

Базиты Вилюйско-Мархинского дайкового пояса (Вилюйский палеорифт) и их соотношения с кимберлитами Накынского поля

Basites of Vilyui-Markhinsky dike belt (Vilyui paleorift) and their relations with Nakyn field kimberlites

**Черенков В. Г., Корнилова В. П.,
Голубева Ю. Ю., Герасимова М. В.**

**Cherenkov V. G., Kornilova V. P.,
Golubeva Yu. Yu., Gerasimova M. V.**

Возникший в результате девонского рифтинга на восточной окраине Сибирской платформы Вилюйско-Мархинский дайковый пояс (ВМДП) – краевая часть (область рассеянного рифтогенеза) Вилюйской палеорифтовой структуры. Накынное поле расположено в центральной части пояса, но контролируется независимой от него системой тектонических нарушений северо-северо-восточного направления. Дайка пояса интрузирует кимберлитовую трубку Ньюрбинская. На их контакте образовались своеобразные брекчии – результат взаимодействия продуктов дегазации базитовой магмы с кимберлитами. Долериты дайки термально метаморфизуют брекчии, в которых возникли высокотемпературные новообразования андрадита, Al-лизардита и клинохризотила. Базиты ВМДП представляют собой единую ассоциацию, в которой выделяются два ряда пород: умеренно-титанистые ($\text{TiO}_2 \sim 2,5$ мас. %) с нормальной щёлочностью и низким содержанием P_2O_5 и высокотитанистые ($\text{TiO}_2 \sim 4,4$ мас. %), изредка с умеренной щёлочностью. Различия вещественного состава даек незначительны. Определение возраста базитов пояса $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом показывает, что они образовались в узком временном интервале, отвечающем верхам франского – фаменскому ярусу верхнего девона (368,5–376,3 млн лет). Размещение базитов и кимберлитов Накынского поля контролируют разломы различных типа, ориентировки, возрастов. Первыми образовались кимберлиты, интрузии ВМДП – вторыми.

Ключевые слова: девонский палеорифт, дайковый пояс, взрывные брекчии, базиты, кимберлиты, трубки, дайки, тектонический контроль, возраст.

The Vilyui-Markhinsky dike belt (VMDB), which was formed as a result of Devonian rifting on the eastern margin of the Siberian Platform, is the marginal part (area of scattered rifting) of the Vilyui paleorift structure. The Nakyn field is located in the central part of the belt, but is controlled by an independent system of NNE-trending tectonic faults. The belt dyke intrudes the Nyurbinskaya kimberlite pipe. On their contact, specific breccias were formed resulting from the interaction between degassing products of basic magma with kimberlites. The typical zonality of the dyke endocontact indicates a later dyke introduction. Dolerite dikes thermally metamorphosed breccias in which high-temperature neoplasms of andradite, Al-lizardite, and clinochrysotile were generated. VMDB basites represent a single association, in which two series of rocks are distinguished: moderate-titanium ($\text{TiO}_2 \sim 2.5$ wt. %) with normal alkalinity and low P_2O_5 content, and high-titanium ($\text{TiO}_2 \sim 4.4$ wt. %), occasionally with moderate alkalinity. The differences in the dike composition are insignificant and are the result of natural variations in the composition of individual bodies. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the VMDB basites, the method characterized by the best results convergence, shows that they formed in a narrow timeframe corresponding to the Upper Frasnian – Famennian stage of the Upper Devonian (368.5 to 376.3 Ma). The location of the Nakyn field basites and kimberlites is controlled by faults of various types, orientation and age. Kimberlites formed first, and VMDB intrusions followed.

Keywords: Devonian paleorift, dikebelt, explosive breccias, basites, kimberlites, kimberlite pipes, dikes, tectonic control, age.

Для цитирования: Черенков В. Г., Корнилова В. П., Голубева Ю. Ю., Герасимова М. В. Базиты Вилюйско-Мархинского дайкового пояса (Вилюйский палеорифт) и их соотношения с кимберлитами Накынского поля. Руды и металлы. 2021. № 4. С. 85–108. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10030.

For citation: Cherenkov V. G., Kornilova V. P., Golubeva Yu. Yu., Gerasimova M. V. Basites of Vilyui-Markhinsky dike belt (Vilyui paleorift) and their relations with Nakyn field kimberlites. Ores and metals, 2021, № 4, pp. 85–108. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10030.

В среднем палеозое восточная часть Сибирской платформы подверглась интенсивной тектоно-магматической активизации, связанной с возникновением Вилюйской палеорифтовой структуры (Патомско-Вилюйский авлакоген) [1, 9].

Процесс рифтогенеза сопровождался формированием многочисленных разрывных нарушений, образующих краевые (Вилюйско-Мархинская и Чаро-Синская) и фронтальную (Контайско-Джербинская) зоны разломов [6, 16]. Наиболее масштабна первая из них, образовавшаяся на северо-западном крыле рифта. Её протяжённость более 700 км, ширина от 20–40 км на юге до 150 км на северо-востоке (рис. 1). Разломы интродуцированы дайками основного состава, хорошо выделяющимися в магнитном поле; их сообщество рассматривается как Вилюйско-Мархинский дайковый пояс (ВМДП). Форма зоны типа «конского хвоста» и её строение, характеризующееся многочисленными пересекающимися сбросами, сдвигами, мелкими грабенами и горстами, позволяет относить её к структуре типа пулл-апарт (pull-apart), связанной с зоной региональных субмеридиональных северо-восточных сдвигов [12, 22]. Особую значимость зоне придаёт пространственная связь с ней двух из четырёх главных алмазоносных кимберлитовых полей Якутии – Мало-Ботуобинского и Накынского, а также убогоалмазоносного Сюльдюкарского, что, по достаточно распространённым представлениям, позволяет рассматривать её как кимберлитоконтролирующую структуру [2, 6, 7, 14; В. И. Шаталов и др., 2005 г.].

После открытия Накынского поля в границах зоны был выполнен огромный объём геологоразведочных работ. Ожидаемого результата они не дали, но позволили детально исследовать её с применением обширного комплекса геофизических работ разных масштабов, бурения и опробования. При этом, по материалам Ю. А. Дукардта, В. И. Леухина, Ю. Д. Молчанова, В. М. Судакова, В. И. Шаталова, Ю. Т. Яныгина и др., в составе ВМДП М. Д. Мащакон [10] были выделены три магматических комплекса, связанных с системами

вмещающих их разломов определённых направлений, – среднемархинский, вилюйско-мархинский и дьяхтарский, вошедших затем в Легенду Анабаро-Вилюйской серии ГГК-1000 [8]. Тем не менее остаётся достаточно много дискуссионных вопросов, связанных с возрастом магматитов и их систематикой. Несмотря на то что эксплуатационным карьером в настоящее время вскрыта зона пересечения кимберлитовой трубки и дайки базитов, нет даже общепринятого представления относительно их соотношения с кимберлитами. Всё это, с учётом гипотетической роли Вилюйско-Мархинской зоны как структуры, контролирующей размещение кимберлитов, делает её изучение заслуживающим внимания.

Задачи настоящей работы – установление характера пересечения трубки Нюрбинская с дайкой базитов, выяснение возможности выделения в составе ВМДП отдельных магматических комплексов и оценка значения пояса как структуры, контролирующей размещение проявлений кимберлитового магматизма.

Работы проводились в Накынском поле, в том числе в эксплуатационном карьере Нюрбинский, в котором вскрыта зона пересечения кимберлитов и базитов, а также в долинах рек Марха и Чимидикян.

Накынское поле, в которое входит трубка Нюрбинская, относится к числу полей ярко выраженного линейного типа. Оно находится в центральной части ВМДП, но связано с системой тектонических нарушений, не совпадающей с ориентировкой разломов пояса, один из которых пересекает трубку. Пять из шести известных к настоящему времени кимберлитовых тел поля связаны с разломом Диагональный длиной ~ 12 км, одно тело – с параллельным ему разломом Параллельный. Оба разлома интродуцированы дайками кимберлитов, местами выходящими на доюрский эрозионный уровень (рис. 2).

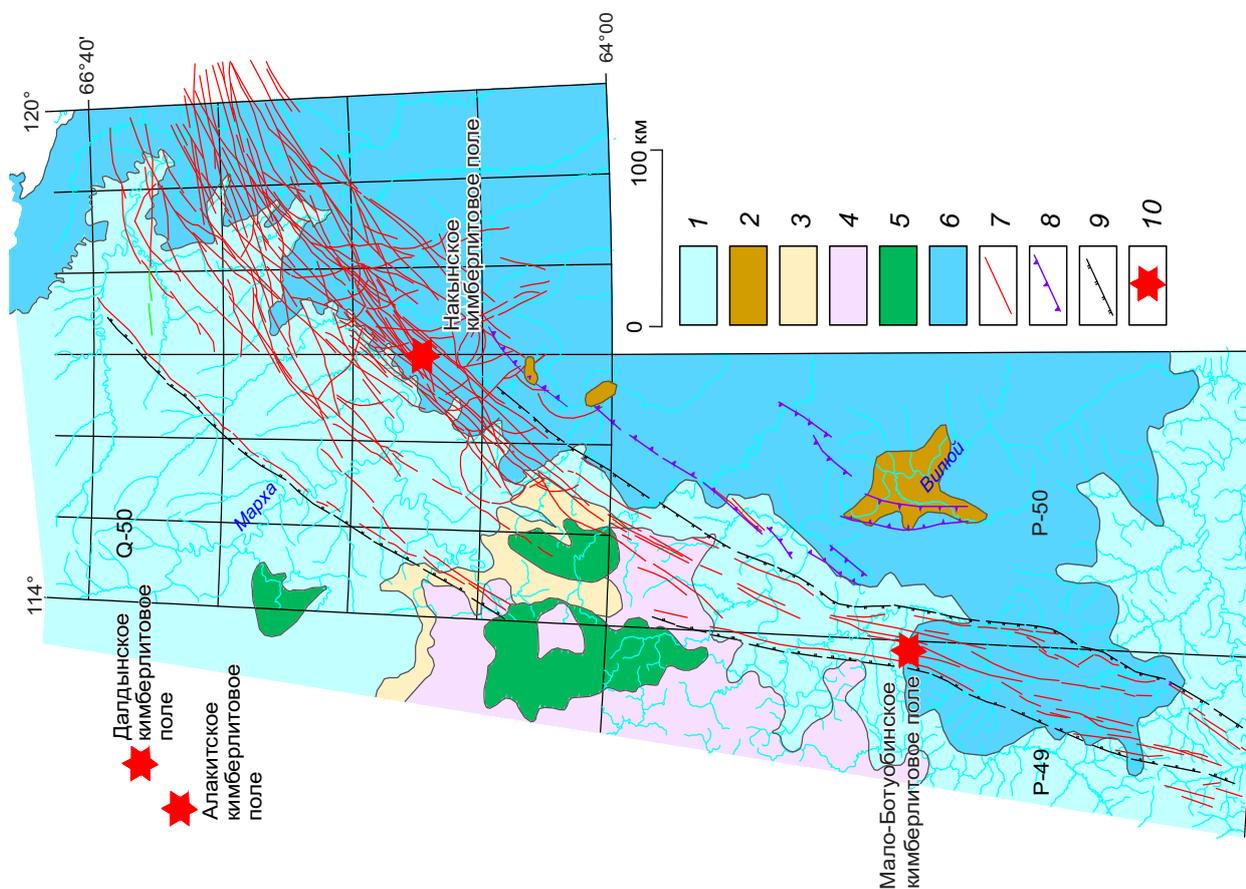
Зона пересечения кимберлитовой трубки и дайки базитов изучалась на горизонте -117 м карьера, где она вскрыта полностью. Трубка, имеющая удлинённую форму, вытянута вдоль контролирующего разлома Диагональный с простиранием на северо-северо-восток 15–25°.

Рис. 1. Схема геологического строения Вилуйско-Мархинского дайкового пояса (по С. В. Бондаренко, 2008 г., упрощено):

1 – терригенно-карбонатные отложения венд-силурийского возраста; 2 – рифтогенный вулканогенно-осадочный комплекс среднего-позднего девона; 3 – каменноугольно-пермские терригенные отложения; 4 – вулканогенный комплекс раннего триаса; 5 – интрузивный комплекс раннего триаса; 6 – морские и терригенные отложения юры и мела; 7 – аномалии магнитного поля над дайками ВМДП; 8 – разломы в центральных частях Вилуйского палеорифта; 9 – границы ВМДП; 10 – кимберлитовые поля

Fig. 1. Scheme of the Vilyui-Marhinsky dike belt (after S. V. Bondarenko, 2008, simplified):

1 – Vendian-Silurian terrigenous-carbonate deposits; 2 – Middle-Late Devonian riftogenic volcanogenic-sedimentary sequence; 3 – Carboniferous-Permian terrigenous deposits; 4 – Early Triassic volcanogenic sequence; 5 – Early Triassic intrusive sequence; 6 – Jurassic and Cretaceous marine and terrigenous deposits; 7 – magnetic anomalies above VMDB dikes; 8 – faults in the Vilyui paleorift central parts; 9 – VMDB boundaries; 10 – kimberlite fields



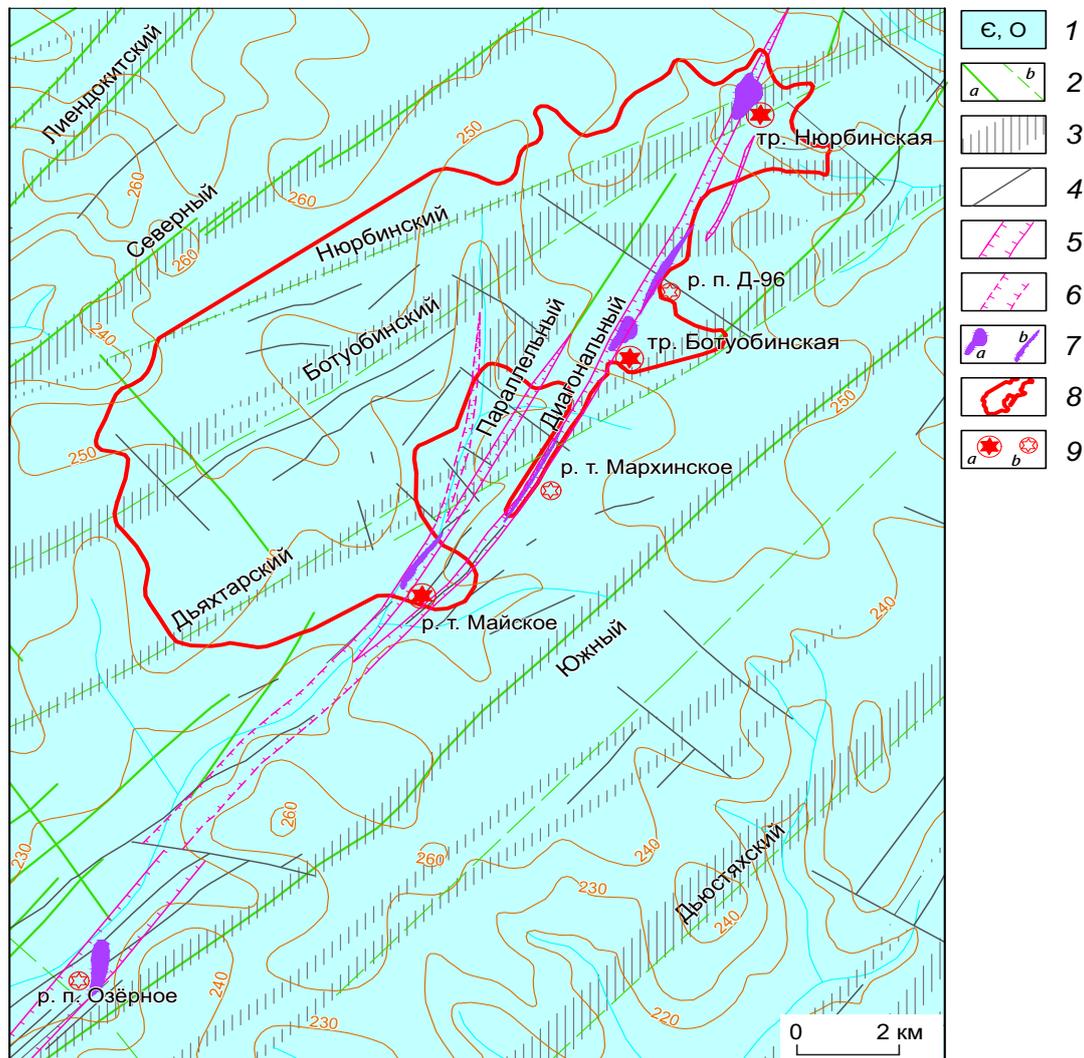


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Накынского поля (со снятым чехлом юрских отложений) (по Э. А. Масленниковой, 2013 г.):

1 – карбонатные и терригенные морские отложения кембрия и ордовика (Є, О); 2 – дайки ВМДП (долериты, габбродолериты): уверенно выделяемые в магнитном поле (а), с низкой намагниченностью, прерывистые (b); 3 – зоны разрывных нарушений, полностью или фрагментарно интродуцированные дайками долеритов; 4 – тектонические нарушения второстепенные; кимберлитоконтролирующие нарушения: 5 – установленные (Диагональный и Параллельный разломы), 6 – предполагаемые; 7 – кимберлитовые тела: трубки взрыва (а), дайки (b); 8 – контур погребённой Нюрбинской россыпи; 9 – месторождения алмазов с промышленными запасами (а), недостаточно изученные (b)

Fig. 2. Sketch geological map of the Nakyn field (with Jurassic sedimentary cover removed) (after E. A. Maslennikova, 2013):

1 – Cambrian and Ordovician carbonate and terrigenous marine deposits (Є, О); 2 – VMDB dikes (dolerite, gabbro-dolerite): distinctly identifiable in a magnetic field (a), low-magnetic, discontinuous (b); 3 – fault zones completely or partially intruded by dolerite dikes; 4 – minor tectonic faults; kimberlite-controlling faults: 5 – identified (Diagonal and Parallel faults), 6 – inferred; 7 – kimberlite bodies: volcanic pipes (a), dikes (b); 8 – contour of the buried Nyurbinskaya placer; 9 – diamond deposits: economic (a), underexplored (b)

Она разделена на Северный и Южный блоки (являющиеся, видимо, отдельными «лопастями» диатремы) дайкой базитов, интрузирующей разлом Ботуобинский.

Диагональный разлом имеет весьма простое строение, почти всегда присущее нарушениям, вмещающим кимберлиты: он вертикальный, выполнен дайкой порфиривого кимберлита (мощность 0,5–2 м) с ровными контактами, практически лишёнными следов воздействия кимберлитовой магмы на вмещающие породы кембрия.

Разлом Ботуобинский имеет общее северо-восточное (~ 55–65°) простирание; он значительно мощнее и характеризуется сложным строением, представляя собой зону тектонического меланжа обрушения мощностью 50–70 м, выполненную множеством хаотически расположенных обломков и крупных (10–30 м) бло-

ков вмещающих пород. Естественно, что и интрузирующая его дайка имеет весьма сложную морфологию, далёкую от предполагавшейся по результатам разведочного бурения. На глубинах более 400 м от дневной поверхности она представляет собой единое тело переменной (от 30 до 150 м) мощности. Выше этой отметки приобретает весьма сложную форму, «расщепляясь» на 4–6 субвертикально ориентированных тел мощностью 3–45 м и длиной до 150 м, которые образуют систему слегка извилистых узких апофиз (рис. 3); одна из них отходит от дайки под углом ~ 70°. Ни одна из апофиз не достигает доюрской палеоповерхности, не доходя до неё около 150 м.

Начальные признаки «расщепления» дайки в теле трубки хорошо видны в дне карьера, где в долеритах отчётливо выделяются несколько узких (0,5–5 м) полос северо-восточного простирания длиной до 25 м, сложенных зеленовато-серыми экзоконтактовыми брекчиями (см. рис. 3). Вмещающие породы на контактах с более мощными апофизами осветлены, приобретают зеленовато-серый цвет вследствие интенсивной хлоритизации и серпентинизации; мощность зоны изменения 0,1–3 м. Воздействие маломощных апофиз на вмещающие породы выражено значительно слабее.

Что касается непосредственного контакта долеритов с кимберлитами, то его, по-видимому, не существует: во всех случаях, наблюдавшихся как нами, так и другими исследовате-

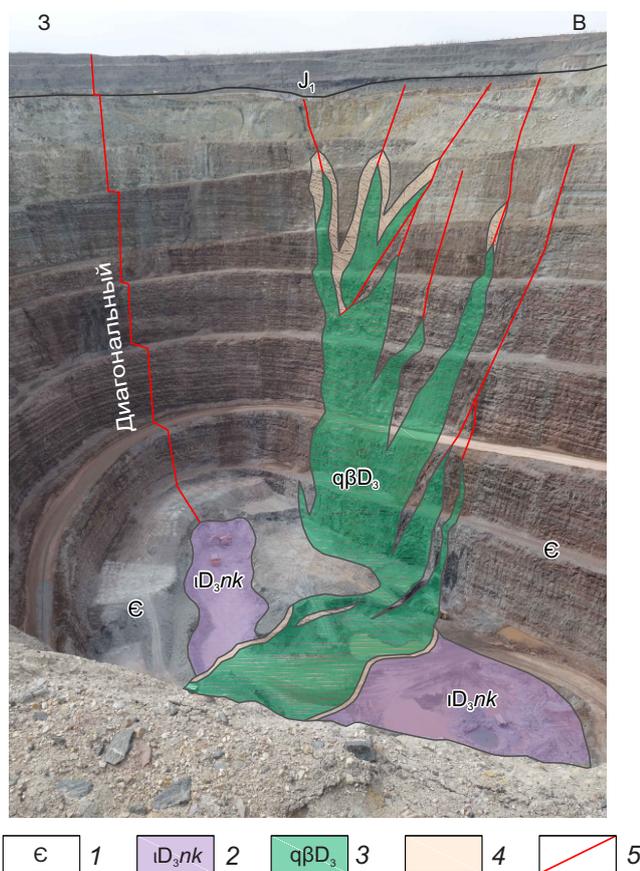


Рис. 3. Дайка долеритов, прорывающая кимберлитовую трубку Нюрбинская. Карьер Нюрбинский, гор. -117 м:

1 – вмещающие породы кембрия (€); 2 – кимберлиты ($iD_{2-3}nk$); 3 – долериты, микродолериты, габбро-долериты ($q\beta D_3$); 4 – контактовые карбонат-базитовые брекчии; 5 – разрывные нарушения

Fig. 3. Dolerite dike cutting Nyurbinskaya kimberlite pipe. Nyurbinsky pit, -117 m horizon:

1 – Cambrian host rocks (€); 2 – kimberlites ($iD_{2-3}nk$); 3 – dolerite, microdolerite, gabbro-dolerite ($q\beta D_3$); 4 – contact carbonate-basite breccias; 5 – faults

лями на более высоких уровнях; (М. Д. Томшин, 2004 г.), он сопровождается зоной разделяющих их брекчий. Эти породы, выявленные ещё на первых этапах разведки трубки Нюрбинская, были вскрыты многочисленными скважинами; за ними закрепилось название «карбонат-базитовые взрывчатые брекчии» (М. Д. Томшин, 2004 г.). Эти своеобразные породы встречаются на контактах базитов как с кимберлитами, так и с вмещающими породами; генезис их до настоящего времени дискуссионен, поскольку они в значительной мере являются ключом для понимания соотношений кимберлитов и базитов.

Брекчии на контактах базитов с карбонатными вмещающими породами кембрия тяготеют к апикальным частям апофиз дайки, где они выполняют линейные и трубообразные тела мощностью до 10–15 м и протяжённостью десятки метров. Их состав меняется в зависимости от близости к дайке или к вмещающим породам от существенно базитового до карбо-

натного (М. Д. Томшин, 2004 г.). Граница брекчий с базитами обычно чёткая, резкая (рис. 4, *a*), с вмещающими породами – постепенная, через зону трещиноватости; иногда брекчии образуют в них апофизы.

Вблизи контакта с дайкой брекчии сложены обломками долеритов с гиалопилитовой, интерсертальной структурами, аналогичными породам краевой фации интрузий (см. рис. 4, *b*), с единичными мелкими обломками вмещающих пород; содержание обломков в них до 90 % объёма породы. Форма обломков обычно округло-угловатая, размеры от долей миллиметра до первых метров. По направлению от дайки размеры обломков базитов уменьшаются; в том же направлении возрастает доля обломков вмещающих пород и, соответственно, в цементирующей основной массе сокращается количество магматической составляющей. Ввиду интенсивного метасоматоза карбонатные обломки сильно корродированны. Обломки магматических пород имеют реакционные каймы

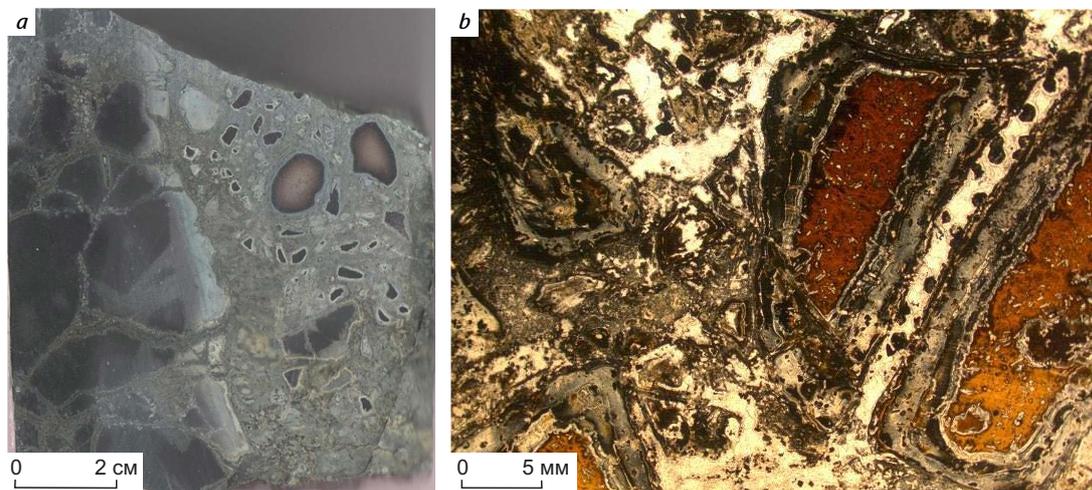


Рис. 4. Контакт взрывчатой карбонат-базитовой брекчии и долерита:

a – контакт афанита (слева) с брекчией (справа). Скв. 508, глубина 278 м. Фото; *b* – карбонат-базитовая брекчия. Обломки базитов бурого цвета с реакционной оторочкой в кальцит-хлоритовом цементе. Шлиф, без анализатора (по С. А. Захарову, 2016 г.)

Fig. 4. Contact of explosive carbonate-basite breccias and dolerite:

a – contact of aphanites (left) and breccias (right). Drillhole 508, 278 m depth. Photo; *b* – carbonate-basite breccias. Fragments of brown basite with a reaction margin in calcite-chlorite cement. Polished section, no analyzer (after S. A. Zakharov, 2016)

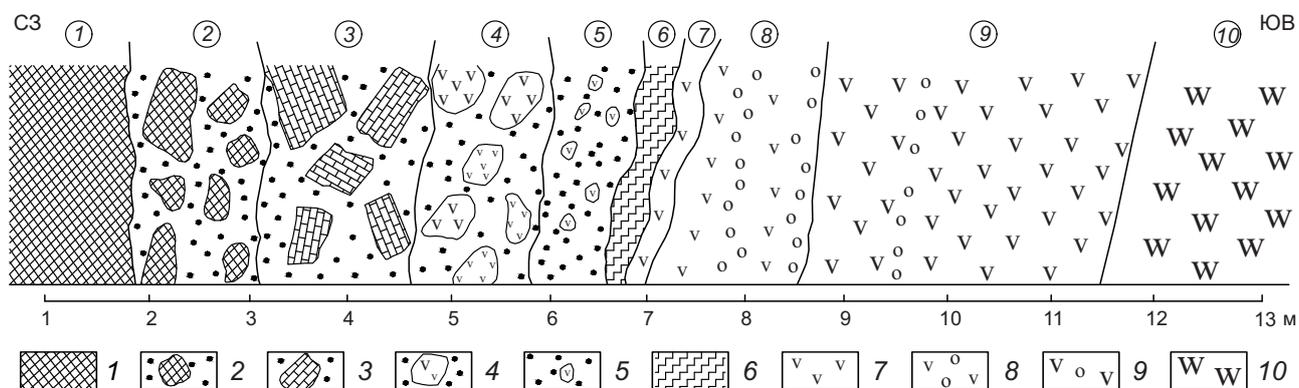


Рис. 5. Строение зоны контакта кимберлитов, дайки базитов и карбонат-базитовых эксплозивных брекчий (забой карьера Нюрбинский, гор. -117 м, точка наблюдения 1):

1 – автолитовые кимберлитовые брекчий; 2 – «вторичные» карбонат-кимберлитовые брекчий; 3 – брекчий с глыбами пород рамы и кимберлитов; 4 – брекчий с округлыми глыбами долеритов и осадочных пород; 5 – брекчий с мелкими изменёнными обломками долеритов; 6 – сливная фарфоровидная карбонат-хлорит-серпентиновая порода; 7 – долериты с витрофировой структурой; 8 – микродолериты тонко- и мелкозернистые, миндалекаменные; 9 – долериты среднезернистые, иногда миндалекаменные; 10 – габбродолериты средне- и крупнозернистые

Fig. 5. Structure of kimberlite, basite dike and carbonate-basite explosive breccias contact zone (Nyurbinsky pit face, -117 m horizon, observation point 1):

1 – autolith kimberlite breccias; 2 – “secondary” carbonate-kimberlite breccias; 3 – breccias with enclosing rock and kimberlite blocks; 4 – breccias with rounded dolerite and sedimentary rock blocks; 5 – breccias with minor altered dolerite fragments; 6 – porcelaneous carbonate-chlorite-serpentine rock; 7 – vitrophyric dolerite; 8 – fine-grained amygdaloid microdiorite; 9 – medium-grained, occasionally amygdaloid dolerite; 10 – medium-grained and coarse-grained gabbro-dolerite

толщиной 20–30 мм, обогащённые серпентинитом и хлоритом (см. рис. 4, а), в них снижаются содержания SiO_2 , Na_2O , общего железа, TiO_2 и резко (в два раза) повышаются – K_2O , MgO , CaO и летучих компонентов.

Цемент брекчий мелкозернистый серпентин-хлорит-карбонатного состава с примесью талька и кварца, иногда гипса; в тяжёлой фракции протолочных проб встречаются пирит, магнетит, андрадит, ильменит (С. А. Захаров и др., 2016; М. Д. Томшин и др., 2004 г.). Отмечаются жилы и гнёзда, в которых развивается флогопит. В целом в цементирующей массе очень высокие содержания Mg , Ca и летучих компонентов и низкие – SiO_2 , TiO_2 , иногда железа [15].

Брекчий в зоне контакта базитов с кимберлитами отличаются от описанных выше; они детально изучены нами на боковых контактах

дайки с южным телом трубки на горизонте -117 м. Им свойственна определённая зональность (рис. 5).

Граница брекчий с базитами очень резкая, чёткая, с мелкими выступами каждой из этих пород в другую, создающими впечатление взаимного прорывания (рис. 6, а). Однако их соотношения однозначно определяются тем, что базиты образуют в брекчиях апофизы мощностью 1–30 см (см. рис. 6, б) и протяжённостью первые метры.

Непосредственно на контактах с базитами брекчий представляют собой плотную, сливную фарфоровидную породу светло-серого цвета, содержащую 10–30 % как бы «растущих» включений тёмно-серого цвета размером 2–50 мм, сложенных базитовым материалом (см. рис. 6, с). Они изменены, имеют

витрофиговую, гиалопилитовую структуры, границы их с основной массой расплывчатые. В более крупных обломках базиты приобретают характерную «петельчатую» текстуру, в них изредка сохраняются реликты порфировых выделений плагиоклаза.

Цементирующая масса сложена серпентином с мелкими скоплениями тонкозернистого карбоната. Вблизи контакта с долеритами в брекчиях нередко развиваются скопления мелких скелетных кристаллов андрадита, образующих характерные радиально-лучистые «снежинки»; их возникновение объясняется термальным воздействием долеритов. Мощность этой зоны 0,2–0,7 м.

Далее по направлению от контакта в брекчиях появляются округлые обломки долеритов размером до 0,3 м, обычно тонко- и мелкозернистых, идентичных слагающим дайку (см. рис. 5, 5). Все они окаймлены реакционными каймами толщиной 5–20 мм серого цвета, в которых долериты интенсивно серпентинизированы и карбонатизированы.

По мере удаления от контакта на 2–3 м в брекчиях наряду с долеритами появляются сначала мелкие обломки, а затем всё более крупные (до 1,5 м) округлые блоки вмещающих пород с коричнево-жёлтой реакционной каймой (см. рис. 5, 4). Они сложены породами, формирующими осадочный чехол: известняками, мергелями, песчаниками, алевролитами, иногда со следами волноприбойной ряби, обломками слоёв гипса мощностью до 30 см.

В 4–5 м от контакта начинают встречаться единичные обломки кимберлитов. Далее их размер и содержание в породе растут, а доля ксенолитов вмещающих пород снижается. Около контакта с вмещающими кимберлитами порода приобретает облик «вторичной» кимберлитовой брекчии с незначительной примесью ксеногенного материала (см. рис. 5, 2, 3).

Состав цементирующей массы брекчий изменяется в том же направлении – от преобладания тонкодисперсного базитового материала через зону смешанного базит-кимберлит-карбонатного к существенно кимберлитовому.

Зона эндоконтакта дайки всюду имеет отчётливое зональное строение, выражающееся

в постепенной смене крупнокристаллических габбродолеритов центральных частей (рис. 7, d) всё более мелкозернистыми, часто миндалекаменными долеритами – вплоть до афанитов непосредственно на контакте (см. рис. 7, a, b); это является несомненным свидетельством более позднего по отношению к брекчиям формирования долеритов. Границы между указанными разностями пород нечёткие, постепенные, общая мощность контактовой зоны дайки до 5–7 м.

Аналогичное строение зона контакта трубки и дайки имеет на всём её протяжении – как на контакте с южным, так и с северным телом (лопастью) кимберлитовой трубки.

Рентгеноструктурный анализ брекчии, выполненный Л. В. Лисковой (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)), показал, что она сложена агрегатом серпентина и кальцита, содержащим рентгеноаморфные смектиты, незначительные количества полевых шпатов, ильменит (табл. 1). Серпентин представлен Al-лизардитом и клинохризотилом, свидетельствующими о высокотемпературном воздействии долеритов на брекчии и сильном изменении последних. В долеритах вблизи контакта, помимо плагиоклаза и пироксена, присутствуют сапонит, монтмориллонит и Fe-хлорит, что является показателем (авто)метасоматического воздействия брекчий на них.

Анализ химического состава образцов, отобранных нами в карьере Нюрбинский в зоне контакта из кимберлитов, умеренно-щелочных долеритов и разделяющих их брекчий, показал, что среди последних в зависимости от положения проб в контактовой зоне выделяются разности, по уровню обогащения главными и редкими элементами тяготеющие или к щелочным долеритам, или к кимберлитам (рис. 8, табл. 2). Это – чёткое свидетельство гибридного характера брекчий, в составе которых участвует как кимберлитовый, так и долеритовый материал. При этом очевидно, что сами брекчии оказывали автосоматическое воздействие на долериты, о чём свидетельствуют закономерное повышение содержания K_2O от 0,94–2,24 в центре дайки до 3,4–4,6 % на контакте с брекчиями, снижение в

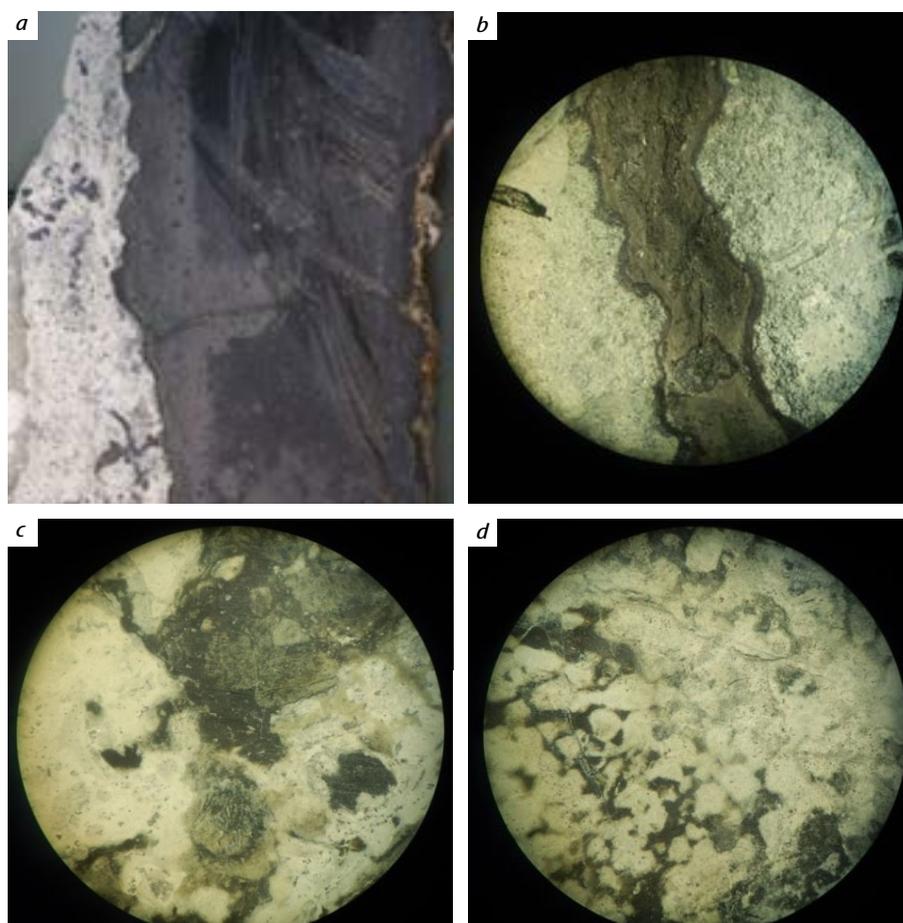


Рис. 6. Карбонат-базитовая брекчия и её контакты с базитами:

a – контакт долерита (справа) и брекчии. В долерите – реакционная кайма серого цвета, чёрные обособления в брекчии – фрагменты изменённого долерита. Обр.1/1, м-б 1 : 1, фото; *b* – жилка витрофирового долерита в брекчии. Обр. 1/1а, м-б 1 : 1, фото; *c, d* – хлорит-карбонат-серпентиновая масса брекчии (белый фон) с мелкими дислоцированными фрагментами долерита вблизи контакта с дайкой. Шлиф 1/11, м-б 1 : 10, без анализатора

Fig. 6. Carbonate-basite breccias and its contacts with basite:

a – dolerite (right) and breccia contact. Dolerite contains gray reaction margin, black segregations in breccia are altered dolerite fragments. Sample 1/1a. 1 : 1 scale, photo; *b* – vitrophyric dolerite veinlet in breccia. Sample 1/1. 1 : 1 scale, photo; *c, d* – chlorite-carbonate-serpentine breccia mass (white background) with minor dislocated dolerite fragments near dike contact. Polished section 1/11, 1 : 10 scale, no analyzer

том же направлении MgO от 8,9 до 7–6 %, рост P₂O₅ от 0,59 до 0,78 %. Брекчии оказывают также существенное воздействие на кимберлиты: в них вблизи контакта понижены содержания K₂O, Rb, Ba, повышены – P₂O₅. Та же закономерность характерна и для брекчий с преобла-

данием кимберлитового материала. Брекчии, обогащённые ксенолитами долеритов, приближаются к ним по содержаниям редких элементов; в них снижаются также содержания K₂O, Ba, P₂O₅ и Sr. Всё это, по-видимому, связано с более высокой степенью проницаемос-

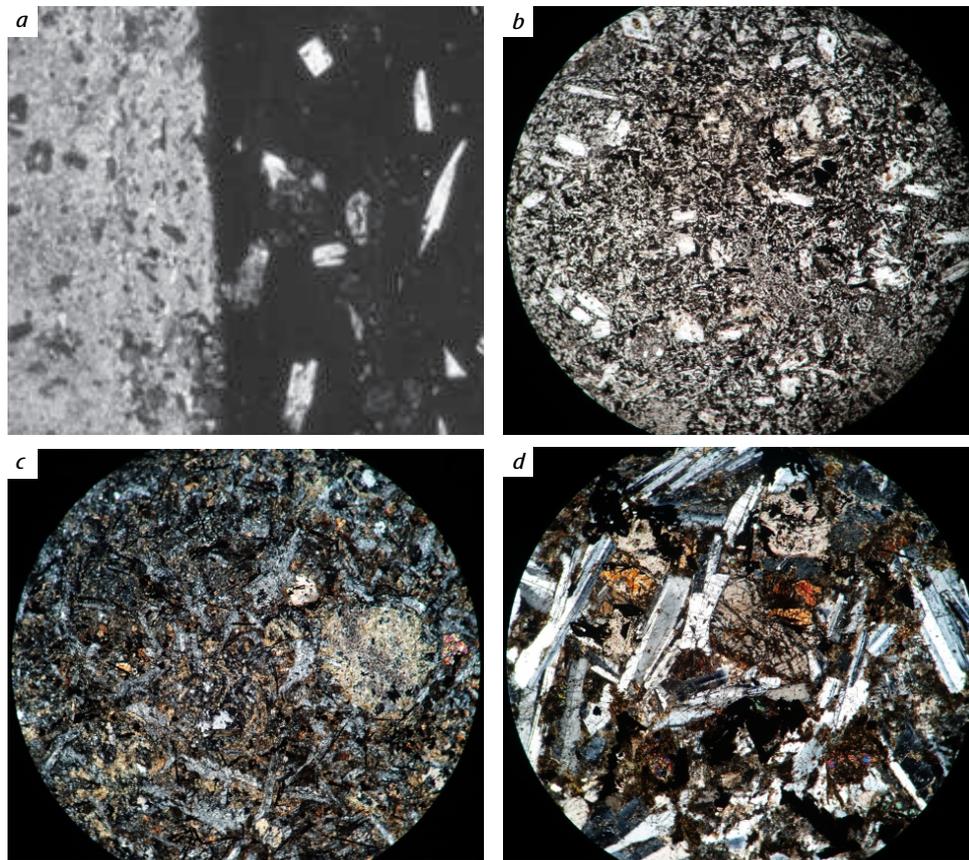


Рис. 7. Зональность эндоконтакта дайки долеритов на контакте с брекчией:

a – контакт долерита с гиалопилитовой структурой с брекчией. Шлиф 11/6, 1 : 20, без анализатора; *b* – микродолерит с плагиофировой интерсертальной структурой в 0,5 м от контакта. Шлиф 1/4, 1 : 20, без анализатора; *c* – миндалекаменный мелкозернистый долерит в 1,5 м от контакта. Шлиф 1/5, 1 : 10, с анализатором; *d* – крупнозернистый оливинсодержащий габбродолерит в 4 м от контакта. Шлиф 1/8, 1 : 10, с анализатором

Fig. 7. Dolerite dike endocontact zonation at breccia contact:

a – contact of hyalopilitic dolerite and breccia. Polished section 11/6, 1 : 20 scale, no analyzer; *b* – plagiophyric intersertal dolerite in 0,5 m from contact. Polished section 1/4, 1 : 20 scale, no analyzer; *c* – amygdaloid fine-grained dolerite in 1,5 m from contact. Polished section 1/5, 1 : 10 scale, analyzer; *d* – coarse-grained olivine-rich gabbro-dolerite in 4 m from contact. Polished section 1/8, 1 : 10 scale, analyzer

ти кимберлитовых пород, метасоматизирующим и термальным воздействием на них эксплозивных брекчий, содержащих агрессивные газово-жидкие продукты дегазации умеренно-щелочных долеритов, прорывающих кимберлитовую трубку.

Последовательность формирования пород в изученном разрезе представляется следую-

щей: кимберлиты – брекчии – долериты, причём образование двух последних компонентов было практически одновременным. Убеждает в этом также сам факт присутствия на контакте достаточно мощной зоны брекчий – пород, обладающих всеми признаками контактовых образований, совершенно не свойственных кимберлитам (характеризующимся всегда ми-

Табл. 1. Минеральный состав карбонат-базитовых брекчий на контакте с долеритами

Table 1. Mineral composition of carbonate-basite breccias at contact with dolerite

Номера образцов	Тип пород	Содержание минералов, %										
		Al-лизардит	Клинохризотил	Хлорит	Смектит (рентгено-аморфный)	Тальк	Полевые шпаты	Кальцит	Апатит, хантит, галит, сидерит	Гётит	Магнетит	Ильменит
1/11	Основная карбонатная масса	46	23	–	16	–	–	9	6	–	–	–
1/11	Брекчия с обломками долерита	45	10	9	12	–	11	5	5	2	–	1
1/1	Основная карбонатная масса	57	19	+	11	–	Сл.	9	4	–	–	–
1/1	Брекчия с обломками долерита	48	16	7	13	–	Сл.	9	4	–	–	3
11/3	Брекчия базит-карбонатная	57	13	1	9	2	–	10	2	–	5	1

Примечание. Сл. – следы; «–» отсутствует; «+» – присутствует.

нимальным воздействием на вмещающие породы – как термальным, так и метасоматическим), но обычных в экзоконтактовых зонах тел базитов.

Обсуждая вопрос о генезисе рассматриваемых брекчий, следует заметить, что они часто понимаются как производные самостоятельного, наиболее позднего этапа эволюции магмы основного состава, связанные с глубинными магматическими очагами и прорывающие весь комплекс магматитов – как базитов, так и кимберлитов. При этом они выделяются в автономный гидротермально-метасоматический комплекс и отделяются от времени становления базитов весьма существенным (~ 20 млн лет) интервалом времени [17]. Основание для такого суждения – результаты определения их изотопного возраста, а также приписываемые им признаки интенсивного воздействия на базиты. Изредка отмечаемое в них присутствие минералов-индикаторов кимберлитов дало основание подозревать даже их некое генетическое сродство с кимберлитовой магмой (М. Д. Томшин и др., 2004 г.).

Однако изложенное выше убеждает в том, что формирование этих брекчий следует связывать с дегазацией базитовой магмы, произошедшей при достижении магматической колонной в ходе подъёма к дневной поверхности критической глубины, на которой давление летучих в расплаве становится выше литостатического. Дегазация расплава носила, видимо, взрывной характер и сопровождалась дроблением пород рамы, в том числе и консолидированных ранее на большей глубине частей дайки. Вследствие большей подвижности флюидизированные продукты дегазации опережали продвижение магматической колонны в зоне разлома, формируя брекчии, которые почти сразу были интродуцированы фронтальными частями дайки. В это же время шла консолидация периферических частей дайки; в приповерхностных условиях, при невысоких давлениях и температуре этот процесс шёл достаточно быстро с образованием в краевых частях даек почти нераскристаллизованных витрофировых пород, в то время как в центральных частях тел, обогащённых

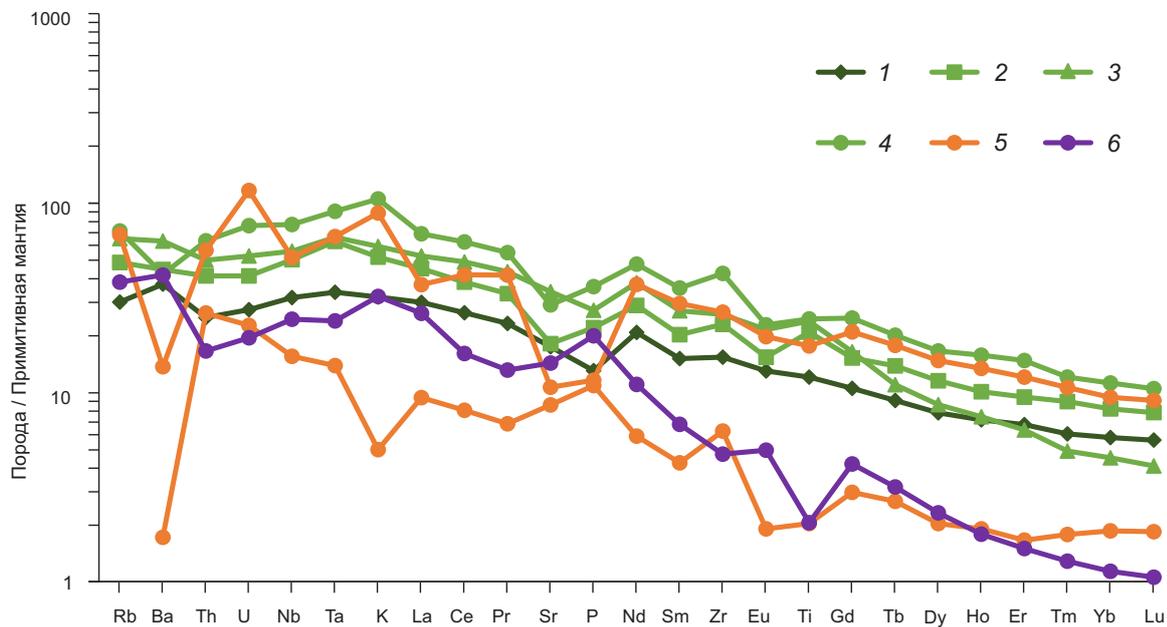


Рис. 8. Распределение редких элементов (ppm), нормированное к составу примитивной мантии, в долеритах, кимберлитах и карбонат-базитовых брекчиях Накынского района:

1 – долериты нормального ряда вилуйско-мархинского комплекса и базальты аппайнской свиты; умеренно-щелочные долериты; 2 – среднемархинского комплекса (карьер Лиендокит), 3 – Вилуйско-Мархинского дайкового пояса, 4 – дьяхтарского комплекса; 5 – контактовые карбонат-базитовые брекчии; 6 – кимберлиты трубки Нюрбинская

Fig. 8. Distribution of rare elements (ppm) normalized to primitive mantle composition in dolerite, kimberlite and carbonate-basite breccias of the Nakyn area:

1 – normal series dolerite (Vilyui-Markhinsky sequence) and Appainskaya suite basalt; moderately alkaline dolerite; 2 – Sredne-Markhinsky sequence (Liendokit quarry), 3 – Vilyui-Markhinsky dike belt, 4 – Dyakhtarsky sequence; 5 – contact carbonate-basite breccias; 6 – Nyurbinskaya pipe kimberlites

летучими, сохранялись участки расплава с более высокими температурами и формировались более крупнозернистые разности, вплоть до габброидов.

В генетическом отношении брекчии как первого, так и второго типов связаны с заключительным этапом образования тел базитов и представляют собой единый с ними комплекс, различаясь только особенностями, обусловленными различным составом субстрата. Они свойственны базитам с повышенной щёлочностью – независимо от их принадлежности к тому или иному комплексу, выделявшемуся в работе [10]. Но лучше они изучены в связи с дайками дьяхтарского комплекса как в труб-

ке Нюрбинская, так и в зонах Ботуобинского и Дьяхтарского разломов вне трубки (С. А. Захаров и др., 2016 г.). Их следует рассматривать как образования последнего этапа становления умеренно-щелочных интрузий, сопутствующие им и практически синхронные по времени формирования.

Несомненно также и то, что базиты имеют с брекчиями активные контакты, образуя в них апофизы, а также зоны термального воздействия. Вместе с тем базиты также подвергались воздействию со стороны созданной ими агрессивной среды, какой являются флюидные компоненты дегазации основной магмы; с этих позиций это воздействие

Табл. 2. Содержания показательных оксидов в базитах Вилуйско-Мархинского дайкового пояса, кимберлитах трубки Нюрбинская и карбонат-базитовых взрывчатых брикциях (мас. %)

Table 2. Distinct oxide content in VMDB basite, Nyurbinskaya pipe kimberlites and carbonate-basite explosive breccias (weight %)

№ п/п	Номера проб	Комплекс	Ориентировка	SiO ₂	TiO ₂	FeO _{общ.}	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Долериты ВМДП в долине р. Марха и в районе Накынского поля (карьер Лиендокит)										
1	1017/1	D _{3sm}	20°	48,5	2,71	15,5	9,91	2,18	1,13	0,26
2	11/2		Силл	49,4	2,29	13,9	10,2	2,16	1	0,24
3	1001/1		280°	38,4	4,93	23,5	2,8	1,23	2,15	0,52
4	2/1		275°	47,3	4,9	13,3	9,61	2,63	1,57	0,58
5	1001/2		280°	46,9	4,69	14	9,11	2,36	1,59	0,57
6	4/5		355° (Лиенд)	48,4	3,8	15,2	8,01	2,01	1,47	0,42
7	4/6		355° (Лиенд)	47,9	4,6	18,4	8,24	1,84	1,54	0,49
8	1036	D _{3vm}	40°	49	2,33	14,8	10,6	2,14	1,06	0,25
9	1022/1		45°	48,2	2,56	15,2	9,52	2,18	1,13	0,26
10	8/3		45°	49,3	2,26	12,4	10,3	2,34	0,97	0,24
11	1014/2		Силл	47,8	2,07	13,7	10,3	2,01	1	0,22
12	23/1	D _{3dh}	65°	49,3	2,38	14,8	10,2	2,1	1,01	0,26
13	21/2		85°	48,8	2,34	14,7	8,44	2,37	1,89	0,26
14	2/2		95°	46,8	4,66	13,3	9,45	2,39	1,54	0,58
Долериты ВМДП в долине р. Тюнг										
15	3022/3	D _{3sm}	120°	47,7	2,55	13,1	11,2	2,18	0,74	0,24
16	3022/2		120°	47,8	2,34	13,5	10,4	2,27	0,87	0,26
17	11/2a	D _{3vm}	Силл	45,4	2,27	15,4	11,1	2,28	1,05	0,23
18	3011/2		Силл	49,4	2,67	14,1	10,4	2,89	0,60	0,30
19	4005/1		75°	45,9	2,78	16,0	10,4	2,28	0,79	0,28
20	4002/1	D _{3dh}	85°	46,6	4,11	16,0	6,5	2,56	1,12	0,45
21	4002/2		85°	44,5	4,17	17,0	7,66	2,83	2,43	0,41
22	4003/5		100°	45,7	3,32	17,4	9,79	2,32	0,98	0,32
23	4003/6		85°	44,1	4,29	17,0	9,13	2,65	1,55	0,38
24	3014/8		Обломок	42,1	4,52	22,1	3,75	2,1	1,2	0,49
Долериты дайки, прорывающей трубку Нюрбинская (дьяхтарский комплекс)										
25	1/1	D _{3dh} (Контакт)	55–60°	47	5,07	15,6	5,65	1,68	3,36	0,78
26	1/2	D _{3dh} (1 м)	55–60°	46,6	5,02	14,6	3,99	1,41	4,6	0,8
27	1/3	D _{3dh} (2 м)	55–60°	46	4,9	15	8,28	1,7	1,86	0,75
28	1/4	D _{3dh} (3 м)	55–60°	46,6	5,2	17,6	5,49	1,53	3,6	0,78
29	1/5	D _{3dh} (5 м)	55–60°	47,1	5,18	17,2	5,66	1,9	2,3	0,78
30	1/6	D _{3dh} (7 м)	55–60°	45,5	5,07	16,1	7,89	1,67	2,33	0,64
31	1/7	D _{3dh} (10 м)	55–60°	46,2	4,38	16,1	5,59	1,49	0,94	0,59

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
32	1/8	Обломок	55–60°	46,6	5,06	14,9	6,02	1,77	2,87	0,76
33	12	D ₃ dh (Центр дайки)	55–60°	48,2	3,67	13,9	9,05	2,13	1,76	0,72
34	12/2	D ₃ dh (Обломок)	55–60°	45,5	5,39	14,3	5,8	1,81	2,33	0,74
35	5/4	D ₃ dh (Центр дайки)	55–60°	45,9	4,67	10,3	8,17	0,41	5,42	0,72
36	5/5	D ₃ dh (Центр дайки)	55–60°	50,2	3,19	17,3	6,56	2,1	2,25	1,46
Карбонат-базитовые эксплозивные брекчии										
37	1/11			35,1	0,31	8,39	5,17	<.1	0,13	0,16
38	5/1			39,5	4,25	5,36	14,2	0,13	1,63	<.05
39	1/11a			33,1	0,51	3,87	6,7	0,44	0,16	0,29
40	12/1			35,7	2,85	8,43	9,73	0,41	3,5	0,48
Кимберлиты трубки Нюрбинская (накынский комплекс)										
41	1/13	D ₃ nk		32	0,59	7,25	13,3	<.1	0,78	0,58
42	5			35,5	0,5	8,85	6,16	<.1	0,15	0,46
43	5/0			30,9	0,38	5,97	14	<.1	0,21	0,43
44	5/2			10,6	0,9	8,47	31,1	<.1	1,11	1,5
45	8/1			33,7	0,4	7,75	7,86	<.1	0,93	0,45

Примечание. В таблице приведены только содержания оксидов, типоморфных для выделенных комплексов. Анализы проводились в ЦАЛ ВСЕГЕИ (аналитик В. Н. Кириллов).

можно рассматривать как автометасоматическое.

Следует также признать несостоятельность предположений о некоем генетическом родстве этих брекчий с кимберлитовой магмой, основанных на находках в них минералов-индикаторов кимберлитов (М. Д. Томшин и др., 2004 г.). Они встречались в брекчиях, но только в непосредственной близости от кимберлитовых тел, будучи, по-видимому, захвачены базитами на более глубоких уровнях, где они могли пересекать кимберлитовые тела.

Подобного рода образования, в районе Накынского поля имеющие локальное распространение, отнюдь не уникальны; они развиты достаточно широко в вулканических областях Тунгусской синеклизы. Так, в бассейнах правых притоков р. Нижняя Тунгуска – Туру, Кочучумо, Ямбукан, Чискова – во время проведения ГС и ГГС м-ба 1 : 200 000 была изу-

чена, в том числе нами, огромная система так называемых ЗКИ – зон каналов извержений, представляющая собой полосу субширотного простирания протяжённостью более 600 км и шириной до 30 км (В. Г. Черенков и др., 1976 г.). С ней связаны многочисленные вулканические структуры трещинного типа, в результате деятельности которых сформировалась верхняя, эффузивная, часть вулканогенной толщи синеклизы. Подводящие каналы этих структур сложены гиперстеновыми долеритами, относящимися к наиболее позднему интрузивному комплексу. С ними ассоциируют мощные (до сотен метров) зоны метасоматически изменённых эффузивов и пирокластитов, наиболее интенсивно проявленные в верхних частях вулканических построек в интервале глубин 200–300 м. Они относятся к тому же типу образований, что и эксплозивные брекчии Накынского поля, имея, естественно, иной мине-

ральный состав, что связано с различным составом пород рамы. Обломочная часть сложена витрофировыми миндалекаменными базальтами, обычно почти полностью изменёнными, хлоритизированными, а цементирующая масса представлена в основном хлоритом, цеолитами и карбонатом (рис. 9).

Для решения задачи, касающейся систематизации интрузий ВМДП, нами было проведено их изучение в Накынском поле, а также в долинах рек Марха и Чимидикян.

Существующая систематика интрузивных образований пояса [8] основана на комплексе критериев, к которым относятся петрохимические особенности пород, их возраст, а также ориентировка даек в пространстве. Последнее не менее важно, поскольку большинство даек не обнажаются не только на дневной поверхности, но и на доюрском эрозионном уровне, и определить их принадлежность к тому или иному комплексу можно только по ориентировке связанных с ними аэромагнитных аномалий. Однако проведённый нами анализ показал, что эти критерии не являются ни универсальными, ни достаточно надёжными.

Прежде всего, следует заметить, что состав пород пояса крайне однообразен. В этом отношении Вилюйский палеорифт отличается от структур подобного рода, которым свойственна обычно обширная гамма магматитов как интрузивных, так эффузивных и эксплозивных, включающая породы от ультраосновного до кислого состава, от типичных щелочных до пород с нормальной щёлочностью. Это

может объясняться, скорее всего, незавершённой эволюции рифта, остановившейся на континентальной стадии развития, а также постоянной, достаточно высокой скоростью растяжения литосферы [3]. Кроме того, это однообразие может быть связано и с тем, что комплекс магматитов ВМДП подвергся глубокому размыву, в результате чего его верхние части, которым свойственна обычно более высокая степень дифференциации, были эродированы, и на дневной поверхности обнажаются более глубокие его горизонты, характеризующиеся меньшей степенью дифференцированности исходной магмы.

Интрузии, входящие в ВМДП, имеют весьма близкие характеристики. Они сложены ограниченным набором пород, среди которых преобладают призматически-офитовые долериты и габбродолериты с постоянным присутствием позднемагматического кварца (до 5–6 об. %), содержащие 3–5 % продуктов ранней кристаллизации магмы: битовнит (An_{88-80}), хризолит-гиалосидерит (Fa_{21-35}), иногда магнезиальный клинопироксен ($Wo_{35-37}En_{54-52}Fs_{11-12}$). Обычны роговая обманка, биотит, КППШ. Изредка встречаются обособления анортозитовых габбродолеритов, являющихся, видимо, производными этапа глубинной докамерной дифференциации (М. Д. Томшин, 2004 г.). При этом встречаются как оливин-нормативные, так и кварц-нормативные породы при преобладании последних. Процессы внутрикамерной дифференциации проявлены слабо, они свойственны лишь наиболее мощным дай-



Рис. 9. Эксплозивная контактовая брекчия в ЗКИ эффузивной толщи. Обломки базальта с гиалопилитовой структурой в карбонат-хлорит-цеолитовой основной массе. Долина р. Чискова. Шлиф 1965, м-б 1 : 20, без анализатора

Fig. 9. Explosive contact breccia hosted by effusive strata. Fragments of hyalopilitic basalt in carbonate-chlorite-zeolite groundmass. Chiskova river valley. Polished section 1965, 1 : 20 scale, no analyzer

кам, в центральных частях которых кристаллизуются габбро. На этом фоне выделяется только одна дайка – та, что прорывает трубку Нюрбинская; она дифференцирована от долеритов до габбродолеритов и кварцевых монзонит-порфиоров. Стоит отметить, что такой тип дифференциации установлен только в этой единственной дайке; это связано, возможно, с контаминацией веществом кимберлитов, химизм которых сильно отличается от пород кембрия. Приконтактные зоны всех тел сложены разновидностями с тонко- и мелкозернистой структурой, миндалекаменной текстурой.

Столь же близки и химические составы пород всех комплексов. На вариационных диаграммах фигуративные точки их составов образуют единое поле, отвечающее насыщенным толеитам известково-щелочной серии нормальной щёлочности; породы с несколько повышенной суммой щелочей встречаются достаточно редко, а типичные породы щелочной серии отсутствуют совершенно. Среди них по петрогеохимическим особенностям достаточно уверенно выделяются два ряда (серии) пород, различающиеся по содержаниям TiO_2 и P_2O_5 , реже K_2O :

- умеренно-титанистые долериты (TiO_2 в среднем 2,5 мас. %); принадлежат к калиево-натровой ($Na_2O / K_2O = 1,8–3$) серии, имеют нормальную щёлочность ($K_2O + Na_2O \leq 3$ мас. %), нормальную магнезиальность (5,1–8 мас. % MgO). Породы характеризуются пониженными содержаниями P_2O_5 (в среднем 0,3 мас. %), Sr (в среднем 360 ppm), повышенным содержанием Cr (85 ppm), низким фракционированием REE (La / Yb 7,4), сглаженным графиком распределения REE без хорошо выраженных аномалий (см. рис. 8);

- высокотитанистые долериты (TiO_2 3–5, в среднем 4,4 мас. %). Они обычно также имеют нормальную, изредка умеренную щёлочность, занимая граничное положение между нормальными и умеренно-щелочными ($K_2O + Na_2O$ 2,5–5,8 мас. % при граничных содержаниях суммы щелочей 4,5–22). Принадлежат к породам калиево-натровой и только в одной дайке (прорывающей кимберлитовую труб-

ку) – к калиевой серии ($Na_2O / K_2O < 1$). С повышенным содержанием TiO_2 в них всегда чётко коррелируют повышенные содержания P_2O_5 (0,6–0,78 до 1,42 мас. %), менее отчётливо повышенные содержания K_2O (2–3,6 до 5,42 мас. %); содержания Cr понижены (47 ppm). Породы характеризуются более высокой степенью обогащения высокочарядными некогерентными элементами (Rb, Th, U, Zr, Nb, Ta) и редкоземельными элементами: содержания Zr, Nb, Ta, LREE в два раза выше, чем в умеренно-титанистых долеритах (см. рис. 8). Степень фракционирования REE в этих породах выше, чем в умеренно-титанистых (La / Yb 9,8).

Как показывают полученные нами результаты, высокотитанистые породы характерны в основном для даек в Накынском поле и на востоке пояса, в бассейне р. Тюнг (см. табл. 2, ан. 20–24), где они относятся к дьяхтарскому комплексу. Особенно высоки концентрации TiO_2 в зоне контакта дайки с карбонат-базитовыми брекчиями (см. табл. 2, ан. 25–36); но содержания K_2O в долеритах центральной части этой дайки (см. табл. 2, ан. 31, 36) оказываются иногда существенно ниже (0,94–2,25 %). Однако в долине р. Марха дайки, относимые к дьяхтарскому комплексу (см. табл. 2, ан. 12, 13), характеризуются обычно невысокими содержаниями TiO_2 (2,3–2,4 %), P_2O_5 (0,26 %) при сопоставимых содержаниях других компонентов.

Прямо противоположная закономерность в содержании TiO_2 свойственна породам среднемархинского комплекса. В долине р. Марха и в районе Накынского поля (см. табл. 2, ан. 3–7) это преимущественно высокотитанистые породы, почти всегда с высоким содержанием фосфора, изредка калия (до 2,15 % K_2O). В восточной части ВМДП в бассейне р. Тюнг они отличаются только несколько повышенными содержаниями $Fe_{общ.}$ (14,9–16,2 %) при низких – TiO_2 , P_2O_5 и K_2O (см. табл. 2, ан. 15, 16).

Причиной подобной инверсии химизма даек различной ориентировки могут, вероятно, являться латеральная гетерогенность состава пород верхней мантии и (или) изменение глубины генерации базитовых магм в ходе эволюции рифтовой структуры [3, 6, 21].

Химизм пород, слагающих тела вилъюско-мархинского комплекса, ближе всего к долеритам нормального ряда. Для них характерны наиболее низкие значения TiO_2 (2,07–2,67 %), P_2O_5 (0,23–0,30 %) и K_2O (0,60–1,13 %) и только изредка несколько повышенные значения $Fe_{общ.}$ (до 16,0 %).

Особенности вещественного состава пород комплексов очень незначительны и могут быть результатом естественных вариаций состава индивидуальных тел. Данные съёмочных, поисковых и тематических работ показывают, что все типы пород могут входить в состав интрузий любого из комплексов.

Прямые геологические данные для определения возраста базитов позволяют установить только нижний возрастной предел для даек умеренно-щелочного состава Накынского поля восточно-северо-восточного простириания (~ 60–65°), отнесённых к дьяхтарскому комплексу. Одна из них прорывает кимберлитовую трубку Нюрбинская, вследствие чего не может быть древнее франского времени, поскольку в кимберлитах трубки содержатся ксенолиты пород со среднедевонским (конец живецкого яруса) комплексом конодонтов [11]. Абсолютный возраст всех трёх интрузивных комплексов базируется на результатах пяти определений изохронным Sm-Nd методом.

Возраст наиболее раннего комплекса, среднемархинского, определён этим методом для его петротипа – хонолита – в карьере Лиендокит; он составляет 426 ± 42 млн лет (поздний силур) [10]. Многочисленные датировки K-Ar методом долеритов силлов и даек в Накыском районе дали результаты от 400 до 496 млн лет (конец кембрия – начало девона) [15, 16]. Результат датирования U-Pb SHRIMP методом по циркону долерита, отобранного нами из центральной части хонолита в том же карьере Лиендокит, – 397 ± 5 млн лет, что отвечает верхам раннего девона.

Столь же неопределённо выглядят Sm-Nd датировки пород вилъюско-мархинского комплекса по пробам из даек северо-восточного простириания, вскрытых скважинами в Накыском поле, – 377 ± 40 и 376 ± 42 млн лет [9]. K-Ar датировки долеритов даек того же

направления и силлов в средней части ВМДП составляют от 359 ± 12 до 338 ± 6 млн лет. Данные Rb-Sr метода для «дотрубочных» базитов из дайки, секущей трубку Нюрбинская, дали изохронный возраст 703 ± 82 млн лет, а K-Ar анализ по тем же пробам показал для одного образца позднерифейский возраст, для двух других – раннекаменноугольный (С. М. Саблуков, 2014 г.).

Возраст дьяхтарского комплекса по результатам Sm-Nd датирования даек в районе Накынского поля составляет 321 ± 36 и 331 ± 47 млн лет, что соответствует средней части каменноугольного периода [10]. Однако в северо-восточной части ВМДП в бассейнах рек Чимидикян и Тюнг для даек, отнесённых к нему по составу и восточно-северо-восточному простирианию, K-Ar методом получены весьма противоречивые результаты – от 412 ± 2 до 322 ± 8 млн лет [10]. Результат по нашей пробе из одной из этих даек U-Pb методом по циркону равен $290,3 \pm 9,6$ млн лет – ранняя пермь.

Такие результаты нельзя признать удовлетворительными. Кроме того, они явно противоречат декларируемой не только Легендой-2009, но и абсолютным большинством других источников принадлежности всего комплекса интрузивных магматитов ВМДП к рифтовому этапу развития этого региона, который столь же уверенно относится к среднему и позднему девону [4, 5]. Однако систематика, принятая в Легенде-2009, априори признавая связь магматитов пояса с рифтингом, образование наиболее ранней части этой ассоциации – среднемархинского комплекса – связывает с неким гипотетическим событием в позднем силуре, а наиболее поздней – дьяхтарского комплекса – с ранним карбоном, и только один из них, вилъюско-мархинский комплекс, относит к позднему девону. При этом силурийский и каменноугольный периоды на Сибирской платформе характеризуются как практически амагматичные, со спокойной, лишённой заметных проявлений дизъюнктивной тектонической активности обстановкой [13].

Кроме того, применение для определения возраста магматитов ВМДП изотопных методов осложняется из-за высокой степени изме-

нённости пород в результате мощного воздействия постмагматических процессов, снижающих их точность, а также сближенности времени формирования не только всей популяции базитов, но и кимберлитов. В частности, точность Sm-Nd метода для среднемархинского комплекса составляет ± 42 млн, вилуйско-мархинского – ± 40 – 42 млн, дьяхтарского – до ± 47 млн лет, что значительно больше разницы между датировками этих комплексов. Существует большое количество определений, выполненных и другими методами, расхождение результатов которых сопоставимы с приведёнными [8, 10, 17, 18, 20].

Оценка обширного материала по изотопным датировкам базитов ВМДП показывает, что лучшей сходимостью результатов, полученных в разное время и в разных лабораториях, характеризуются данные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метода. Возраст даек ВМДП по ним оценивается в интервале от 368,5 до 376,3 млн лет, что соответствует верхам франского – фаменскому ярусу верхнего девона [18, 19] (преобладают значения от 373,7 до 376,3 млн лет). Хорошо соответствует этому результат датирования дайки, прорывающей трубку Нюрбинская, составляющий $374,4 \pm 3,5$ млн лет [6]. Эти данные лучше всего сочетаются с общегеологическими представлениями об эволюции Вилуйского палеорифта. Подчеркнём, что они относятся к ВМДП в целом как к единому комплексу.

В качестве идентификационного признака при выделении комплексов используется также ориентировка даек; считается, что для каждого из них она индивидуальна. В средней его части, в районе Накынского поля, дайки среднемархинского комплекса имеют простирание от северо-западного (330°) до северо-северо-восточного (10°), вилуйско-мархинского – 40 – 50° , дьяхтарского – 55 – 65° . Оно меняется в пределах пояса; тела различной ориентировки часто пересекаются и при этом более поздние должны, естественно, иметь с более ранними активные контакты.

Однако полевые наблюдения в низовьях р. Ханья, на одном из немногих хорошо обнажённых участков пояса, показали, что в местах сочленения даек различных простираний

в обнажениях не наблюдалось ни признаков прорывания, ни каких-либо изменений вещественного состава, которые могли бы свидетельствовать о разновременности их внедрения (М. Д. Томшин и др., 2004 г.; Э. А. Масленникова и др., 2013 г.).

На закрытых участках пояса предпринимались попытки определить последовательность внедрения интрузий путём изучения характера сочленения связанных с ними магнитных аномалий в точке пересечения. Большинство геофизических исследований, выполненных подразделениями АК «АЛРОСА» (в том числе в работе С. В. Бондаренко и др., 2008 г., в которой интерпретированы данные практически всех съёмки на площади ВМДП), показывают, что аномалии северо-восточного простирания (вилуйско-мархинский и дьяхтарский комплексы) обычно смещаются аномалиями северо-западной, северо-северо-западной и субмеридиональной ориентировки (среднемархинский комплекс), что свидетельствует о более позднем возрасте даек, связанных с ними. Аналогичный результат был получен и на востоке пояса в бассейне р. Тюнг (Ю. А. Дуккардт и др., 2002 г.). На некоторых участках ВМДП (в том числе в бассейнах рек Тюнг и Тюкян) установить последовательность образования разноориентированных даек оказалось невозможным. В работе В. И. Шаталова и др. (2005 г.), послужившей одним из главных источников при составлении Легенды-2009, также нет однозначной трактовки таких пересечений.

Кроме того, схема, предполагающая, что образование наиболее древней (среднемархинской) системы разломов, в общем случае ортогональной к оси рифта, связано с самостоятельным длительным этапом его развития, плохо коррелирует с рифтовой концепцией природы ВМДП. Известно, что разломы в рифтовых структурах возникают под действием растягивающих напряжений, иногда имеющих сдвиговую составляющую, а в случае изменения направления структуры – в режиме pull-apart [22]. При этом поперечные нарушения в рифтах, каковыми и являются трансформные разломы, не связаны с автономными эпизодами растяжения, всегда сопутствуют

продольным нарушениям, ограничивая вместе с ними тектонические блоки в рифтовой зоне, образующиеся из-за различных скоростей растяжения на разных её участках.

Нами была проанализирована карта магнитного поля м-ба 1 : 25 000 района Накынского кимберлитового поля (рис. 10), где развиты интрузии всех упомянутых направлений. Аномалии, отвечающие интрузиям, представлены двумя резко различающимися типами. К первому из них отнесены протяжённые прямолинейные аномалии северо-восточного (45°) простирания (вилюйско-мархинский комплекс) с амплитудой 300–370 нТл шириной 50–100 м, уверенно трассирующиеся в пределах всего участка и почти не меняющие своих параметров и морфологии (разломы Северный и Южный). К тому же типу относится и аномалия общего северо-западного ($\sim 315^\circ$) простирания (средне-мархинский комплекс), имеющая аналогичные параметры, но несколько меньшую (25–40 м) ширину и интенсивность. Она без смещений и изменения параметров сочленяется под прямым углом с аномалией Южного разлома, что свидетельствует об идентичности магнитных свойств и состава вызывающих их интрузивных тел и соответствует упомянутым выше данным в низовьях р. Ханья.

Аномалии второго типа (Дьяхтарский и Ботубинский разломы) выражены значительно менее чётко. Имея северо-восточное простирание $\sim 55\text{--}65^\circ$ и амплитуду 10–30 нТл, они прослеживаются в виде отрезков длиной 2–4 км, расположенных кулисообразно; их морфология расплывчата. В точке пересечения Дьяхтарского разлома с северо-западным разломом аномалия, соответствующая последнему, сохраняет все свои параметры, в то время как аномалия Дьяхтарского разлома прерывается и меняет форму. Это говорит, скорее всего, о том, что аномалообразующий объект северо-западного направления сформировался позже объекта северо-восточного простирания. Но в 2,5 км к северо-западу, при пересечении с Ботубинским разломом, свои параметры меняют обе аномалии, что не позволяет корректно оценить их возрастные соотношения в этой точке.

Заключение. Проведёнными исследованиями было установлено, что дайка базитов, пересекающаяся с трубкой Нюрбинская, вскрытая в карьере, прорывает её с образованием зоны своеобразных контактовых флюидно-эксплозивных брекчий, представляющих собой продукты завершающего этапа становления умеренно-щелочных интрузий, практически синхронные им по времени формирования. Полученные авторами результаты с привлечением данных других исследователей показывают, что популяция даек базитов ВМДП, в которую входит изученная дайка, представляют собой единую ассоциацию, образовавшуюся в достаточно узком интервале времени, ограниченном ~ 10 млн лет; он отвечает второй половине позднего девона – периоду наибольшей активности магматизма Палеовиллюйского рифта.

Процесс формирования ВМДП нельзя, разумеется, считать одномоментным – некая последовательность в возникновении отдельных тел и/или их совокупностей, видимо, существует. Однако корректно установить её с помощью доступных методов в столь ограниченном отрезке геологического времени не представляется возможным, и в целом ассоциацию интрузивных образований основного состава ВМДП следует рассматривать как единый магматический комплекс. Вместе с тем следует заметить, что возрастной подход к их систематике не имеет особого смысла с точки зрения ни их контролирующей роли для кимберлитов, ни возможной связи с ними иногда ассоциирующей с базитами сульфидной минерализации. Значительно более конструктивно выделение различных петрологических типов пород, связанных с минерагеническими особенностями глубинных магматических очагов и условиями дифференциации магм.

Что касается временных соотношений базитов ВМДП и кимберлитов, то твёрдо установленным можно считать только факт пересечения последних дайкой базитов с северо-восточным простиранием ($55\text{--}65^\circ$). Как было показано выше, дайки этой ориентировки составляют часть единого магматического комплекса, который, таким образом, следует

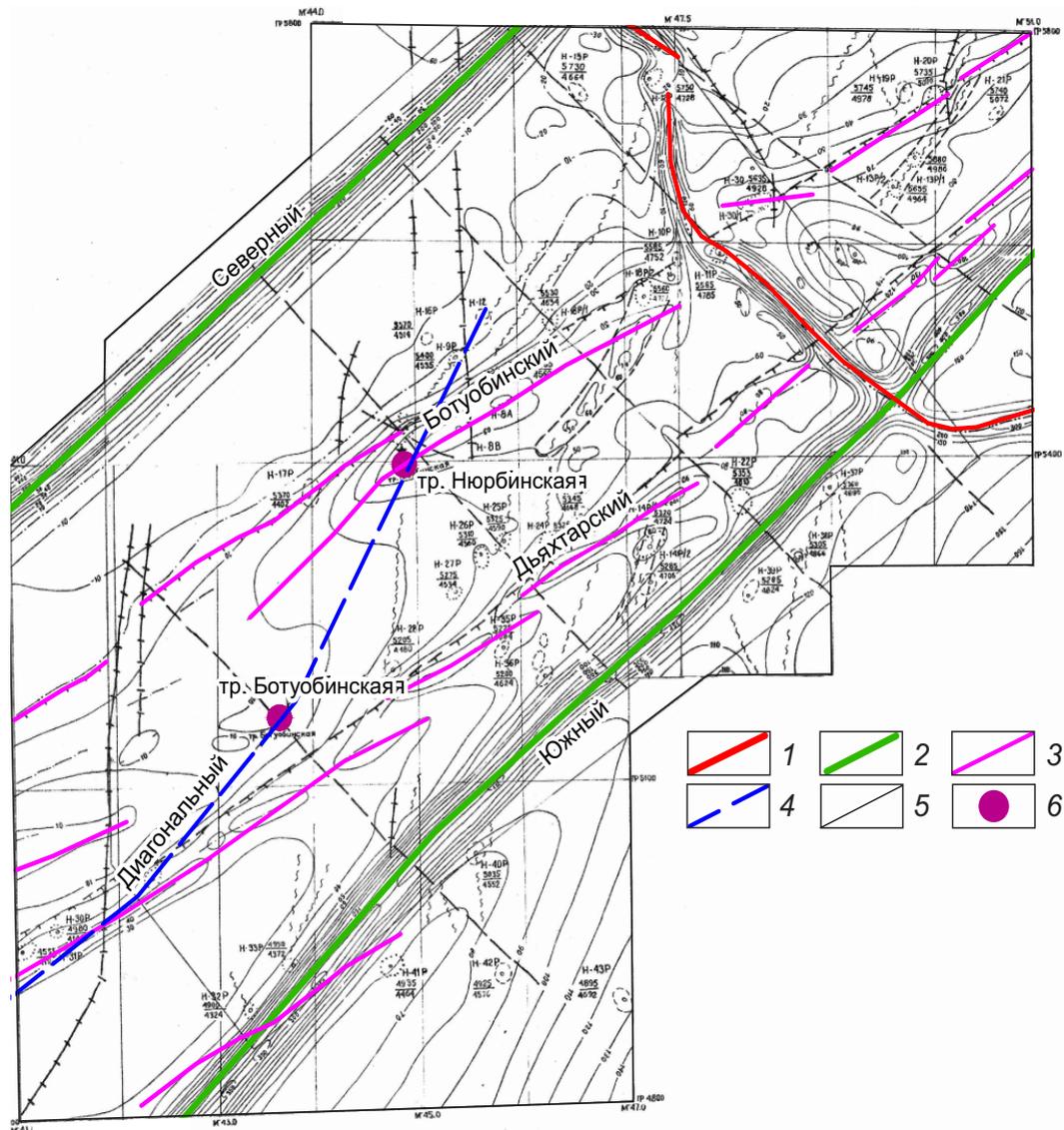


Рис. 10. Соотношения аномалий магнитного поля над дайками ВМДП различной ориентировки (район Накынского поля):

дайки долеритов: 1 – аз. прост. СЗ 320–350° (среднемархинский комплекс); 2 – аз. прост. СВ 45° (вилюйско-мархинский комплекс); 3 – аз. прост. СВ 55–65° (дьяхтарский комплекс); 4 – кимберлитоконтролирующий разлом Диагональный; 5 – изолинии напряжённости магнитного поля ΔT_a (сечение для аномалий северо-восточного направления – 40 нТл, для аномалий восточно-северо-восточного направления – 10 нТл); 6 – кимберлитовые трубки

Fig. 10. Relations of magnetic anomalies above variously oriented VMDB dikes (Nakyn field area):

dolerite dikes: 1 – strike azimuth NW 320–350° (Sredne-Markhinsky sequence); 2 – strike azimuth NE 45° Vi-lyui-Markhinsky sequence); 3 – strike azimuth NE 55–65° (Dyakhtarsky sequence); 4 – Diagonal kimberlite-controlling fault; 5 – magnetic field intensity (ΔT_a) isolines (section for NE-trending anomalies is 40 nTl and 10 nTl for ENE-trending anomalies); 6 – kimberlite pipes

рассматривать в целом как посткимберлитовый. Из этого следует, что система разломов северо-восточного простирания не может контролировать ничего, кроме интрузирующих её даек базитов; считать её контролирующей для кимберлитов нет оснований. Один из признаков, косвенным образом подтверждающих это, – полное отсутствие в кимберлитах ксенолитов базитов, несмотря на их очень широкое распространение в районе Накынского поля. Можно утверждать почти с полной уверенностью, что ни в одной из разновидностей кимберлитовых пород всех известных кимберлитовых тел поля обломки базитов, несмотря на их активные поиски в связи с этой проблемой, обнаружить не удалось (кроме обломков в эксплозивных брекчиях и пород, относящихся к заведомо более древним – 0,7–1,8 млрд лет – комплексам). Заметим, что эту мысль высказал М. Д. Мащак в статье [10], послужившей основой для Легенды-2009 с соответствующей интерпретацией и предположением о том, что возраст кимберлитов может быть более древним, чем базитов всех ком-

плексов ВМДП, но она не нашла отражения в Легенде.

Отметим также рассмотренное выше резкое различие характера тектонических нарушений, вмещающих дайки базитов и кимберлитов. Если первые из них использовали ранее образовавшиеся мощные разломы листрического типа, выполненные брекчиями обрушения, то вторые внедрялись, видимо, в тонкие «чистые» трещины, возникшие непосредственно перед интрузией кимберлитовой магмы.

Структурой, определившей образование Накынского поля, является, несомненно, система разломов Диагональный и Параллельный, интрузированных дайками кимберлитов, вмещающая все тела поля и определяющая его субмеридиональное удлинение, соответствующее, видимо, ориентировке глубинной кимберлитогенерирующей структуры. По нашему убеждению, именно такие тектонические структуры, к сожалению, труднодиагностируемые, и должны рассматриваться как объекты поиска при планировании ГРП на алмазы в районе Накына.

Список литературы

1. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натанов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Т. 2. – М.: Недра, 1990. – 334 с.
2. Емельянов В. С., Толстов А. В., Борис Е. И. Новые данные о перспективах коренной алмазоносности Вилюйско-Мархинской зоны разломов // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых (применительно к объектам ГРП АК АЛРОСА). – Якутск: ЯНИГП ЦНИГРИ, 2004. – С. 115–123.
3. Казьмин В. Г. Рифтовые структуры Восточной Африки – раскол континента и зарождение океана. – М.: Наука, 1987. – 204 с.
4. Кузьмин М. И., Ярмолюк В. В. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 2. – С. 153–184.
5. Киселев А. И., Ярмолюк В. В., Егоров К. Н., Чернышов Р. А., Никифоров А. В. Среднепалеозойский базитовый магматизм северо-западной части Вилюйского рифта: состав, источники, геодинамика // Петрология. – 2006. – № 6. – С. 660–682.
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 Вилюйского рифта (Сибирский кратон) // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55 (2). – С. 185–196.
7. Константинов К. М., Яковлев А. А., Антонова Т. А., Константинов И. К., Ибрагимов Ш. З., Артёмова Е. В. Петро- и палеомагнитные характеристики структурно-вещественных комплексов месторождения алмазов трубка Нюрбинская (Средне-Мархинский район, Западная Якутия) // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 135–169.
8. Легенда Анабаро-Вилюйской серии листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Объяснительная записка / Глав. ред. Мащак М. С., сост. Мащак М. С., Кропачев А. П., Сотникова Г. Г., Сме-

- танникова Л. И., Чеканов В. И., Оленникова Е. В. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2009. – 60 с.
9. Масайтис В. Л., Михайлов М. В., Селивановская Т. В. Вулканизм и тектоника Патомско-Виллюйского среднепалеозойского авлакогена. – М. : Недра, 1975. – 183 с.
 10. Мащак М. С., Наумов М. В., Леухин В. И., Молчанов Ю. Д., Шаталов В. И., Яныгин Ю. Т. Среднепалеозойский базитовый магматизм Мархатюнгского междуречья (Накынское кимберлитовое поле) // Региональная геология и металлогения. – 2004. – № 20. – С. 122–138.
 11. Тарабукин В. П., Реймерс А. Н., Нефедова Е. В. Оценка эрозионного среза кимберлитовых трубок Накынского поля // Отечественная геология. – 2003. – № 6. – С. 84–85.
 12. Тевелев Ал. В., Тевелев Арк. В. Сдвиговые магматические дуплексы // Тектоника, геодинамика, процессы магматизма и метаморфизма : материалы Тектонического совещания. – М. : Геос, 1999. – С. 189–193.
 13. Тесаков Ю. И., Симонов О. И., Ковалевская Е. О. [и др.] Силур северо-запада Сибирской платформы. – Новосибирск : СО РАН, Гео, 2002. – 405 с.
 14. Толстов А. В., Минин В. А., Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Разумов А. Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накынском поле Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 3. – С. 227–240.
 15. Томшин М. Д., Фомин А. С., Корнилова В. П., Черный С. Д., Яныгин Ю. Т. Особенности магматических образований Накынского кимберлитового поля Якутской провинции // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – С. 1693–1703.
 16. Томшин М. Д., Константинов К. М., Прокопьев А. В. Среднепалеозойский Виллюйский палеорифт и последовательность магматических событий // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещания. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2016. – Вып. 14. – С. 277–279.
 17. Томшин М. Д., Похиленко Н. П., Тарских Е. В. Морфология кимберлитовой трубки и её взаимоотношение с долеритовой дайкой // Доклады академии наук. – 2017. – Т. 477 (5). – С. 600–605.
 18. Томшин М. Д., Копылова А. Г., Константинов К. М., Гоголева С. С. Базиты виллюйского палеорифта. Геохимия и последовательность становления // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 10. – С. 1503–1518.
 19. Courtillot V., Kravchinsky V. A., Quidelleur X., Renne P. R., Gladkochub D. P. Preliminary dating of the Vilyuy traps (Eastern Siberia): Eruption at the time of Late Devonian extinction events? // Earth Planetary Science Letters. – 2010. – V. 300. – P. 239–245.
 20. Lapin A. V., Tolstov A. V., Antonov A. V. Sr and Nd isotopic compositions of kimberlites and associated rocks of the Siberian craton // Doklady Earth Sciences. – 2007. – V. 414, № 1. – P. 557–560
 21. Lapin A. V., Tolstov A. V., Vasilenko V. B. Petrogeochemical characteristics of the kimberlites from the middle Markha region with application to the problem of the geochemical heterogeneity of kimberlites // Geochemistry International. – 2007. – V. 45, № 12. – P. 1197–1209.
 22. Sylvester A. G. Strike-slip faults // Geological Society of America Bulletin. – 1988. – V. 100. – P. 1666–1703.

References

1. Zonenshain L. P., Kuz'min M. I., Natapov L. M. Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR. T. 2. [Tectonics of lithospheric plates of the USSR territory. Vol. 2], Moscow, Nedra Publ., 1990, 334 p.
2. Emel'yanov V. S., Tolstov A. V., Boris E. I. Novye dannye o perspektivakh korennoi almazonosnosti Vilyuisko-Markhinskoi zony razlomov [New data on the prospects of the indigenous diamond bearing of the Vilyuysko-Markhinskaya fault zone], Voprosy metodiki prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh (primenitel'no k ob'ektam GRR AK ALROSA) [Questions of the methodology of forecasting and prospecting for mineral deposits (in relation to the objects of exploration of AK ALROSA)], Yakutsk, YANIGP TSNIGRI Publ., 2004, pp. 115–123.
3. Kaz'min V. G. Riftovye struktury Vostochnoi Afriki – raskol kontinenta i zarozhdenie okeana [Rift structures of Eastern Africa – continental rift and the birth of the ocean]

- tures of East Africa – the split of the continent and the origin of the ocean], Moscow, Nauka Publ., 1987, 204 p.
4. Kuz'min M. I., Yarmolyuk V. V. Mantiinye plyumy Severo-Vostochnoi Azii i ikh rol' v formirovaniy endogennykh mestorozhdenii [Mantle plumes of Northeast Asia and their role in the formation of endogenous deposits], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2014, V. 55, No 2, pp. 153–184. (In Russ.).
 5. Kiselev A. I., Yarmolyuk V. V., Egorov K. N., Chernyshov R. A., Nikiforov A.V. Srednepaleozoiskii bazitovyi magmatizm severo-zapadnoi chasti Vilyuiskogo rifta: sostav, istochniki, geodinamika [Middle Paleozoic basal magmatism of the northwestern part of the Vilyui Rift: composition, sources, geodynamics], *Petrologiya [Petrology]*, 2006, No 6, pp. 660–682. (In Russ.).
 6. Kiselev A. I., Yarmolyuk V. V., Ivanov A. V., Egorov K. N. Prostranstvenno-vremennye otnosheniya srednepaleozoiskikh bazitov i almazonosnykh kimberlitov na severo-zapadnom pleche Vilyuiskogo rifta (Sibirskii kraton) [Spatial-temporal relations of Middle Paleozoic basites and diamond-bearing kimberlites on the northwestern arm of the Vilyui Rift (Siberian craton)], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2014, V. 55 (2), pp. 185–196. (In Russ.).
 7. Konstantinov K. M., Yakovlev A. A., Antonova T. A., Konstantinov I. K., Ibragimov Sh. Z., Artemova E. V. Petro- i paleomagnetnye kharakteristiki strukturalno-veshchestvennykh kompleksov mestorozhdeniya almazov trubka Nyurbinskaya (Sredne-Markhinskii raion, Zapadnaya Yakutiya) [Petro- and paleomagnetic characteristics of structural and material complexes of the Nyurbinskaya tube diamond deposit (Sredne-Markhinsky district, Western Yakutia)], *Geodinamika i tektonofizika [Geodynamics & Tectonophysics]*, 2017, V. 8, No 1, pp. 135–169. (In Russ.).
 8. Legenda Anabaro-Vilyuiskoi serii listov Gosudarstvennoi geologicheskoi karty RF masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Ob'yasnitel'naya zapiska, [Legend of the Anabaro-Vilyuiskaya series of sheets of the State Geological Map of the Russian Federation scale 1: 1,000,000 (third generation). Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2009, 60 p.
 9. Masaitis V. L., Mikhailov M. V., Selivanovskaya T. V. Vulkanizm i tektonika Patomsko-Vilyuiskogo srednepaleozoiskogo avlakogena [Volcanism and tectonics of the Patomsko-Vilyuysky Middle Paleozoic avlakogen], Moscow, Nedra Publ., 1975, 183 p.
 10. Mashchak M. S., Naumov M. V., Leukhin V. I., Molchanov Yu. D., Shatalov V. I., Yanygin Yu. T. Srednepaleozoiskii bazitovyi magmatizm Markhatsyungskogo mezhdurech'ya (Nakynskoe kimberlitovoe pole) [Srednepaleozoic basal magmatism of the Marha-Tung interfluve (Nakyn kimberlite field)], *Regional'naya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny]*, 2004, No 20, pp. 122–138. (In Russ.).
 11. Tarabukin V. P., Reimers A. N., Nefedova E. V. Otsenka erozionnogo sreza kimberlitovykh trubok Nakynskogo polya [Assessment of the erosion section of kimberlite pipes of the Nakyn field], *Otechestvennaya geologiya [National Geology]*, 2003, No 6, pp. 84–85. (In Russ.).
 12. Tevelev Al. V., Tevelev Ark. V. Sdvigovye magmaticheskie dupleksey [Shear magmatic duplexes], *Tektonika, geodinamika, protsessy magmatizma i metamorfizma: Materialy Tektonicheskogo soveshchaniya [Tectonics, geodynamics, magma processes and metamorphism: Materials of the Tectonic Council]*, Moscow, Geos Publ., 1999, pp. 189–193. (In Russ.).
 13. Tesakov Yu. I., Simonov O. I., Kovalevskaya E. O. [et al.] Silur severo-zapada Sibirskoi platformy [Silurus of the northwest Siberian platform], Novosibirsk, SO RAN Publ., 2002, 405 p.
 14. Tolstov A. V., Minin V. A., Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Razumov A. N. Novoe telo vysokoalmazonosnykh kimberlitov v Nakynskom pole Yakutskoi almazonosnoi provintsii [A new body of highly diamond-bearing kimberlites in the Nakyn field of the Yakut diamond-bearing province], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2009, V. 50, No 3, pp. 227–240. (In Russ.).
 15. Tomshin M. D., Fomin A. S., Kornilova V. P., Chernyi S. D., Yanygin Yu. T. Osobennosti magmaticheskikh obrazovaniy Nakynskogo kimberlitovogo polya Yakutskoi provintsii [Features of magmatic formations of the Nakyn kimberlite field of the Yakut province], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 1998, V. 39, pp. 1693–1703. (In Russ.).
 16. Tomshin M. D., Konstantinov K. M., Prokop'ev A. V. Srednepaleozoiskii Vilyuiskii paleorift i posledovatel'nost' magmaticheskikh sobytii [The Middle Paleozoic Vilyui paleorift and the sequence of magmatic events], *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfe-*

- ry Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poiyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshchaniya [Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from ocean to continent): Materials of the meeting], Irkutsk, IZK SB RAS Publ., 2016, V. 14, pp. 277–279. (In Russ.).
17. Tomshin M. D., Pokhilenko N. P., Tarskikh E. V. Morfologiya kimberlitovoi trubki i ee vzaimootnoshenie s doleritovoi daikoi [Morphology of a kimberlite tube and its relationship with a dolerite dyke], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2017, V. 477 (5), pp. 600–605. (In Russ.).
 18. Tomshin M. D., Kopylova A. G., Konstantinov K. M., Gogoleva S. S. Basites of the Vilyui paleorift. Geochemistry and the sequence of formation [Bazity vilyuiskogo paleorifta. Geokhimiya i posledovatel'nost' stanovleniya], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2018, V. 59, No 10, pp. 1503–1518. (In Russ.).
 19. Courtillot V., Kravchinsky V. A., Quidelleur X., Renne P. R., Gladkochub D. P. Preliminary dating of the Viluy traps (Eastern Siberia): Eruption at the time of Late Devonian extinction events?, *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, V. 300, pp. 239–245.
 20. Lapin A. V., Tolstov A. V., Antonov A. V. Sr and Nd isotopic compositions of kimberlites and associated rocks of the Siberian craton, *Doklady Earth Sciences*, 2007, V. 414, No 1, pp. 557–560.
 21. Lapin A. V., Tolstov A. V., Vasilenko V. B. Petrogeochemical characteristics of the kimberlites from the middle Markha region with application to the problem of the geochemical heterogeneity of kimberlites, *Geochemistry International*, 2007, V. 45, No 12, pp. 1197–1209.
 22. Sylvester A. G. Strike-slip faults, *Geological Society of America Bulletin*, 1988, V. 100, pp. 1666–1703.

Авторы

Черенков Владимир Георгиевич

ведущий геолог¹
v.cherenkov@mfvsegei.ru

Корнилова Виктория Петровна

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий геолог¹
kornilova_v@mail.ru

Голубева Юлия Юрьевна

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник²
golubeva@tsnigri.ru

Герасимова Марина Викторовна

ведущий геолог¹
m.gerasimova@mfvsegei.ru

¹ Московский филиал ФБГУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского», г. Москва

² ФБГУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва

Authors

Vladimir G. Cherenkov

Leading Geologist¹
v.cherenkov@mfvsegei.ru

Viktoria P. Kornilova

PhD
Leading Geologist¹
kornilova_v@mail.ru

Yulia Yu. Golubeva

PhD
Leading Researcher²
golubeva@tsnigri.ru

Marina V. Gerasimova

Leading Geologist¹
m.gerasimova@mfvsegei.ru

¹ FSBI A. P. Karpinsky Russian Research Geological Institute, Moscow branch, Russia

² FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia