

УДК 552.321.5

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-375-383>

Оригинальная статья

Траппы бассейна реки Моркока и их морфология как реакция на возможное присутствие кимберлитов

М. Д. Томшин, С. С. Гоголева✉

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

✉gogoleva-SS@mail.ru

Аннотация

Изучены траппы в обнажениях среднего течения р. Моркока. Установлено, что в данном районе траппы формировались в три этапа, в три фазы внедрения. Каждая последующая фаза внедрения базитового расплава отличается своими петро- и геохимическими особенностями, степенью раскристаллизации магматического расплава и соответственно плотностными характеристиками. Выявлена необычная форма внедрения интрузивов второй фазы (смятие силла, внедрение в породы раннего интрузива). Известно, что в процессе становления кимберлитовых диатрем вмещающие их карбонатные породы становятся более плотными, в них возникают поля термоупругих напряжений, ассоциирующие с магнитоупругим виллари-эффектом. В результате вокруг кимберлитов образуется так называемый защитный экран. Сопоставление поведения трапповых силлов р. Моркока с подобным поведением траппов вблизи кимберлитов (трубки Комсомольская и Моркока) позволило предположить наличие под траппами в данном районе неизвестного кимберлитового тела.

Ключевые слова: сибирские траппы, кимберлиты, поиски кимберлитов, морфология трапповых силлов

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания ИГАБМ СО РАН (проект № 0381-2019-0003).

Для цитирования: Томшин М.Д., Гоголева С.С. Траппы бассейна реки Моркока и их морфология как реакция на возможное присутствие кимберлитов. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(3):375–383. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-375-383>

Original article

Traps of the Morkoka River Basin and their morphology as response to the possible presence of kimberlites

M. D. Tomshin, S. 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 traps in outcrops of the middle course of the Morkoka River were formed in three stages and implementation phases. Each subsequent introduction phase of the basite melt was distinguished by its petrogeochemical features, degree of crystallization of the magmatic melt, and density. An unusual form of intrusion introduction in the second phase (crushing of the sill and the introduction of an early intrusion into the rocks) was revealed. During the formation of kimberlite diatremes, the carbonate rocks containing them became denser and thermoelastic stress fields associated with the magnetoelastic Villari effect arose. As a result, the so-called “protective shield” was formed around the kimberlites. A comparison of the trap sill behavior of the Morkoka River with the similar behavior of traps near kimberlites (Komsomolskaya and Morkoka tubes) suggests the presence of an unknown kimberlite body under traps in this area.

Keywords: Siberian traps, kimberlites, kimberlite searches, morphology of trap sills

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment for Diamond and Precious Metal Geology Institute of the SB RAS (number 0381-2019-0003).

For citation: Tomshin M.D., Gogoleva S.S. Traps of the Morkoka River Basin and their morphology as response to the possible presence of kimberlites. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(3):375–383. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-375-383>

Введение

Далдыно-Алакитский район Западной Якутии является областью интенсивного распространения траппов. Площадь, перекрытая траппами, достигает здесь 70 %. Находящиеся на поверхности интрузивы бронируют практически все водораздельные участки. Так как на территории установлены многочисленные кимберлитовые трубки, в том числе и алмазонасные (Айхал, Юбилейная, Комсомольская и др.), допустимо, что под траппами могут находиться еще не вскрытые объекты, поскольку в геофизических полях кимберлиты под траппами не видны. В настоящее время их поиск ведется с помощью бурения «наугад» – не эффективный, дорогостоящий метод [1]. Поэтому многие специалисты пытаются найти способ заглянуть под траппы, в том числе с помощью зондирования из скважин пространства под траппами. В то же время известно, что траппы и сами могут сигнализировать о присутствии кимберлитов. При изучении траппов района было обращено внимание на их необычное поведение вблизи некоторых кимберлитовых трубок. Перед кимберлитами траппы могли увеличивать свою мощность, интрузивы могли сминаться, расщепляться на маломощные инъекции. То есть траппы, при внедрении, своей формой могут реагировать на кимберлитовые диатремы. Учитывая это, было обращено внимание на необычное поведение траппов р. Моркока в районе ее левого притока р. Тегерюк. Изучению этих объектов и посвящена данная работа.

Траппы р. Моркока

На р. Моркока в районе ее левого притока р. Тегерюк на протяжении 12 км обнажаются траппы (рис. 1). В верхней части (около 150 м) обнажение представлено развалами и курумником долеритов с редкими останцами скальных пород, а в нижней (около 10 м) долериты вскрываются в коренном залегании (рис. 2). Обнажение выполнено в основном двумя интрузивами, имеющими между собой горячий контакт, подчеркивая тем самым более позднее внедрение нижнего силла. В точке наблюдения Мр-61/41 (см. рис. 2) оба силла пересекаются маломощной (около 0,4–0,6 м) дайкой тонкозернистых долеритов, что говорит о наличии третьей фазы

внедрения базитового расплава. Дайка имеет горячие контакты с обоими силлами и содержит в себе угловатые обломки долеритов второго интрузива. Таким образом, в обнажении четко фиксируются три фазы внедрения базитовой магмы. Первым был сформирован верхний силл, в настоящее время бронирующий водораздельное пространство территории и представленный в основном развалами долеритов за исключением отдельных останцов и нижних приконтактных его горизонтов, обнажающихся в коренном виде. Затем внедрялся второй интрузив, верхняя часть которого образует подножие обнажения, а все остальное тело располагается ниже уреза воды. Третьей внедрялась интрузия, фиксируемая лишь по маломощной дайке. Можно предположить, что основное тело третьей интрузии находится на глубине, а в обнажении вскрыта лишь ее маломощная апофиза.

Судя по контактам с осадочными породами (западная, верхняя по течению реки, часть обнажения), вмещающими для траппов были карбонатные породы силура (S_1In). Абсолютный возраст по валовой пробе долеритов второго интрузива, определенный К–Аг-методом, показал, что этот интрузив формировался в нижнем триасе – 238±7 млн лет (обр. Мр-24/6), и подтверждает принадлежность исследуемых объектов к пермотриасовым траппам Сибирской платформы. Ранее [2, 3] все пермотриасовые траппы востока Тунгусской синеклизы по петрохимическим показателям были разделены на три петрохимические группы – три петротипа, соответствующие трем фазам внедрения. Таким образом, в данном случае мы так же имеем дело с тремя самостоятельными фазами внедрения базитового расплава, сформировавшего три самостоятельных интрузива.

Интрузив первой фазы внедрения. В коренном залегании вскрыта лишь приподошенная часть силла, а все остальное представлено развалами среднезернистых долеритов. Суммарная мощность интрузива может достигать 150–170 м. Наличие на поверхности отдельных глыб долеритов – примазок пород типа гранофиров и габбропегматитов дает основание предполагать, что в верхней половине силла находились шлировые обособления этих пород. Последнее типично для

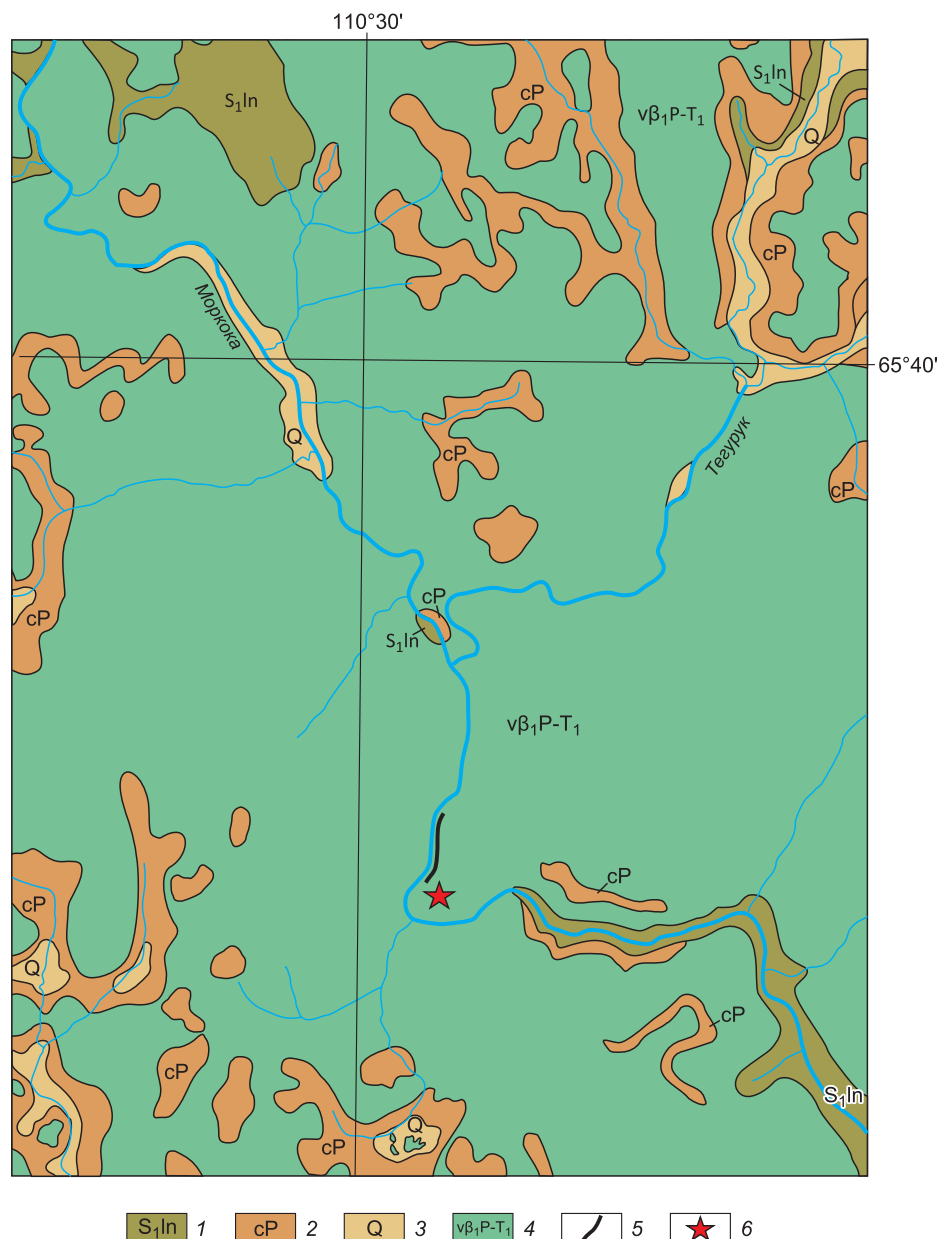


Рис. 1. Геологическая карта р. Моркока. Масштаб 1:200000.

1 – силур; 2 – пермь; 3 – четвертичные отложения; 4 – траппы; 5 – обнажение Мр-61; 6 – место возможного нахождения кимберлитов

Fig. 1. Geological map of the Morkoka River. Scale 1:200000.

1 – Silurian; 2 – Permian; 3 – Quaternary; 4 – traps; 5 – outcrop Mr-61; 6 – location of possible kimberlites

траптовых интрузивов такой мощности. Приподовенные горизонты силла, наблюдаемые в обнажении в коренном залегании, сложены среднезернистыми оливинсодержащими долеритами, переходящими в сторону контакта в микродолериты. Преобладает пойкилоофитовый тип структуры (рис. 3, а), обусловленный соответствующим взаимоотношением основных породообразующих минералов: плагиоклаза и пироксена. Первый

представлен лейстами лабрадора (An_{68-47}), а второй – крупными ойкиокристаллами авгита ($Wo_{40-42}En_{35-39}Fs_{19-24}$). Оливин – постоянный минерал долеритов образует скопления по 3–5 округлых зерен и отвечает по составу гиалосидериту (Fa_{42-48}). Кроме названных минералов в сложении долеритов участвует титаномagnetит, а в мезостазисных участках отмечается апатит. Интерстиционные участки в долеритах немно-

Курумник, развалы долеритов

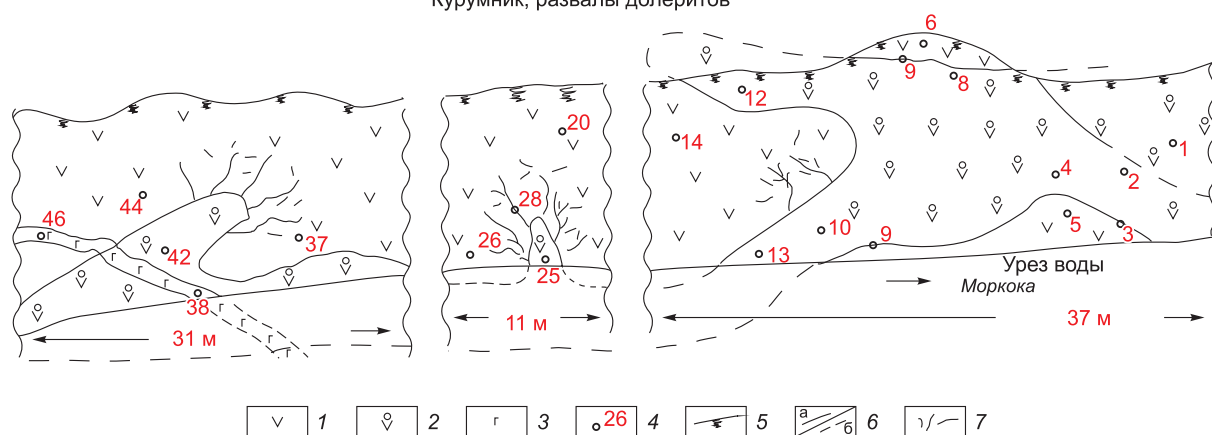


Рис. 2. Схематический рисунок обнажения Мр-61. Общая протяженность обнажения ~ 900 м, высота коренных выходов 8–10 м.

1 – долериты интрузивов I петротипа; 2 – долериты интрузивов II петротипа; 3 – долериты интрузивов III петротипа; 4 – места отбора проб; 5 – бровка над коренными выходами с почвенным слоем; 6 – контакты интрузий: а – видимые, б – предполагаемые; 7 – зона дробления, пронизанная жилками долеритов

Fig. 2. Schematic drawing of outcrop Mr-61 total length of outcrop ~ 900 m, height of bedrock outcrops 8–10 m.

1 – petrotype I intrusive dolerites; 2 – dolerites of petrotype II intrusions; 3 – dolerites of petrotype III intrusions; 4 – sampling sites; 5 – edge above the root outcrops with a soil layer; 6 – contacts of intrusions: a – visible; b – supposed; 7 – crushing zone penetrated by dolerite veins

гочисленны, не более 2 об. %. Вторичное преобразование порообразующих минералов незначительное и в основном касается оливина. Как показывают результаты химического анализа (см. таблицу), долериты сформированы расплавом толеитовой серии, нормально насыщенным кремнекислотой и умеренно обогащенным титаном, содержание которого варьирует около 1,5 %. В целом долериты отвечают среднему траппу по [4] и относятся к его первому петрохимическому типу по [2, 3].

Интрузив второй фазы внедрения, расположенный под верхним силлом, более молодой и связан со вторым этапом магматической деятельности. Он оказывает на верхний силл значительное динамическое воздействие. Наблюдается вдавливание (см. рис. 2) вновь внедряющегося вещества в приподошвенные породы верхнего силла. Кровля нижнего интрузива приобретает волнообразную форму. В теле первого интрузива эти волны выглядят как отдельные блоки куполообразной формы высотой до 5 м и шириной до 15–20 м. Вокруг таких куполов/блоков в долеритах раннего интрузива формируются зоны дробления, часто пронизанные ветвящимися жилками долеритов второго интрузива (см. рис. 2). В свою очередь в долеритах куполообразных образований наблюдаются следы микробрекчирования. Под микроскопом в скрещенных ни-

келях это явление выражается в мозаичном погасании породы. В целом второй интрузив выполнен средне-мелкозернистыми долеритами с офитовой структурой (рис. 3, б) в отличие от пойкилоофитовой, характерной для долеритов верхнего интрузива. Краевые части силла представлены долеритовыми порфиридами и микродолеритами. Порфировость пород обусловлена крупными таблитчатыми кристаллами плагиоклаза (рис. 4). Все разновидности пород – оливинсодержащие. Оливин по составу отвечает также гялосидериту (Fa_{38-47}), но является более магнезиальным. Клинопироксен долеритов чаще всего имеет изометрично округлую форму кристаллов и практически не содержит лейст плагиоклаза (см. рис. 3, б). По составу это менее железистый, более магнезиальный авгит ($\text{Wo}_{42}\text{En}_{40-46}\text{Fs}_{12-16}$). Основной порообразующий минерал долеритов – плагиоклаз, постоянно зонален и соответствует лабрадору (An_{77-59}). В порфировых выделениях основность минерала повышается до битовнита (An_{86-81}). Данные химического состава долеритов (см. таблицу) показывают, что они сформированы базальтовым расплавом, нормально насыщенным кремнекислотой. Долериты интрузива характеризуются низкими содержаниями титана (около 1 об. % TiO_2), щелочей, фосфора и суммарного железа при низкой степени его окисленности. Долери-

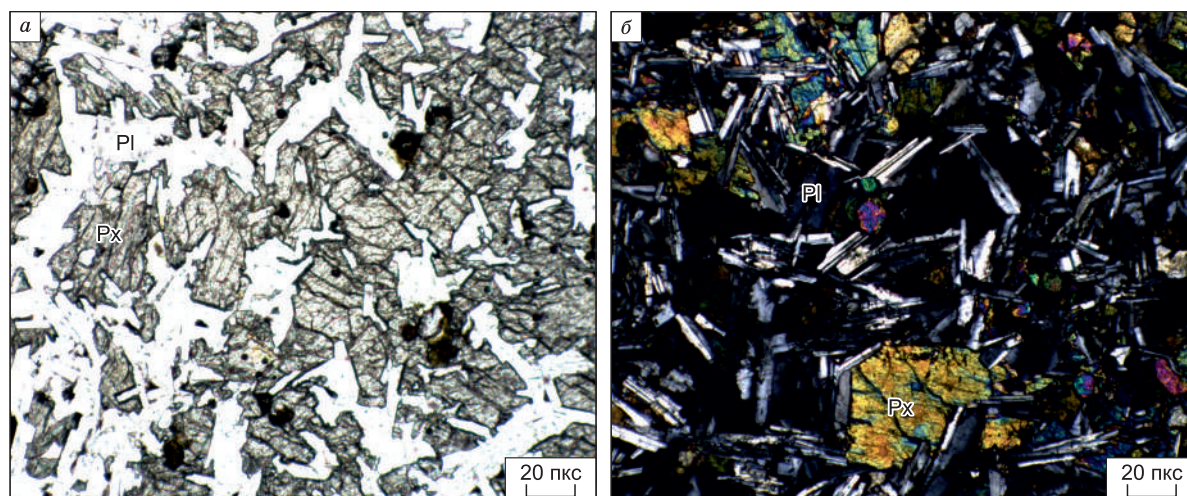


Рис. 3. Пойкилофитовая структура долеритов I петротипа (обр. 61-6) (а) и офитовая структура долеритов II петротипа (обр. 61-20) (б)

Fig. 3. (a) Poikilophyte structure of dolerites of petrotype I (sample 61-6); (б) ophitic structure of petrotype II dolerites (sample 61-20)

ты обладают устойчивыми и несколько повышенными содержаниями магния и кальция. Таким образом, можно констатировать, что долериты верхнего и нижнего интрузивов различаются по структурным признакам, по составу основных породообразующих минералов: основность плагиоклаза, железистость и магнезиальность пироксена и оливина, и по петрохимическим признакам: содержание TiO_2 , P_2O_5 , ΣFe (значимо), MgO и CaO (менее значимо).

Интрузив третьей фазы внедрения. Поскольку дайка сечет оба пластовые интрузива, она яв-

ляется наиболее молодой. По аналогии с разбуренными в Далдыно-Алакитском районе подобными объектами, относящимися к третьей фазе внедрения траппов, можно предположить, что в данном случае основное тело интрузива, которое находится на глубине, так же должно быть пластовым, а в обнажении фиксируется его маломощная дайкообразная апофиза. Дайка имеет извилистую форму, четкие контакты с обоими силлами (см. рис. 2). Выполнена дайка тонкозернистыми долеритами с долеритовой структурой, такситовой текстурой (рис. 5) и слабо проявлен-

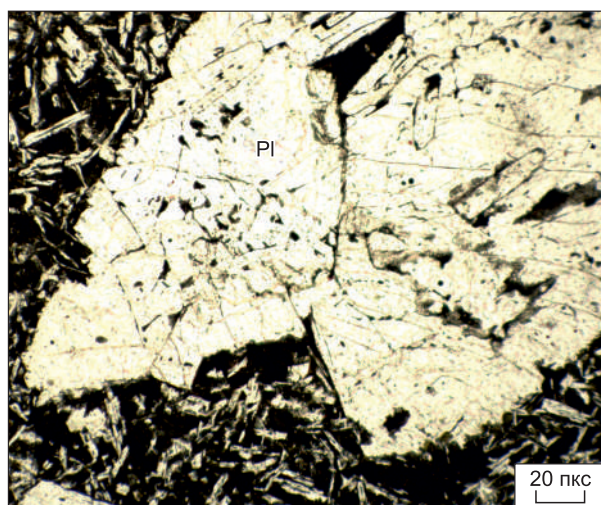


Рис. 4. Порфировые кристаллы плагиоклаза (обр. 61-13)

Fig. 4. Porphyry crystals of plagioclase (sample 61-13)

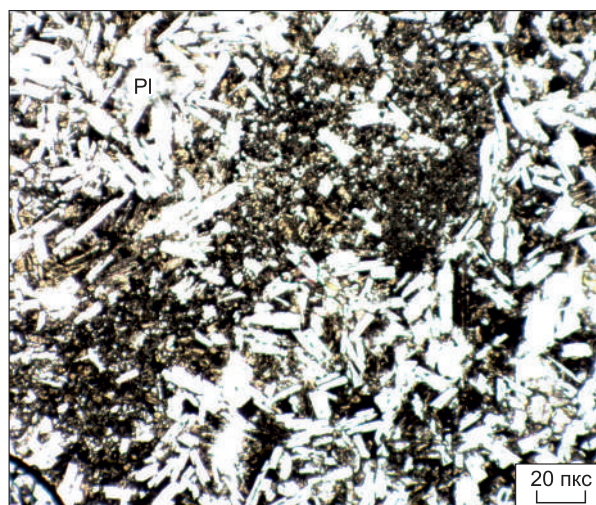


Рис. 5. Такситовый характер текстуры (обр. 61-38)

Fig. 5. Taxite nature of the texture (samples 61-3)

ным трахитоидным расположением плагиоклаза. Такситоидность породы обусловлена незакономерным чередованием участков мелкозернистых и тонкозернистых пород, зернистость в которых различается в 2–3 раза (см. рис. 5). Основной породообразующий минерал долеритов – плагиоклаз, кристаллизуется в форме удлинённых узких лейст со слабопроявленной зональностью. По составу он отвечает андезину (An_{51-44}). Моноклинный пироксен, доля которого в породе не превышает 30 %, представлен двумя группами зерен: округлыми и столбчатыми кристаллами. Последние по составу оказались более железистыми и менее магнезиальными. В целом клинопироксен долеритов дайки отвечает железистой разновидности авгита ($Wo_{34-38}En_{32-37}Fs_{26-33}$). Оливин достоверно не установлен, хотя по отдельным редким боуленгитовым псевдоморфозам можно предположить его первичное присутствие в породе. В петрохимическом отношении (см. таблицу) долериты дайки отличаются высокими содержаниями титана, суммарного железа и калия и пониженными величинами кремнекислоты, глинозема и магнезия, чем они резко отличаются от долеритов первых интрузивов.

Обсуждение

Проведенное изучение траппов р. Моркока показало, что в данном районе в обнажении вскрываются три самостоятельных интрузива, образованные в три фазы внедрения базитовой магмы, отличающейся своими петрохимическими характеристиками, соответствующие трем петрохимическим типам базитов. Установлено, что первый силл, залегающий горизонтально, перекрывает существенную часть территории, образуя сплошное трапповое поле (см. рис. 1). Находящийся под ним второй интрузив вначале (начало обнажения) внедрялся на протяжении ~ 10 км горизонтально вдоль подошвы верхней интрузии. Затем он начинает резко сминаться. То есть очевидна схожесть в поведении трапповых силлов р. Моркока с пластовыми интрузиями вблизи некоторых кимберлитовых трубок. Так, например, в производственном карьере трубки Комсомольская вскрываются два силла [5, рис. 2]. Верхний силл залегает горизонтально согласно с вмещающими осадочными породами и перекрывает кимберлиты, тогда как нижний, встретив на пути внедрения препятствие в виде кимберлитов, начинает сминаться, «гормошиться», задирается кверху, как бы стараясь «перепрыг-

нуть» через кимберлит. Оказалось, что деформирующийся силл выполнен более вязкой интенсивно раскристаллизованной магмой, относящейся ко второму петрохимическому типу. Аналогичное поведение траппов было описано вблизи трубки Моркока. Здесь также установлено два силла. Верхний из них занимает бронирующее положение и перекрывает кимберлиты, а залегающий под ним второй интрузив перед диагматом образует раздув мощности, начинает сминаться, щепиться на многочисленные апофизы ([6]; рис. 2, в). Как оказалось, второй силл также был выполнен хорошо раскристаллизованной, более вязкой магмой. То есть в зависимости от внутреннего строения и состава траппы по-разному ведут себя вблизи кимберлитов. Более вязкая базитовая магма чутко реагировала на плотностные характеристики вмещающих пород.

Известно, что под воздействием кимберлитов в процессе их становления вмещающие породы становятся более плотными [6, 7], в них возникают термоупругие [8] и магнитоупругие [9, 10] напряжения, аналогичные тем, что проявляются при подземном ядерном взрыве [11]. Согласно данным бурения, такие изменения вмещающих пород, на которые начинает реагировать внедряющаяся базитовая магма, могли распространяться вокруг кимберлитов на несколько километров. Таким образом, именно кимберлиты и окружающие их вмещающие породы создают трудно проницаемую зону для относительно вязкой интенсивно раскристаллизованной базитовой магмы. Обычно подвижная, обладающая мощной интрузирующей силой базитовая магма формирует многокилометровые пластовые интрузии, как правило, залегающие согласно с вмещающими их осадочными породами. Учитывая сказанное, можно с определенной долей уверенности предположить, что в данном случае сложная морфология траппов р. Моркока обусловлена кимберлитами.

Возможен следующий сценарий становления траппов. Внедряющийся первым базитовый расплав, формировавший верхний силл, перекрывал («запечатал») кимберлиты. Поступающая через какое-то время, уже частично раскристаллизованная на глубине, более вязкая магма, встретив на пути внедрения кимберлиты и вмещающие диагмату более плотные карбонатные породы, как бы уперлась в них. Как кимберлиты, так и вмещающие их осадочные породы оказались для нижнего силла препятствием. Внедряющийся магма-

Химический состав долеритов р. Моркока в районе р. Тегерюк, мас. %
Chemical composition of the dolerites of the Morkoka River in the area of the Tegeryuk River, weight %

Компонент	I петрохимический тип								II петрохимический тип								III петрохимический тип				
	61/14	61/18	61/26	61/31	61/34	61/37	61/40	61/44	1	61/1	61/4	61/6	61/10	61/12	2	61/38	61/46	41/1-2	3		
SiO ₂	47,53	48,18	47,27	48,35	47,86	48,56	48,57	47,99	48,82	48,52	48,70	48,61	48,49	48,63	49,38	47,88	47,86	45,30	47,87		
TiO ₂	1,43	1,47	1,45	1,49	1,45	1,48	1,51	1,45	1,46	1,30	1,29	1,24	1,30	1,28	1,02	2,05	2,02	2,15	1,95		
Al ₂ O ₃	15,22	15,21	14,91	14,85	14,95	14,93	15,13	15,11	15,04	15,05	14,55	15,02	14,73	14,99	15,00	14,23	14,04	14,42	14,77		
Fe ₂ O ₃	4,12	3,67	4,93	4,12	5,35	3,83	5,37	5,45	3,89	3,77	3,33	2,92	3,90	4,88	3,16	3,69	4,31	5,36	4,27		
FeO	8,74	9,58	8,17	8,75	8,10	9,13	7,78	7,8	8,79	9,70	9,59	9,93	9,21	8,18	7,97	10,89	10,47	11,53	9,76		
MnO	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,21	0,20	0,21	0,20	0,17	0,21	0,20	0,24	0,20		
MgO	7,13	6,85	6,76	6,35	6,40	6,88	6,50	6,26	6,89	6,62	5,72	4,73	6,00	6,10	7,97	5,84	5,22	6,70	6,33		
CaO	10,69	10,80	10,86	11,35	11,11	10,73	11,25	11,16	10,29	11,88	13,05	13,61	11,88	11,27	11,53	10,66	11,22	10,50	10,17		
Na ₂ O	2,22	2,50	2,48	2,43	2,40	2,46	2,40	2,46	2,40	2,38	2,52	2,47	2,52	2,35	2,01	2,65	2,69	2,36	2,46		
K ₂ O	0,44	0,46	0,44	0,46	0,48	0,46	0,44	0,44	0,47	0,32	0,41	0,38	0,41	0,43	0,40	0,57	0,41	0,47	0,61		
P ₂ O ₅	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,23	0,17	0,20	0,15	0,12	0,17	0,17	0,15	0,15	0,11	0,18	0,17	0,24	0,21		
П.п.п	1,95	0,17	2,01	1,46	1,59	1,21	0,39	1,24	1,66	0,57	0,82	0,49	1,02	1,67	1,42	1,22	1,37	0,70	1,59		
Сумма	99,83	99,25	99,65	99,98	100,07	100,09	99,7	99,75	100,05	100,44	100,36	99,77	99,82	100,13	100,14	100,07	99,98	99,97	100,19		
n									128						123				88		

Примечание. Анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ИГАБМ СО РАН; 1, 2, 3 – средние составы долеритов восточной части Тунгусской синеклизы.

Note. The analyses were performed in the chemical analytical laboratory at DPMGI SB RAS; 1, 2, 3 – average compositions of dolerites in the eastern part of the Tunguska syncline.

тический клин начинает сминаться, вдавливаясь в долериты верхнего интрузива, дробить их и инжектировать в раздробленные породы в виде тонких ветвящихся жилок. Часть магмы, возможно, могла, обогнув возникшее препятствие и уже на каком-то расстоянии от кимберлитов не чувствуя их влияние, вновь формировать пологозалегающий силл. Третий интрузив представлен в обнажении лишь маломощной дайкой. Предполагается, что базитовый расплав, его формировавший, будучи наиболее вязким, интенсивно раскристаллизованным и имевшим более высокую (до 3 г/см³ против 2,7–2,8 г/см³) плотность, остановился перед кимберлитами, образуя раздув мощности. (Известны случаи, когда перед кимберлитами в силлах траппов их мощность увеличивается втрое.) Дальнейшее внедрение расплава могло проходить в виде маломощных даек, аналогичных тем, что показаны на рис. 2 либо в [6, рис. 2].

Заключение

Проведенное изучение траппов р. Моркока показало, что в зависимости от раскристаллизации базитовой магмы, изменения плотностных характеристик и вязкостных свойств расплава внедряющий магматический клин по-разному реагирует на кимберлиты и, особенно, на вмещающие их осадочные породы. Последние, за счет приобретенного под воздействием внедряющихся кимберлитов термоупругого и магнитоупругого эффектов, образуют вокруг диатремы «защитный экран», препятствующий относительно свободному внедрению базитов [9]. В подобных случаях трапповые силлы вблизи кимберлитов начинают менять свою конфигурацию, тем самым сигнализируя о наличии кимберлитов.

Приведенная выше информация с достаточной долей уверенности дает основание предполагать, что в случае траппов бассейна р. Моркока их морфологические изменения обусловлены кимберлитами, тело которых находится на левом берегу реки в 5 км ниже по течению от р. Тегерюк в подковообразной излучине. Именно подковообразный изгиб р. Моркока, оконтуривая инъективное поднятие осадочных пород, обусловленное внедрением кимберлитов, дополнительно подтверждает возможное присутствие здесь кимберлитов.

Список литературы / References

1. Зинчук Н.Н. Об основных геолого-поисковых обстановках при прогнозировании кимберлитовых трубок. *Наука и образование*. 2016;(4):7–15.

Zinchuk N.N. Geological structure and petrography of kimberlite pipes. *Nauka i Obrazovanie*. 2016;(4):7–15. (In Russ.)

2. Томшин М.Д., Копылова А.Г., Тян О.А. Петрохимическое разнообразие траппов восточной периферии Тунгусской синеклизы. *Геология и геофизика*. 2005;46(1):72–82.

Tomshin M.D., Kopylova A.G., Tyan O.A. Petrochemical diversity of traps on the eastern periphery of the Tunguska syncline. *Russian Geology and geophysics*. 2005;46(1):72–82. (In Russ.)

3. Копылова А.Г., Томшин М.Д. Геохимия траппов восточной части Тунгусской синеклизы. *Отечественная геология*. 2011;(5):80–88.

Kopylova A.G., Tomshin M.D. Geochemistry of traps in the eastern part of the Tunguska syncline. *Otechestvennaya geologiya [Domestic geology]*. 2011;(5):80–88. (In Russ.)

4. Кутолин В.А. Проблемы петрохимии и петрологии базитов. Новосибирск: Наука; 1972. 208 с.

Kutolin V.A. Problems of petrochemistry and petrology of basites. Novosibirsk: Nauka; 1972. 208 p. (In Russ.)

5. Константинов К.М., Мишенин С.Г., Томшин М.Д., Корнилова В.П., Ковальчук О.Е. Петромагнитные неоднородности пермо-триасовых траппов Далдыно-Алакитского алмазоносного района (Западная Якутия). *Литосфера*. 2014(2):17–98.

Konstantinov K.M., Mishenin S.G., Tomshin M.D., Kornilova V.P., Kovalchuk O.E. Petromagnetic inhomogeneities of the Permo-Triassic traps of the Daldino-Alakit diamond province (Western Yakutia). *Lithosphere*. 2014(2):17–98 (In Russ.)

6. Томшин М.Д., Лелюх М.И., Мишенин С.Г., Сунцова С.П., Копылова А.Г., Убинин С.Г. Схема развития траппового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы. *Отечественная геология*. 2001;(5):19–24.

Tomshin M.D., Lelyukh M.I., Mishenin S.G., Suntsova S.P., Kopylova A.G., Dubinin S.G. Scheme of development of trap magmatism of the eastern side of the Tunguska syncline. *Otechestvennaya geologiya [Domestic geology]*. 2001;(5):19–24. (In Russ.)

7. Коробков И.Г. Евстратов Л.А., Мильштейн Е.Д. Базитовые вулканоструктуры алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. Томск: STT; 2013. 270 с.

Korobkov I.G. Evstratova L.A., Milstein E.D. Mafic volcanic structures of diamondiferous areas in the east side of Tunguska syncline. Tomsk: STT; 2013. 270 p. (In Russ.)

8. Никулин В.И., Лелюх М.И., Фон-дер-Флаасс Г.С. Алмазопрогностика (Концепция и методология). Иркутск: НПФ «Алмаз-Прогноз»; 2001. 317 с.

Nikulina V.I., Lelyukh M.I., Von der Flaass G.S. Diamond Prognostics (Concept and methodology). Irkutsk: NPF "Almaz-Prognoz"; 2001. 317 p. (In Russ.)

9. Константинов К.М., Киргуев А.А., Хороших М.С. Петромагнитные неоднородности стресса: прикладное следствие Виллари-эффекта. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2018;24(2):29–38. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2018-24-2-29-38>

Konstantinov K.M., Kirguyev A.A., Horoshih M.S. Petromagnetic heterogeneities of stress: applied corollary of Villari effect. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2018;24(2):29–38 (In Russ.). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2018-24-2-29-38>

10. Константинов И.К., Константинов К.М., Орлова Г.В. и др. Влияние давления и температуры на анизотропию магнитной восприимчивости вмещающих горных пород: наблюдения, гипотезы и эксперименты. *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции*. Вып. 20.

г. Иркутск, 18–21 октября 2022 г. Складов Е.В. (ред). Иркутск: Институт земной коры СО РАН; 2022:137–139.

Konstantinov I.K., Konstantinov K.M., Orlova G.V. et al. Influence of pressure and temperature on the anisotropy of magnetic susceptibility of host rocks: observations, hypotheses and experiments. *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from ocean to continent)*. Proceedings of the Conference. Issue 20, Irkutsk, October 18–21, 2022. Sklyarov E. V. (ed.). Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2022:137–139. (In Russ.)

11. Костровицкий С.И. *Физические условия, гидравлика и кинетика заполнения кимберлитовых трубок*. Новосибирск: Наука; 1976. 96 с.

Kostrovitsky S.I. *Physical conditions, hydraulics and kinetics of filling kimberlite pipes*. Novosibirsk: Nauka; 1976. 96 p. (In Russ.)

Об авторах

ТОМШИН Михаил Дмитриевич, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-5865-7521>, RIN AuthorID: 71202, e-mail: tmd@diamond.ysn.ru

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

About the authors

TOMSHIN, Mihail Dmitrievich, Cand. Sci (Geol. and Mineral.), Head of the Geological Museum Laboratory, Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-5865-7521>, RISC AuthorID: 71202, e-mail: tmd@diamond.ysn.ru

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

Поступила в редакцию / Submitted 23.06.2023

Поступила после рецензирования / Revised 25.07.2023

Принята к публикации / Accepted 31.07.2023