Перспективы территории Чаро-Синского дайкового пояса на обнаружение кимберлитов по геохимическим особенностям базитов. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2025;30(3):353–364. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-353-364

© Томшин М. Д., Толстов А. В., Журавлев А. И., 2025

Original article

Prospects for discovering kimberlites in the Charo-Sinsk dike swarm territory based on the geochemical features of basites

Mikhail D. Tomshin, Alexander V. Tolstov, Anatolii I. Zhuravlev✉

Diamond and Precious Metals Geology Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
✉*Ai.zhuravlevgeo@gmail.com*

Abstract
The search for kimberlites in covered territories remains highly relevant today, as there are no longer any easily accessible kimberlite objects within the Yakut diamond-bearing province that are exposed at the surface and clearly visible in geophysical fields. Therefore, planning search operations for diamond-bearing kimberlites requires a novel, integrative approach that combines geological, mineralogical, structural, and other criteria. We found that in the dolerites of the Vilyui-Markhinsky belt—located near kimberlites in the Nakynskoye, Malo-Botuobinskoye, and Syuldyukarskoye kimberlite fields—the content of titanium oxide and several high field strength and rare earth elements (Th, Ta, Hf, Nd, Tb, Gd) is approximately twice as high compared to their typical content in dolerites of the kimberlite fields overall. We propose using this feature of the above-mentioned elements as one of the criteria for kimberlite searching. Considering the presence of dolerites with unusually high concentrations of titanium oxide and several high field strengths (Th, Hf, Ta, Zr, Y) and rare earth (Nd, Tb, Gd) elements within the Charo-Sinsk dike swarm, a comparative study of dolerites from dikes near these bodies was conducted. A gradual decrease in the concentration of these reference elements was observed with increasing distance from the dike exhibiting the maximum element content. We suggest considering such areas as promising targets for kimberlite discovery. Specifically, areas within the Charo-Lensky interfluve and the right bank of the Lena River opposite the village of Sinsk are classified as prospective. The results obtained in this study and the identified target areas are recommended to geological and mining companies for conducting focused exploration of kimberlites in these specific local areas.

Keywords: Siberian platform, Vilyui paleorift, dike swarm, dolerites, kimberlites, kimberlite search
Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment for the DPMGI SB RAS (project No. FUFG-2024-0007).
For citation: Tomshin M.D., Tolstov A.V., Zhuravlev A.I. Prospects for discovering kimberlites in the Charo-Sinsk dike swarm territory based on the geochemical features of basites. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2025;30(3):353–364. (In Russ.); https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-353-364

Введение

Легко открываемых, тем более выходящих на дневную поверхность, кимберлитовых трубок на сегодня на территории Якутской алмазоносной провинции не осталось. В настоящее время внимание геологов обращено на так называемые закрытые территории, т. е. территории, где потенциально кимберлитовмещающие породы перекрыты более молодыми образованиями. На западе и в центральной части провинции – это области распространения площадных траппов пермо-триасового возраста, а на юге, в районе сочленения Алданской антеклизы и Вилюйской синеклизы – юрско-меловые отложения.

Ранее при изучении базитов Западной Якутии было установлено, что в долеритах Вилюйско-Мархинского дайкового пояса (ВМДП), располагающихся в контурах полей кимберлитов (Мало-Ботуобинского, Накынского и Сюльдюкарского), содержание оксида титана и ряда высокозарядных и редкоземельных элементов (Th, Ta, Hf, Y, Nd, Tb, Gd) по сравнению с типичным их содержанием в долеритах пояса увеличивается в среднем в два раза [1]. Аналогичные данные получены и по другим дайковым поясам Сибирской платформы, в частности, по Молодинскому дайковому поясу Оленекского палеорифта [2]. Предложено установленный факт использовать в качестве одного из поисковых критериев на кимберлиты, что дало основание выделить в пределах ВМДП два новых участка, перспективных на открытие кимберлитов [1, 2]. О перспективности территории Чаро-Синского дайкового пояса (ЧСДП) – южной части Якутской алмазоносной

провинции, на открытие алмазоносных месторождений говорилось неоднократно [3–6]. В 1960–1970 гг. в пределах ЧСДП геологами объединения «Якуталмаз» по рекам Намана, Джерба, Мархa (Ленская) предпринимались попытки проведения локальных поисков кимберлитов традиционными методами, которые из-за неблагоприятной поисковой обстановки (район перекрыт чехлом мезо-кайнозойских осадочных отложений) не дали положительного результата. Учитывая опыт, полученный при изучении долеритов ВМДП, проведено сравнение геохимического состава базитовых даек ЧСДП, являющегося прототипом ВМДП [4]. В результате удалось выделить два участка, в пределах которых содержание оксида титана и ряда высокозарядных (HFSE – Th, Hf, Ta, Zr, Y) и редкоземельных (REE – Nd, Tb, Gd) элементов аналогично их повышенным содержаниям, отмеченным в долеритах даек, расположенных в пределах кимберлитовых полей ВМДП. Характеристике состава даек ЧСДП и выделению перспективных на кимберлиты участков посвящена данная работа.

Методы исследования

Проведено изучение и отбор образцов из дайковых тел долеритов, вскрывающихся в береговых обнажениях. Исследование пород в шлифах выполнено на поляризационном микроскопе Laborlux 12 Pol. Определение петрогенных элементов проводилось классическим методом «мокрой химии» в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН (аналитики Кулагина Д.А. и Васильева А.С.). Содержание редких элементов – методом масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ICP-MS) в стандартном режиме на приборах Elan 6100 DRC (ИМГРЭ, аналитик Журавлев Д.З.) и Element II в ЦКП «Геодинамика и геохронология» (ИЗК СО РАН, аналитик Пантева С.В.).

Геологическая характеристика

Вилюйско-Мархинский и Чаро-Синский дайковые пояса (рис. 1) контролируются системой одноименных глубинных разломов, связанных со становлением в среднем палеозое Вилюйского палеорифта и приуроченных соответственно к северо-западному и южному его бортам [7, 9–11]. Чаро-Синский дайковый пояс вытянут в северо-восточном направлении на ~ 350 км при ширине пояса от 230 км на юге и до 175 км на севере.

Преобладающая форма интрузивов – дайки и лишь в южной части пояса появляются силлы, хотя по данным буровых работ силловая фация имеет более широкое распространение. Все дайки пояса имеют генеральное северо-восточное простирание. Вмещающими как для даек, так и для силлов являются карбонатные отложения кембрия. Согласно изотопной геохронологии по наибольшему количеству сближенных значений, становление интрузивов произошло в позднедевонское время – 364–360 млн лет [7, 9–12]. В отличие от даек ВМДП, возраст которых 371–373 млн лет, дайки ЧСДП более молодые, они были сформированы на этапе завершения магматических событий, сопровождавших формирование Вилюйского палеорифта [9]. Мощность даек колеблется от 5 до 200 м, а протяженность – в основном до 1 км, увеличиваясь в юго-восточной периферии пояса до десятка и даже до 200 км (Туолбинская дайка [8]).

Для магматитов ЧСДП в отличие от интрузивов ВМДП характерно наличие сложных многофазных даек типа «дайка в дайке» [8, 13]. Последние имеют следующую последовательность пород: габбро-долериты → кварцевые габбро-долериты → субщелочные габбро-долериты → кварцевые монцонит-порфиры → кварцевые сиенит-порфиры. Преобладают дайки, выполненные габбро-долеритами и кварцевыми габбро-долеритами. Единичны случаи, когда интрузив представлен лишь сиенит-порфирами (например – Олекминский шток) либо монцонит-порфирами, как, например, дайка в районе устья руч. Шаман (приток р. Олекма).

Обобщенная информация о составе пород Чаро-Синского дайкового пояса дана в табл. 1. От дифференциата к дифференциату снижаются основность и количество плагиоклаза, растет железистость и уменьшается доля клинопироксена. В направлении к сиенит-порфирам увеличивается доля позднемагматического кварца и калиевого полевого шпата. Для всех разностей пород, наряду с основными породообразующими минералами, характерны такие сквозные минералы, как кварц, апатит, биотит и роговая обманка, содержание которых увеличивается от долеритов к сиенит-порфирам. Изучение сложных даек в комплексе со всеми типами пород, встречающихся в интрузивах ЧСДП, и анализ последовательных изменений их вещественного состава позволили заключить, что все они возникли в ходе докамер-

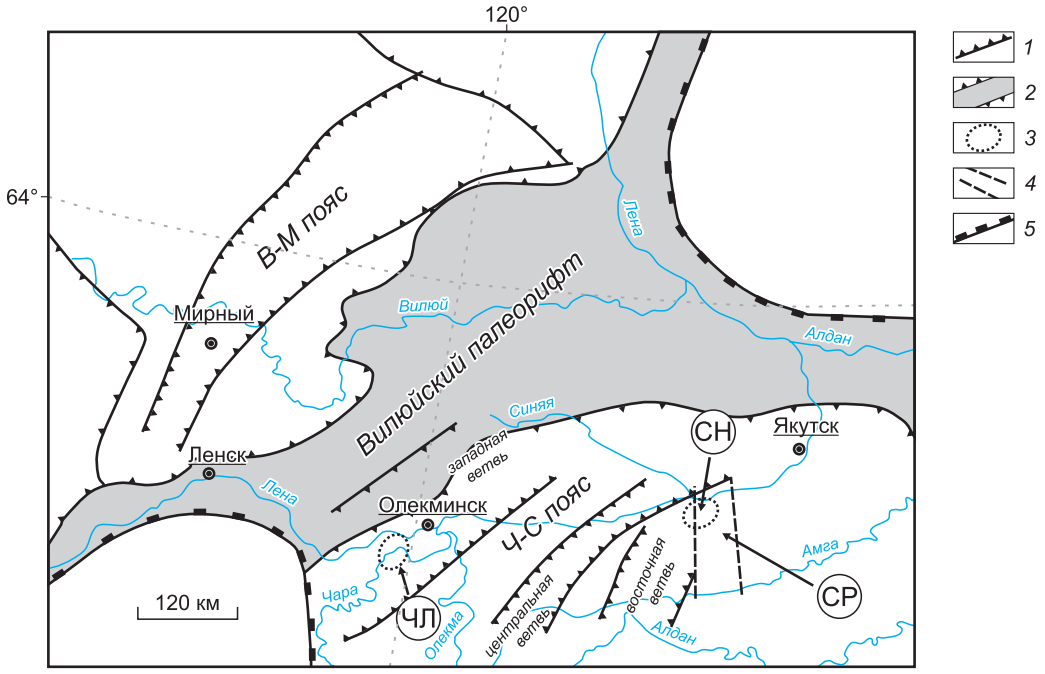

Рис. 1. Структурная схема Вилюйского палеорифта по [12] с изменениями. *1* – дайковые пояса (В-М – Вилюйско-Мархинский, Ч-С – Чаро-Синский и его ветви: западная, центральная, восточная), *2* – осевая часть Вилюйского палеорифта, *3* – предполагаемые поля кимберлитов (ЧЛ – Чаро-Ленское, СН – Синское), *4* – Синский рой даек (СР), *5* – границы складчатых областей

Fig. 1. Structural scheme of the Vilyui paleorift according to [12] with changes. *1* – dike swarms (B-M – Vilyui-Markhinsky, Ч-С – Charo-Sinsk and its branches: western, central, eastern), *2* – axial part of the Vilyui paleorift, *3* – presumed kimberlite fields (ЧЛ – Charo-Lensky, СН – Sinsk), *4* – Sinsk dike swarm (СР), *5* – boundaries of folded areas

ной дифференциации единой толеит-базальтовой магмы субщелочной специализации в ходе взаимодействия с трансмагматическим флюидом [13, 14]. Фракционирование расплава проходило последовательно в два этапа в двух промежуточных камерах, располагавшихся на глубинах 35–40 км от палеоповерхности (первая, ранняя) и на глубине 15–20 км (вторая) [14]. Именно фракционирование магмы в этих очагах привело к скачкообразному (дискретному) повышению значений кремнекислотности и щелочности магматитов при переходе от типичных габброидов к кварцевым монцонит-порфирам и сиенит-порфирам (табл. 2, рис. 2).

Поведение титана в долеритах и габбро-долеритах

Установлено, что среди даек долеритов ЧСДП находятся тела с геохимически аномальным содержанием оксида титана. Типичное его количество в долеритах пояса 2,5–2,8 мас.% с незначительным увеличением в щелочных разностях долеритов и в базитах, расплав которых эволюционировал в докамерной обстановке. В щелочно-кремнекислых дифференциатах идет закономерное его уменьшение (см. табл. 2). В аномальных же участках доля оксида титана в долеритах может превышать 4 мас.%. Одновременно с увеличением в долеритах содержания титана в них идет увеличение содержания ряда высокозарядных (HFSE) и редкоземельных (REE) элементов (рис. 3, табл. 3). Один из таких участков находится в Чаро-Ленском междуречье, а второй на правобережье р. Лена против устья р. Синяя (см. рис. 1).

Чаро-Ленский район. В левом борту р. Чара в 10 км ниже по течению от устья ее левого притока, р. Молбо, располагается Хайыргасская дайка (М-57) кварцевых габбро-долеритов (рис. 4). Дайка имеет северо-восточное простирание, мощность тела около 50 м, а протяженность до 7 км. По простиранию дайки через 15 км на правом берегу р. Лена вскрывается еще один ее выход (М-110). Далее в северо-восточном направлении уже в левом борту р. Лена она трассируется в виде кулисообразно расположенных тел, (обнажение М-70) еще на протяжении 30 км, вплоть до р. Намана.

Таблица 1

Состав породообразующих минералов пород Чаро-Синского дайкового пояса [15]

Table 1

Composition of rock-forming minerals in rocks of Charo-Sinsk dike swarm [15]

Порода	Плагиоклаз An	Пироксен			Оливин	Поздне- и постмагматические минералы
		Wo	En	Fs	Fa	
Долерит, габро-долерит	80-76 70-34	37-38	45-46	16-17	20-25	Ti-Mt(до 6 %), Ttn, Qz, Ap, Hbl, Bt
Кварцевый габбро-долерит	75-68 67-50	30-38	43-52	17-22	21-24, 54	Ti-Mt(до 7 %), Ttn, Qz (до 3 %), Fsp (до 2 %), Ap, Hbl, Bt
Субщелочной габбро-долерит	65-58 56-27	37-41	35-62	6-29	Псевдоморфозы	Ti-Mt(до 6 %), Ttn, Qz (до 6 %), Fsp (до 9 %), Ab (3 %), Ap, Hbl, Bt
Кварцевый монцонит порфир	53-42 41-32	39-40	30-34	25-31	Отсутствует	Ti-Mt(до 5 %), Ttn, Qz (10 %), Fsp (15 %), Ab, Ap, Hbl, Bt
Кварцевый сиенит порфир	40-30 57-10	35	35-40	25-30	Отсутствует	Ti-Mt(1 %), Qz (10 %), Fsp (50 %), Ab (10 %), Ap, Hbl, Bt

Примечание. Составы породообразующих минералов приведены в мол. %. Ti-Mt – титаномагнетит, Ttn – титанит, Qz – кварц, Ap – апатит, Hbl – роговая обманка, Bt – биотит, Fsp – калиевый полевой шпат, Ab – альбит.

Note. The compositions of rock-forming minerals are given in mol.%. Ti-Mt – titanomagnetite, Ttn – titanite, Qz – quartz, Ap – apatite, Hbl – hornblende, Bt – biotite, Fsp – potassium feldspar, Ab – albite.

В юго-западном направлении от обнажения М-57 эпизодические выходы дайки фиксируются на протяжении 20 км. Содержание оксида титана в Хайыргасской дайке в обнажении на р. Чара – 4,2 мас.%, а в наиболее удаленных от нее участках доля титана 2,5–2,7 мас.% (табл. 4, рис. 4). В долеритах даек (М-33, М-70), расположенных в береговых отложениях, р. Лена (~20 км

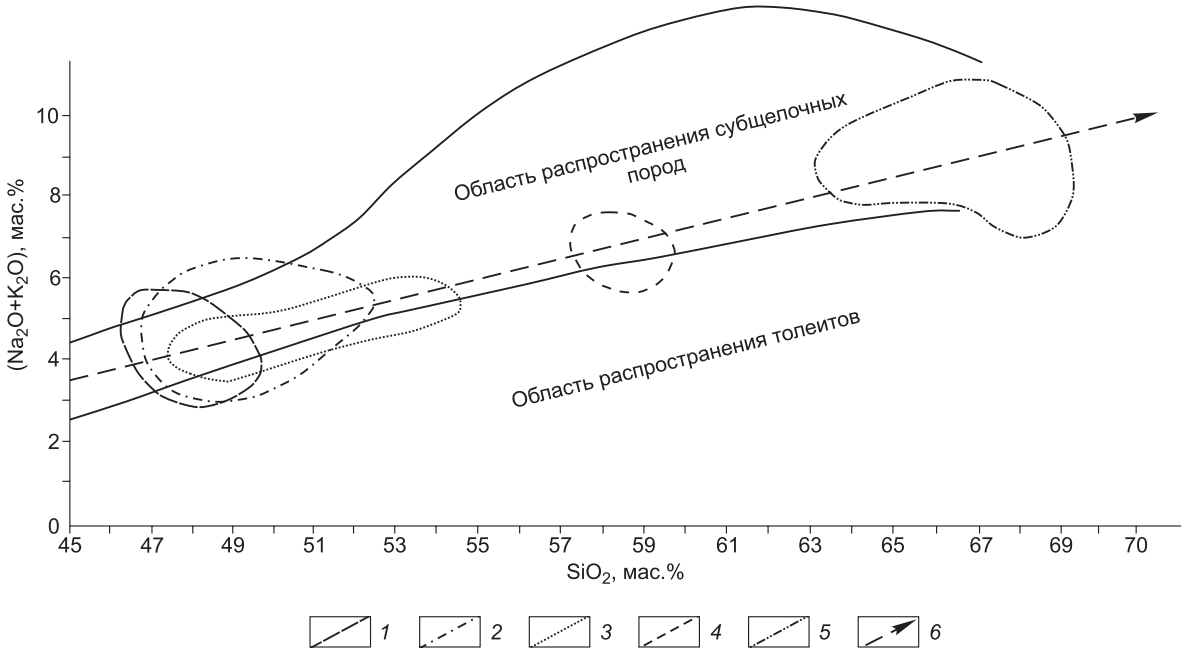

Рис. 2. Поля распространения частных анализов пород Чаро-Синского дайкового пояса на диаграмме кремнезем–щелочность по [16] и по [14] с изменениями. *1* – габбро-долериты, *2* – кварцевые габбро-долериты, *3* – субщелочные габбро-долериты, *4* – кварцевые монцонит-порфиры, *5* – кварцевые сиенитпорфиры, *6* – тренд дифференциации пород

Fig. 2. Distribution fields of individual analyses of rocks from Charo-Sinsk dike swarm on an alkali-silica diagram according to [16] and according to [14] with changes. *1* – gabbro-dolerites, *2* – quartz gabbro-dolerites, *3* – subalkaline gabbro-dolerites, *4* – quartz monzonite porphyry, *5* – quartz syenite porphyry, *6* – rock differentiation trend

Таблица 2

Средний химический состав пород различных групп интрузивов Чаро-Синской магмоподводящей зоны, вес. %, [14]

Table 2

Average chemical composition of rocks of various groups of intrusions in the Charo-Sinsk magma-feeder zone, wt. %, [14]

Компонент	Габброиды			Монцонитоиды		Среднее
	Интрузивы долеритов и габбро-долеритов	Дайки кварцевых габбро-долеритов	Дайки субщелочных кварцевых габбро-долеритов	Фазы монцонит-порфиров многократных даек	Интрузивы кварцевых сиенит-порфиров	
SiO_2	48,05	49,20	50,44	58,59	66,28	52,00
TiO_2	3,20	3,09	3,15	2,09	1,01	2,75
Al_2O_3	14,38	14,52	12,78	13,39	13,87	13,55
Fe_2O_3	5,13	5,02	7,27	5,43	2,31	5,55
FeO	8,04	8,84	7,70	5,46	2,46	7,58
MnO	0,16	0,18	0,22	0,18	0,05	0,18
MgO	5,68	4,38	4,42	2,43	1,50	4,03
CaO	9,18	8,94	7,11	4,53	1,99	7,27
Na_2O	2,96	2,74	3,41	2,97	3,84	3,03
K_2O	1,02	1,76	1,12	3,66	5,02	1,96
P_2O_5	0,36	0,46	0,54	0,42	0,31	0,43
П.п.п	1,91	0,88	1,85	0,96	1,22	1,55
Сумма	100,07	100,01	100,01	100,11	99,86	99,94
f	68,0	76,0	77,2	81,8	76,1	–
Na_2O/K_2O	2,9	1,6	3,0	0,8	0,08	1,54
n	34	45	27	24	33	102

Таблица 3

Содержание микроэлементов (г/т) в представительных частных анализах долеритов [10]

Table 3

Trace element content (ppm) in representative partial analyses of dolerites [10]

	Y	Zr	Nb	La	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Er	Yb	Hf	Ta	Th
1	57,55	451,07	51,59	56,67	65,0	14,48	3,51	13,20	1,99	5,43	4,59	11,14	4,14	6,21
2	31,42	148,95	10,19	10,63	17,63	4,80	4,58	5,57	0,92	3,13	2,69	4,12	1,10	1,18

Примечание. 1 – высокотитанистый габбро-долерит, обр. М-19/13-3г, Синская дайка; 2 – кварцевый габбро-долерит, обр. М-20/13-4, Титаринская дайка.

Note. 1 – gabbro-dolerite with high TiO_2 content, samp. M-19/13-3g, Sinsk dike; 2 – quartz gabbro-dolerite, samp. M-20/13-4, Titarinskaya dike.

от обн. М-57) его содержание 3,5–3,8 мас.%. Особенность долеритов Хайыргасской дайки – повышенное содержание протокристаллов плагиоклаза.

Таким образом, в районе обнажения М-57 находится участок распространения даек с аномальной геохимией, аналогичный таковым ВМДП. Поэтому территорию междуречья Чары и Лены вдоль глубинного разлома, контролирующего Хайыргасскую дайку и прежде всего район вокруг самой дайки, следует считать перспективной на нахождение здесь кимберлитов. Более того, при проведении в 2019 г. компанией АГД «Даймондс» (г. Архангельск) ревизионных геолого-поисковых работ, предпринятых на основании геохимических данных по долеритам даек обн. М-33 и М-110 (см. рис. 4), в одной из крупнообъемных проб, взятых в приустьевой части

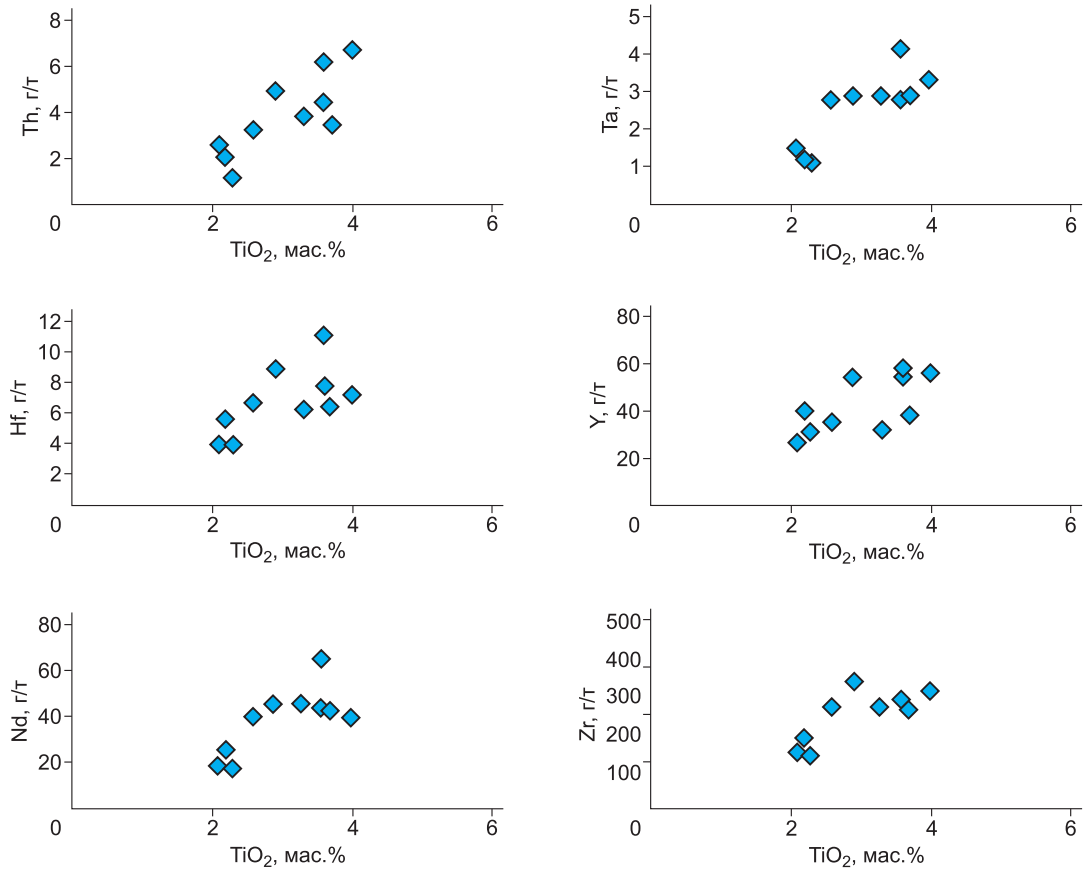

Рис. 3. Отношение ряда редкоземельных (REE) и высокозарядных (HFSE) элементов к оксиду титана в долеритах даек Чаро-Ленской и Синской площадей

Fig. 3. The ratio of some rare earth (REE) and high field strength elements (HFSE) to titanium oxide in dolerite dikes of Chara-Lensk and Sinsk areas

р. Бирюк (район расположения дайки М-33), было поднято несколько мелких кристаллов алмаза (устное сообщение И.Л. Махоткина).

Синский район. Еще одна группа даек долеритов с повышенной (более 4 %) долей оксида титана (см. табл. 3) находится на правом берегу р. Лена, напротив п. Синск (рис. 5). В скальных обнажениях реки, выполненных карбонатными отложениями кембрия, вскрываются две дайки – основная (мощностью 63 м) и сопутствующая (мощностью 2 м). Обе дайки имеют вертикальное падение и входят в Синский рой даек, имеющих близкое к меридиональному простирание. Дайки ЧСДП, северо-восточного направления, как бы упираются в них, но не пересекают (см. рис. 1). Выполнены они средне-, крупнозернистыми габбро-долеритами, переходящими в сторону контактов в тонко-мелкозернистые разности. Минеральный и химический состав, структура пород даек соответствуют кварцевым габбро-долеритам ЧСДП, усредненные данные по которым приведены в табл. 1 и 2.

Содержание оксида титана (см. табл. 4) в долеритах Синской дайки (М-19) выше средних значений для пород пояса на 1,5–2 % и колеблется от 3,7 до 4,8 мас.%, увеличиваясь в краевых частях тел. В дайке (М-18), расположенной на противоположном берегу р. Лена, примерно в 5 км от Синской дайки и являющейся ее продолжением, содержание оксида титана составляет 3,1 мас.%, а в дайках ближнего окружения в 8–20 км от Синской дайки М-14 и М-20 – 2,3 вес. %. Таким образом, в правобережной части р. Лена против п. Синск фиксируется еще один геохимически аномальный участок даек долеритов ЧСДП.

Обсуждение

Процесс кимберлитообразования был продолжительным [17], связанным с длительностью про-

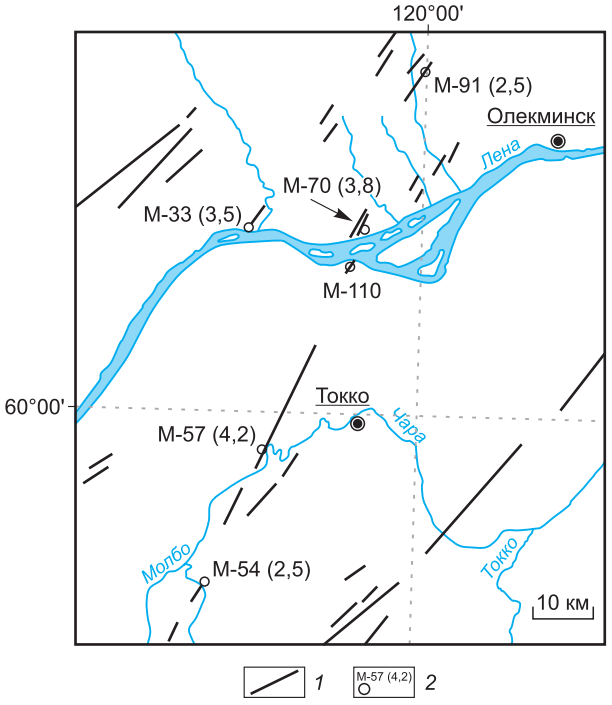

Рис. 4. Карта-схема Чаро-Ленской площади. *1* – дайки долеритов, *2* – места отбора проб с указанием номеров обнажений (в скобках содержание TiO_2 в долеритах, мас.%)

Fig. 4. Map-scheme of Charo-Lena area. *1* – dolerite dikes, *2* – sampling sites with numbers of outcrops (in brackets is indicated TiO_2 content in dolerites, wt. %)

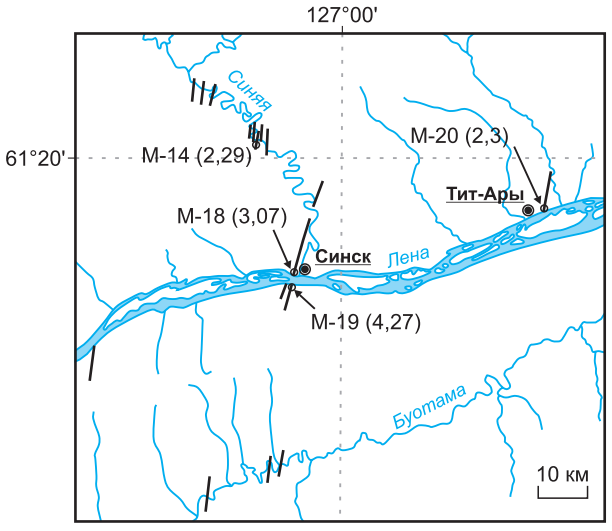

Рис. 5. Карта-схема Синской площади. Условные обозначения см. рис. 4

Fig. 5. Map-scheme of Sinsk area. For legend, see fig. 4

цесса карбонатитового метасоматоза деплетированных перидотитов основания литосферы [18, 19]. На момент образования базальтовой линзы, связанной с формированием Вилюйского палеорифта, вторично обогащенные перидотиты основания литосферы уже существовали [2]. Процесс взаимодействия протокимберлитового вещества и базитового расплава подробно рассмотрен в работе [2], здесь подчеркнем основные моменты. Всплывающий диапир протокимберлитового вещества был диаметром не более 1 км [20] и имел сублитосферную температуру (>1400 °С) [18, 21]. Последнее обусловило вовлечение в процесс плавления более тугоплавкого компонента, в том числе содержащего титан и высокозарядные и редкоземельные элементы [2].

Восходящий поток этого вещества взаимодействовал с толеитами базальтовой линзы и, локально, изменял состав базальтов. Выравнивание геохимического состава между высокотитанистым и остальным расплавом базитов было незначительным. В дальнейшем, внедряясь в верхние горизонты земной коры, оба расплава формировали дайки как обычных базитов, так и, локально, высокотитанистых долеритов.

На примере изученных даек долеритов, располагающихся в контурах кимберлитовых полей ВМДП, установлено, что увеличение количества реперных (TiO_2 и HFSE, REE) элементов начинает фиксироваться на расстоянии в 10–12 км от кимберлитового тела, достигая максимально отличных от типичных значений величин непосредственно вблизи кимберлитовых тел. Тем самым использование данного метода существенно сокращает время на поиски перспективных площадей и опоисковываемые территории. Так, например, предлагаемые в работе перспективные площади (Чаро-Ленская и Синская) находятся за пределами выделенных в работе [5] перспективных на обнаружение алмазоносных кимберлитов площадей, более того – Синский участок располагается между Алдано-Малыканской и Тамма-Кенкеменской площадями. Тем самым предложенный в настоящей работе метод позволит локализовать поиски.

Локальное появление среди пород ЧСДП даек долеритов, содержащих повышенные концентрации оксида титана, ряда редкоземельных и высокозарядных элементов, согласно [2] следует связывать с процессами кимберлитообразования. На этом основании при постановке поисковых работ на алмазоносные кимберлиты на новых территориях рекомендуется не только использовать

Таблица 4

Средний химический состав долеритов с высоким содержанием TiO_2, мас.%

Table 4

Average chemical composition of dolerites with increased TiO_2, wt. %

Элемент обнажения	Чаро-Ленская площадь					Синская площадь				Среднее ЧСДП
	Номер обнажения									
	М-57	М-70	М-33/13-2	М-54	М-91	М-19	М-18/13-2	М-14	М-20	
SiO_2	48,30	47,32	46,32	47,91	50,29	47,98	50,31	49,78	48,20	52,10
TiO_2	4,17	3,81	3,55	2,5	2,49	4,27	3,07	2,29	2,30	2,75
Al_2O_3	12,54	13,80	13,83	14,64	13,90	13,18	13,54	15,41	15,10	13,55
Fe_2O_3	4,34	4,83	4,23	3,06	2,87	5,11	2,75	3,78	3,74	5,55
FeO	11,35	9,03	9,99	9,79	9,62	9,03	8,07	8,80	8,86	7,58
MnO	0,20	0,17	0,13	0,18	0,18	0,15	0,11	0,16	0,18	0,18
MgO	4,91	5,98	0,18	5,99	5,47	4,95	4,36	5,65	5,83	4,03
CaO	7,96	7,69	9,16	10,46	9,67	8,70	10,32	10,19	10,46	7,23
Na_2O	2,73	2,57	3,14	2,20	2,68	2,36	2,86	2,55	2,41	3,03
K_2O	1,35	2,12	1,28	0,76	0,94	2,34	1,81	0,67	0,40	1,96
P_2O_5	0,49	0,43	0,39	0,26	0,27	0,49	0,81	0,25	0,22	0,43
П.п.п	1,60	2,18	2,30	2,12	1,59	1,08	0,91	0,36	2,43	1,55
Сумма	99,94	99,91	100,49	99,87	99,97	99,62	99,34	99,89	100,13	99,94
n	5	8	1	4	3	4	1	6	3	102

Примечание. Номера обнажений соответствуют номерам на рис. 4, 5; n – количество проб.

Note. Outcrop numbers correspond to numbers in fig. 4, 5; n – number of samples.

основные (геологические и минералого-геохимические) признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты [22], но и учитывать новые нетрадиционные методы. Тем более, что основная часть территории Чаро-Синской кимберлитоперспективной зоны перекрыта мезозойскими морскими отложениями. По опыту работ последних лет в Западной Якутии, это требует новых подходов к геохимическим поискам кимберлитов на перекрытых территориях [23].

Подобный подход, с учетом локальных особенностей, необходимо масштабировать при апробации на новых перспективных площадях Чаро-Синской минерагенической зоны [6]. Однако при этом необходимо особо отметить, что обязательно следует учитывать наработанные многочисленные рекомендации предшественников [3, 5, 6, 12; и др.].

Заключение

1. Установлено, что в пределах Чаро-Синского дайкового пояса находятся два участка с аномальным содержанием в долеритах оксида титана, ряда редкоземельных и высокозарядных элементов.

2. По аналогии с долеритами Вилюйско-Мархинского дайкового пояса, где появление долеритов с высоким содержанием титана, ряда высокозарядных и редкоземельных элементов приурочено к кимберлитам, подобная тенденция предполагается и для долеритов ЧСДП. На основании этого подобные участки следует считать перспективными на выявление кимберлитов.

3. Слабая изученность долеритов ЧСДП (в основном это долины крупных водотоков) не исключает возможность обнаружения и других перспективных участков.

Список литературы / References

1. Томшин М.Д., Гоголева С.С. Высокотитанистые долериты как новый критерий поисков кимберлитов. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;24(4):499–513. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-499-513

Tomshin M.D., Gogoleva S.S. High-titanium dolerites as a new criterion for search of kimberlites. *Arctic and Subarctic*

Natural Resources. 2022;24(4):499–513. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-499-513

2. Томшин М.Д., Похиленко Н.П., Гоголева С.С., Земнухов А.Л. Локализация высокотитанистых долеритов на территории кимберлитовых полей: возможные причины и новый критерий поиска. *Геология и геофизика*. 2024; 65(9): 1234–1245. https://doi.org/10.15372/GIG2024105

Tomshin M.D., Pokhilenko N.P., Gogoleva S.S., Zemnukhov A.L. Localization of high-titanium dolerites in kimberlite fields: possible causes and a new criterion for kimberlite search. *Russian Geology and Geophysics*. 2024;65(9):1234–1245. (In Russ.) https://doi.org/10.15372/GIG2024105

3. Никулин В.И., Лелюх М.И., Фон-дер-Флаасс Г.С. *Алмазопрогностика*. Иркутск: НПФ «Алмаз-Прогноз»; 2002. 320 с.

Nikulin V.I., Lelykh M.I., Fon-Der-Flaass G.S. *Almazoprognostika*. Irkutsk: NPF “Almaz-Prognoz”; 2002. 320 p. (In Russ.)

4. Избеков Э.Д., Подъячев Б.П., Афанасьев В.П. Признаки симметричной алмазоносности восточной части Сибирской платформы (относительно оси Вилюйской синеклизы). *Докл. РАН*. 2006;411(3):352–353.

Izbekov E.D., Pod’yachev B.P., Afanas’ev V.P. Signs of symmetric diamond concentration in the eastern Siberian platform (relative to the Vilyui syneclise axis). *Doklady Earth Sciences*. 2006;411(9):1339–1340.

5. Смелов А.П., Прокопьев А.В., Олейников О.Б. и др. Перспективы алмазоносности Алданской антеклизы. *Отечественная геология*. 2012;(5):3–10.

Smelov A.P., Prokopiev A.V., Oleynikov O.B., et al. Prospects for diamond bearing capacity of the Aldan anteclise. *Otechestvennaya geologia [Domestic Geology]*. 2012;(5):3–10. (In Russ.)

6. Толстов А.В., Максимкина Л.В., Колесник А.Ю. и др. Перспективы алмазоносности Чаро-Синской зоны разломов. *Руды и металлы*. 2021;(3):46–58. https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10017

Tolstov A.V., Maksimkina L.V., Kolesnik A.Yu., et al. Prospects for diamond potential of the Charo-Sinskaya fault zone. *Ores and Metals*. 2021;(3):46–58. (In Russ.) https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10017

7. Гайдук В.В. *Вилюйская среднепалеозойская рифтовая система*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1988.128 с.

Gaiduk V.V. *Vilyui Middle Palaeozoic rift system*. Yakutsk: YaF SB AS USSR; 1988. 128 p. (In Russ.)

8. Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Селивановский Т.В. *Вулканизм и тектоника Патомско-Вилюйского среднепалеозойского авлакогена*. М.: Недра; 1975. 181 с.

Masaitis V.L., Mikhailov M.V., Selivanovskii T.V. *Volcanism and tectonics of the Patom-Vilyui Middle Paleozoic aulacogen*. Moscow: Nedra; 1975. 181 p. (In Russ.)

9. Томшин М.Д., Копылова А.Г., Константинов К.М., Гоголева С.С. Базиты Вилюйского палеорифта. Геохимия и последовательность становления. *Геология и геофизика*. 2018;59(10):1503–1518. https://doi.org/10.15372/GiG20181002

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

10. Киселев А.И., Константинов К.М., Ярмолюк В.В., Иванов А.В. Чаро-Синский дайковый рой в структуре среднепалеозойской Вилюйской рифтовой системы (Сибирский кратон). *Докл. РАН*. 2016; 471(2):209–213. https://doi.org/10.7868/S0869565216320220

Kiselev A.I., Konstantinov K.M., Yarmolyk V.V., Ivanov A.V. The Chara–Sina dyke swarm in the structure of the middle paleozoic Vilyui rift system (Siberian craton). *Doklady Earth Sciences*. 2016;471(1):1179–1182. https://doi.org/10.1134/S1028334X16110167

11. Гузев В.Е. Козлов Г.А., Терехов А.В. и др. Чаро-Синский дайковый пояс (среднее течение р. Лена): локальный U-Pb возраст циркона и петролого-геохимические особенности. *Региональная геология и металлогения*. 2021;(87): 28–41. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_87_28-41

Guzev V.E., Kozlov G.A., Terekhov A.V., et al. Chara-Sinsk dike swarm (middle reach of the Lena River): local U-Pb age of zircon and petrological and geochemical features of rocks. *Regional Geology and Metallogeny*. 2021;(87):28–41. (In Russ.) https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_87_28-41

12. Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии. *Руды и металлы*. 2018;(4):14–23. https://doi.org/10.24411/08695997201810009

Protsenko E.V., Tolstov A.V., Gorev N.I. Kimberlite prospecting criteria and new prospects for Yakutia primary diamond potential. *Ores and metals (Rudy I Metally)*. 2018;(4):14–23. (In Russ.) https://doi.org/10.24411/08695997201810009

13. Томшин М.Д., Олейников Б.В., Королева О.В. Монционитоидная тенденция глубинной эволюции толеит-базальтовой серии расплавов на Сибирской платформе. В кн.: Ковальский В.В., Кочетков А.Я., Лазебник К.А. (ред.) *Петролого-геохимические черты глубинной эволюции вещества кимберлитовой и базитовой магматических систем*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1985. С. 164–188.

Tomshin M.D., Oleynikov B.V., Koroleva O.V. Monzonitoid trend in the deep evolution of the toleit-basalt series of melts on the Siberian Platform. In: Kovalsky V.V., Kochetkov A.Ya., Lazebnik K.A. (eds.) *Petrological and geochemical features of the deep evolution of kimberlite and basalt magmatic systems*. Yakutsk: YaF SO AN SSSR; 1985, pp. 164–188. (In Russ.)

14. Олейников Б.В., Томшин М.Д., Королева О.В. и др. *Глубинная эволюция субщелочной толеит-базальтовой магмы в режиме палеорифтогенеза (на примере Чаро-Синской зоны)*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1984. 32 с.

Oleynikov B.V., Tomshin M.D., Koroleva O.V., et al. *Deep evolution of subalkaline tholeiitic-basaltic magma in the paleoriftogenesis regime (on example of the Charo-Sinsk zone)*. Yakutsk: YaF SB AS USSR; 1984. 32 p. (In Russ.)

15. Tomshin M.D., Koroleva O.V. Composite dykes of the Vilyuisk paleorift system, Siberian Platform, Yakutia, USSR. In: Parker A.J., Rickwood P.C., Tucker D.H. (eds.) *Mafic dykes and emplacement mechanisms: proceedings of the second international dyke conference, Adelaide. 12-16 September 1990*. Rotterdam: Balkema; 1990, pp. 535–540.

16. Богатиков О.А., Гоньшакова В.И., Михайлов Н.П. *Классификация и номенклатура магматических горных пород*. М.: Недра; 1981. 160 с.

Bogatikov O.A., Gon’shakova V.I., Mikhailov N.P. *Classification and nomenclature of igneous rocks*. Moscow: Nedra; 1981. 160 p. (In Russ.)

17. Зайцев А.И., Смелов А.П. *Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции*. Якутск: ООО РИЦ «Офсет»; 2010. 108 с.

Zaitsev A.I., Smelov A.P. *Isotope geochronology of rocks of kimberlite formation of Yakutsk province*. Yakutsk: LLC "Offset"; 2010. 108 p. (In Russ)

18. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Kuligin S.S., Shimizu N. Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle. In: *Proceedings of 7th Int. Kimberlite Conference, Cape Town, South Africa, April, 1998*. Cape Town: Red Roof Design; 1999, pp. 689–698. https://doi.org/10.29173/ikc2852

19. Агашев А.М., Похиленко Н.П., Черепанова Ю.В., Головин А.В. Геохимическая эволюция пород основания литосферной мантии по результатам изучения ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитовой трубки Удачная. *Докл. РАН*. 2010;432(4):510–513.

Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Cherepanova Yu.V., Golovin A.V. Geochemical evolution of rocks at the base of the lithospheric mantle: evidence from study of xenoliths of deformed peridotites from kimberlite of the Udachnaya pipe. *Doklady Earth Sciences*. 2010;432(4):746–749. https://doi.org/10.1134/s1028334x10060073

20. Похиленко Н.П., Агашев А.М., Литасов К.Д., Похиленко Л.Н. Взаимоотношения карбонатитового метасоматоза деплетированных перидотитов литосферной мантии с алмазообразованием и карбонатит-кимберлитовым магматизмом. *Геология и геофизика*. 2015;56(1-2):361–383.

Pokhilenko N.P., Agashev A.M., Litasov K.D., Pokhilenko L.N. Carbonatite metasomatism of peridotite lithospheric mantle: implications for diamond formation and carbonatite-kimberlite magmatism. *Russian Geology and Geophysics*. 2015;56(1-2): 280–295. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.01.020

21. Ashchepkov I.V., Vladykin N.N., Ntaflos T., et al. Layering of the Litospheric mantle beneath the Siberian craton: modeling using thermobarometry of mantle xenolith and xenocrysts. *Tectonophysics*. 2014;634:55–75. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.07.017

22. Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях. *Разведка и охрана недр*. 2008;(4-5): 108–112.

Simonenko V.I., Tolstov A.V., Vasilieva V.I. New approach to geochemicai search for kimberlite at the overburden areas. *Exploration and protection of mineral resources*. 2008;(4-5): 108–112. (In Russ.)

23. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И. и др. Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии. *Руды и металлы*. 2006;(4):59-67.

Ignatov P.A., Bushkov K.Yu., Shtein Ya.I., et al. Geological and mineralogical-geochemical characteristics of structures controlling diamond-bearing kimberlites in the Nakyin field of Yakutia. *Ores and Metals*. 2006;(4):59–67. (In Russ.)

Об авторах

ТОМШИН Михаил Дмитриевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, https//orcid.org/0000-0001-5865-7521, ResearcherID: AAO-2284-2020, Scopus Author ID: 8983453800, SPIN: 4097-4251, e-mail: tmd@diamond.ysn.ru

ТОЛСТОВ Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0003-3863-5071, ResearcherID: O-2643-2013, Scopus Author ID: 6603548567, SPIN: 7895-6601, e-mail: tols61@mail.ru

ЖУРАВЛЕВ Анатолий Иванович, младший научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0003-0115-5146, ResearcherID: AAC-6095-2019, Scopus Author ID: 57200217371, SPIN: 1793-5956, e-mail: ai.zhuravlevgeo@gmail.com

Вклад авторов

Томшин М.Д. – разработка концепции, методология, верификация и анализ литературных и архивных данных по лабораторно-аналитическим исследованиям, проведение исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, визуализация, руководство исследованием по геохимии базитов, администрирование проекта; **Толстов А.В.** – разработка концепции, методология, верификация и анализ литературных и архивных данных по геолого-минералогическим исследованиям, проведение исследования, работа и редактирование черновика рукописи, визуализация и руководство исследованием по геологии, минералогии и петрографии; **Журавлев А.И.** – визуализация, верификация данных, редактирование рукописи, анализ литературных данных

Конфликт интересов

Один из авторов – доктор геолого-минералогических наук Толстов Александр Васильевич является членом редколлегии журнала «Природные ресурсы Арктики и Субарктики». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

About the authors

TOMSHIN, Mikhail Dmitrievich, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Leading Researcher, https://orcid.org/0000-0001-5865-7521, ResearcherID: AAO-2284-2020, Scopus Author ID: 8983453800, SPIN: 4097-4251 e-mail: tmd@diamond.ysn.ru

TOLSTOV, Alexander Vasilevich, Dr. Sci (Geol. and Mineral.), Leading Researcher, https://orcid.org/0000-0003-3863-5071, ResearcherID: O-2643-2013, Scopus Author ID: 6603548567, SPIN:7895-6601, e-mail: tols61@mail.ru

ZHURAVLEV, Anatolii Ivanovich, Junior Researcher, https://orcid.org/0000-0003-0115-5146, ResearcherID: AAC-6095-2019, Scopus Author ID: 57200217371, SPIN: 1793-5956, e-mail: ai.zhuravlevgeo@gmail.com

Authors' contribution

Tomshin M.D. – conceptualization, methodology, validation of data on laboratory-analytical researches, investigation, data curation, writing – original draft, writing – review & editing, visualization, supervision of research in the geochemistry of basalts, project administration; **Tolstov A.V.** – conceptualization, methodology, validation of geological, mineralogical and laboratory analytical research, investigation, writing – review & editing, visualization, supervision of research in the areas of mineral resources and petrography; **Zhuravlev A.I.** – visualization, validation, writing – review & editing

Conflict of interest

One of the authors – Alexander V. Tolstov, Dr. Sci. (Geol. and Mineral.) is a member of the Editorial Board for the journal "Arctic and Subarctic Natural Resource". The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this article.

Поступила в редакцию / Submitted 06.06.2025
Поступила после рецензирования / Revised 10.09.2025
Принята к публикации / Accepted 12.09.2025