

Образование трахиандезитов и трахидацитов при смешении контрастных магм в сложных дайках (Западное Забайкалье)

Т.Т.ВРУБЛЕВСКАЯ, В.Б.ХУБАНОВ, Б.Ц.ЦЫРЕНОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН); 670047, г.Улан-Удэ, ул.Сахьяновой, д.6а)

Приведены новые данные о геологическом строении, минералого-петрографических и петрогеохимических особенностях сложной дайки, краевые зоны которой представлены трахибазальтом, центральная часть — трахириолитом, между ними переходная зона — трахиандезитом и трахидацитом. Показано, что трахиандезиты и трахидациты образовались в результате смешения контрастных магм при становлении дайки.

Ключевые слова: бимодальная серия, сложные дайки, смешение магм, трахиандезит, трахидацит.

Врублевская Татьяна Тимофеевна, khubanov@mail.ru

Хубанов Валентин Борисович, khubanov@mail.ru

Цыренов Борис Цыренович, tsyrenov@mail.ru

Formation trachyandesite and trachydacite by mixing of contrast magmas in composite dykes (Western Transbaikalia)

T.T.VRUBLEVSKAY, V.B.KHUBANOV, B.TS.TSYRENOV

New dates about geological structure, mineralogy, petrography and geochemistry of a composite dyke are shown. Feature of the dyke is gradation contact between trachybasalt margins and a trachyrhyolite interior. The gradation contact of the dyke consists from trachyandesite and trachydacite are formed by in situ mix of contrast magmas.

Key words: bimodal series, composite dykes, mixing, trachyandesite, trachydacite.

В петрологических работах главными аргументами смешанной природы магматических пород, как правило, являются геохимические и изотопно-геохимические характеристики этих пород, занимающие промежуточное положение между предполагаемыми смешивающимися субстратами [10, 11, 16]. При этом наблюдается дефицит описаний прямых геологических и минералого-петрографических свидетельств смешения магм, что, по-видимому, обусловлено относительно продолжительным временем нахождения взаимодействующих расплавов в глубинных условиях, в течение которого происходит практически полное выравнивание разности химического и минералогического состава изначально контрастных магм. Исключение составляют некоторые гибридные субвулканические и эффузивные образования, в которых, благодаря быстрой кристаллизации, сохраняется геолого-структурная, минералогическая и геохимическая информация о первичных расплавах, характере и продуктах их взаимодействия [1, 2, 5, 6, 12, 18].

Наиболее показательны в этом отношении сложные или комбинированные дайки с признаками взаимодействия различных магм. Согласно работе [18] они подразделяются на два типа: 1) дайки с салической краевой частью и существенно мафической цент-

ральной, представляющей собой доминирующие по объему пиллоу-подобные или неправильной формы базальтовые обособления (глобулы), сцементированные салическим материалом; 2) дайки с мафическими (базальтовыми) краевыми зонами и салической, часто преобладающей по объему, центральной частью, содержащей базитовые включения, количество которых уменьшается с удалением от краевой части дайки. Переход от краевой базальтовой к центральной салической зоне, как правило, постепенный. Состав пород этой переходной зоны в среднем трахиандезитовый, что указывает на интенсивное взаимодействие контрастных магм. В большинстве случаев образование первого типа сложных даек обусловлено механическим смешением разноплотностных, разновязких и разнотемпературных магм, такой тип смешения называется минглинг (mingling). Второй тип сложных даек — это, скорее всего, результат химического смешения контрастных магм или миксинг (mixing) [7].

В настоящей статье авторы приводят новые данные о строении и составе даек сложного строения второго типа, входящих в состав позднепалеозойского бимодального дайкового пояса в центральной части Западного Забайкалья. Особенность данных даек — симметричное строение вкрест их простира-

ния: краевые зоны представлены трахибазальтами, центральная часть — трахириолитами (гранит-порфирами), между ними присутствует переходная зона, сложенная промежуточными типами пород — трахиандезитами и трахидацитами. Трахидациты по петроструктурным и вещественным характеристикам могут служить своеобразным «эталоном» гибридных пород, образовавшихся путем смешения мафических и кислых магм.

Геологическое строение. Позднепалеозойский дайковый пояс (280—300 млн.лет) простирается более чем на 200 км в центральной части Западного Забайкалья от устья р.Хилок до верховьев р.Она, при общей ширине около 40 км (рис. 1, А) [8]. Пояс сложен субпараллельными и субвертикальными дайками северо-восточного простирания, представляющими собой субвулканическую бимодальную трахибазальт-трахит, трахириолитовую серию с подчиненным количеством трахиандезитовых даек. Сложные или комбинированные дайки редки, но распространены повсеместно по всему поясу. Они представлены обоими типами по работе [18], с признаками механического и химического смешения контрастных магм и могут наблюдаться в непосредственной близости друг от друга. Наиболее детально изученная нами сложная дайка находится в центральной части дайкового пояса, в пределах Бюлитинского известнякового карьера.

Карьер расположен в 50 км северо-восточнее села Большой Куналей в среднем течении р.Челутай (правый приток р.Брянка) и представляет собой действующее месторождение химически чистого известняка. Согласно геологоразведочным данным, вмещающая терригенно-карбонатная толща (PR₃—PZ₁₋₂) — это моноклиналь мощностью до 1 км, погружающаяся на юго-восток. На всей площади толща прорвана субвертикальными дайками северо-восточного простирания. Вдоль 200-метровой стенки карьера насчитывается более 50 дайковых тел, суммарная мощность которых около 70—80 м.

Характерная особенность рассматриваемого участка — наличие разновидностей дайковых тел: простые дайки, образованные при одноактной инъекции магмы; соотношения «дайка в дайке»; комбинированные дайки первого и второго типов. По петрографическому составу простые дайки Бюлитинского карьера — это мегаплагиофировые лейкобазальты, трахидолериты, трахибазальты, кварцевые трахиты, щелочно-полевошпатовые трахиты, трахириолиты и комендиты. Субпараллельное расположение даек и соотношения «дайки в дайке» указывают на условия растяжения земной коры при внедрении магм.

Описываемая сложная дайка второго типа находится в центральной части карьера и является одной из самых мощных даек рассматриваемого участка. Ее мощность изменяется от 12 м на нижнем горизонте карьера до 10 м в верхней части обнажения. Сложная

дайка под острым вертикальным углом сечет микромонцодиоритовую дайку, поэтому в подножье разреза в северо-западном контакте вмещающими породами являются микромонцодиориты, а в юго-восточном — известняки. Центральная часть сложной дайки представлена трахириолитами, краевые — трахибазальтами (см. рис. 1, Б). На контакте с вмещающими породами в трахибазальтах отчетливо просматривается эндоконтактовая афанитовая зона закалки мощностью около 10 сантиметров. Переход между трахибазальтовой краевой и трахириолитовой центральной частью постепенный, без видимых резких границ. Мощность переходной зоны достигает одного метра. Трахириолиты центральной части дайки содержат редкие базитовые включения овальной и округлой формы, количество которых заметно возрастает в переходной зоне, с приближением к краевому трахибазальту. Петрографически они близки афанитовым трахибазальтам, но в них немного больше тонкозернистого магнетита. Переходная зона содержит видимые розовые вкрапленники К-Na полевого шпата, размером до 8 мм по длинной оси, количество которых к периферии дайки быстро уменьшается, вплоть до полного исчезновения в трахибазальтах, в 30—40 см от контакта с известняками.

На основе петрографического изучения образцов, отобранных через 10 см по разрезу вкрест простирания дайки, установлено, что изменение состава от трахибазальтовой зоны закалки к гранит-порфировой центральной части идет в такой последовательности (юго-восточный контакт с известняками): трахибазальт (0—30 см)—трахиандезибазальт (30—52 см)—трахиандезит (52—57 см)—трахидацит (57—70 см)—трахириодацит (70—170 см)—трахириолит. В северо-западном контакте последовательность пород аналогичная, но мощность зон промежуточного состава немного отличается: зона трахиандезитов больше, а риодацитов меньше.

Минералого-петрографическая характеристика пород дайки. Трахириолиты — это породы светло-серого цвета с розоватым оттенком. Структура пород порфировая с тонкозернистой основной массой, имеющей сферолитовую, фельзитовую и, ближе к центру дайки, микрографическую структуры. Вкрапленники (5—30%) представлены индивидуальными кристаллами щелочного полевого шпата, плагиоклаза, биотита, но преобладают гломеропорфировые сростки этих минералов. Размер кристаллов колеблется от 1 до 8 мм. Кварц в основной массе находится не только в сростании с полевым шпатом, но и образует ксеноморфные выделения в интерстициях.

Трахириолиты подверглись вторичным изменениям без нарушения структуры. Полевые шпаты пелитизированы и слабо серицитизированы, биотит псевдоморфно замещен хлоритом, иногда мусковитом и очень редко агрегатом зерен хлорита, мусковита, эпидота, кальцита. Эти же вторичные минералы вы-

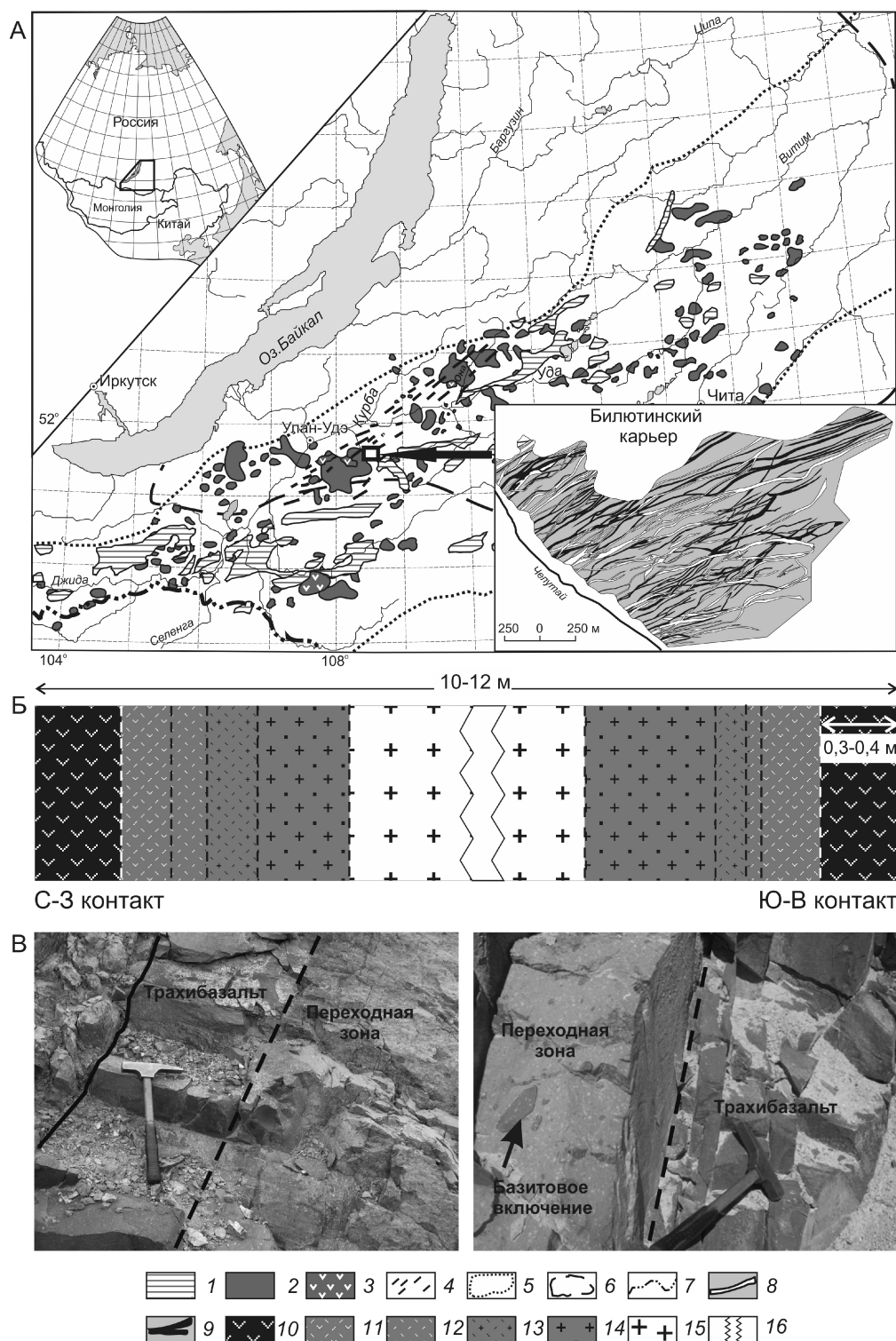


Рис. 1. Схема распространения позднепалеозойских-мезозойских магматических ассоциаций в Западном Забайкалье (А) и схематическая зарисовка строения сложной дайки второго типа, Билютинский карьер (Б):

вулканиты: 1 — позднеюрские—раннемеловые по работе 9, 2 — пермские; 3 — пермь-триасовые щелочные гранитоиды по работе 4; 4 — позднепалеозойский бимодальный дайковый пояс; 5 — обрамление полихронной PZ₃—KZ рифтовой зоны; 6 — обрамление позднепалеозойского Ангаро-Витимского батолита; 7 — государственная граница; дайки: 8 — салические, 9 — мафические; в нижнем правом углу — фрагмент бимодального дайкового пояса, Билютинский известковый карьер (с упрощениями по Н.А.Фишеву, В.А.Ананину, 1982); 10 — трахибазальтовая краевая зона; переходная зона: 11 — трахиандебазальт, 12 — трахиандезит, 13 — трахидацит, 14 — трахириодацит; 15 — трахириолитовая центральная зона дайки; 16 — разрыв разреза; пунктирные линии — постепенный переход между породами различного состава

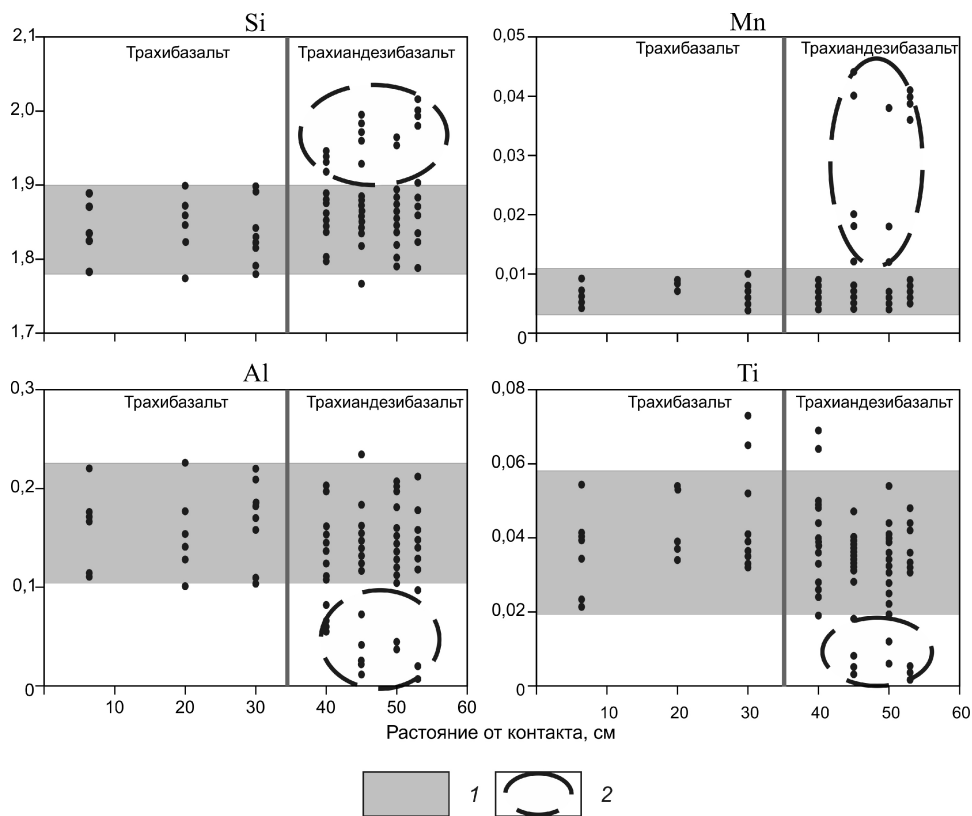


Рис. 2. Состав пироксенов на диаграмме Si, Al, Ti, Mn (формульные единицы) — расстояние от контакта с вмещающим известняком из трахибазальтов и трахиандезибазальтов (переходная зона):

1 — область состава пироксенов, кристаллизовавшихся в трахиобазальтовой магме;
2 — поле составов пироксенов, кристаллизовавшихся в гибридной магме

полняют пустоты в породе различной формы и размеров (1—2 мм).

Базитовые породы в дайке расположены симметрично, окаймляя гранит-порфировую центральную зону. Они представлены трахибазальтами с порфировой структурой, количество вкрапленников изменяется от 2—5% в 20—30 см от контакта с вмещающей породой, до 20—25% в эндоконтакте. Изменчив и набор вкрапленников — доминируют плагиоклаз и клинопироксен, причем их соотношение неустойчиво и меняется от образца к образцу: в зоне закалки преобладают плагиоклаз и оливин, а на удалении от контакта доминирует клинопироксен. В кристаллах оливина отсутствуют какие-либо оторочки, он просто замещен псевдоморфно боулингом, хлоритом или агрегатом этих минералов в ассоциации с кальцитом. Вкрапленники плагиоклаза также замещены смесью клиноцоизита и кальцита, поэтому определить его состав не удалось. Клинопироксен не подвергся вторичным изменениям, часто образует гломеропорфировые сростки с плагиоклазом. Размер вкрапленников от 0,5 до 2 мм. Основная масса сложена микролитами плагиоклаза, мелкими зернышками магнетита и

клинопироксена, темно-серым стеклом. Микроструктура основной массы интерсервальная.

В дайке между кислыми породами (трахириолиты) и основными (трахибазальты) отсутствует резкий контакт, здесь по направлению к центру дайки с постепенным переходом, без резких границ, расположены разновидности промежуточного состава: трахиандезибазальты, трахиандезиты, трахидациты, трахириодациты, минеральный состав которых постепенно меняется от трахибазальтовой ассоциации к трахириолитовой. Базитовые включения, присутствующие в переходной зоне, петрографически близки к трахибазальтам, но, как отмечено выше, они обогащены магнетитом, иногда внутри них наблюдаются включения щелочного полевого шпата.

Первые признаки гибридации базитового расплава обнаружены в 30—40 см от контакта с вмещающими известняками, здесь в трахиандезибазальтах появляются неравновесные минеральные фазы

и неоднородность основной массы, обусловленная наличием участков неправильной сложной или округлой формы размером в десятые доли мм, относительно обогащенные темноцветными минералами или более лейкократового состава, содержащие интерстициальный кварц. В трахиандезибазальтах также наблюдаются округлые более темные включения по петрографическому составу близкие к трахибазальтам. Среди вкрапленников трахиандезибазальтов доминируют гломеропорфировые сростки плагиоклаза и клинопироксена. Состав плагиоклаза изменяется от лабрадора до альбита. В зональных кристаллах молярная доля анортитовой составляющей снижается с 55% в центре до 47% к периферии зерен и возрастает концентрация ортоклазового минала от 3,6 до 6%. Вкрапленники клинопироксена в трахибазальтах обогащены алюминием и титаном (рис. 2), а в трахиандезибазальтах наряду с титанистым и глиноземистым пироксеном присутствует бедный алюминием и титаном, но богатый кремнием, марганцем (см. рис. 2) и кальцием (не показано). Эти пироксены часто зональные: к краевым зонам концентрация трехвалентного железа и кальция возрастает, что ука-

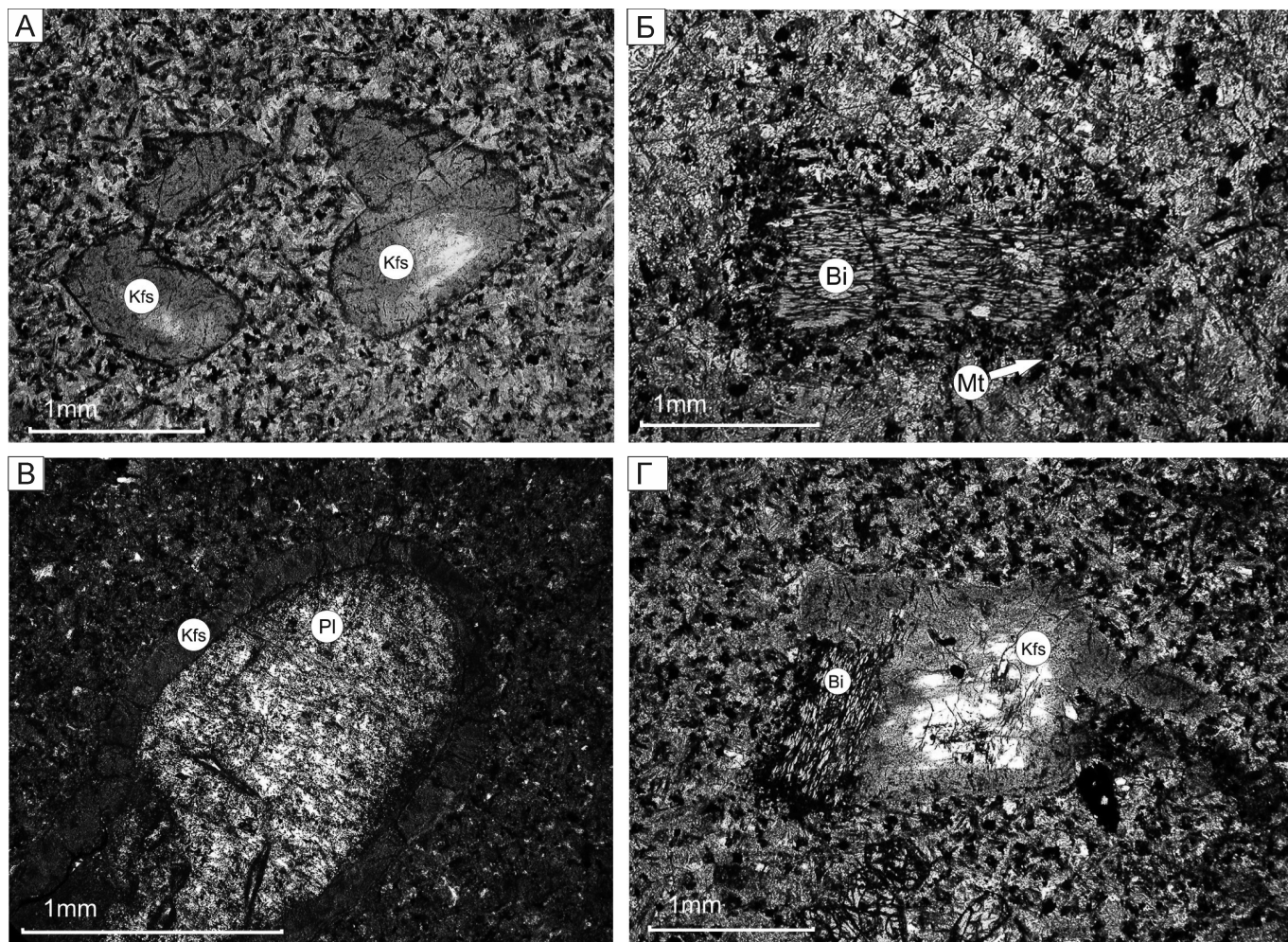


Рис. 3. Фотографии шлифов пород переходной зоны сложной дайки:

А — резорбированные кристаллы щелочного полевого шпата в трахиандезибазах; Б — опацитизированный кристалл биотита в трахиандезите; В — плагиоклаз с оторочкой из щелочного полевого шпата и биотита с опацитовой каймой в контакте с основной массой, трахиандезибаза; Kfs — щелочной полевой шпат; Bt — биотит; Mt — магнетит; Pl — плагиоклаз

зывает на увеличение фугитивности кислорода и уменьшение давления. С пироксеном в трахиандезибазах ассоциирует тройной полевой шпат, состав которого изменяется (массовые доли %: An 12—23, Or 7—16, Ab 70—78). Здесь же присутствуют редкие резорбированные вкрапленники щелочного полевого шпата, имеющие сглаженные закругленные контуры (рис. 3, А), и кристаллы опацитизированного биотита, окруженные оторочкой из тонкозернистого магнетита (см. рис. 3, Б).

Минералогические свидетельства смешения контрастных магм также отчетливо проявлены в трахиандезитах и трахидацитах. В них постепенно к центру дайки увеличивается количество вкрапленников щелочного полевого шпата. Вкрапленники плагиоклаза округлой формы, окруженные резко выраженной щелочнополевошпатовой каймой (см. рис. 3, В). В трахиандезитах наряду с клинопироксеном кристаллизуется амфибол, а в трахидацитах повышается коли-

чество биотита, который в трахиандезитах практически весь опацитизирован. Следует отметить, что опацизация может иметь место в двух случаях: в момент смешения контрастных магм и при излиянии магм на дневную поверхность. В данном случае присутствие опацитовой каймы вокруг самостоятельных кристаллов и ее отсутствие в гломеропорфировых сростках (см. рис. 3, Б, Г) свидетельствует о взаимодействии разнотипных магм [5].

Местами в зоне трахиандезитов как и в трахиандезибазах проявляется неоднородность основной массы, чередование участков размером от 0,5 до 5 мм в поперечнике, с различным содержанием феррических и салических минералов. По периферии участков, обогащенных темноцветными минералами, иногда отмечаются окаймляющие скопления пылевидного рудного минерала.

Трахидациты и трахириодациты внешне похожи. Однако микроскопически трахидациты отличаются

примерно равным соотношением вкрапленников щелочного полевого шпата и плагиоклаза, в т.ч. в виде резорбированных кристаллов, а в трахириодацитах щелочной полевой шпат доминирует над плагиоклазом. В обоих типах пород, кроме полевых шпатов, во вкрапленниках присутствует биотит, который представлен двумя генерациями — опациitized и без признаков опацитизации. Необходимо отметить, что у вкрапленников биотита трахириолитов опацитизация отсутствует. Кварц-полевошпатовая основная масса трахидацитов и трахириодацитов аналогична матриксу трахириолитов.

Таким образом, по химическим и минералого-петрографическим данным породы переходной зоны занимают промежуточное положение между трахибазальтами и трахириолитами. Они характеризуются совместным нахождением минералов-вкрапленников (лабрадор, высокоглиноземистый и титанистый пироксен, биотит, щелочной полевой шпат), типичных для трахибазальтов и трахириолитов. Нередко эти вкрапленники несут следы реакционного взаимодействия с окружающей матрицей. Кроме того, в трахиандезибазальтах и трахиандезитах присутствуют фазы (низкоглиноземистый кальциевый клинопироксен, амфибол), не обнаруженные в других породах дайки. Исходя из строения сложной дайки и подобных минералого-петрографических особенностей пород переходной зоны, представляется очевидным образование этих пород при смешении трахибазальной и трахириолитовой магм.

Петрогеохимические особенности пород дайки. Средний химический состав пород представлен в таблице. На рисунке 4, А показаны фигуративные точки составов пород дайки на бинарных диаграммах компонент—компонент. Как и другие породы дайкового пояса они по содержанию щелочей принадлежат к субщелочной серии с повышенной концентрацией калия. В отличие от общего тренда изменения состава пород бимодальной субвулканической серии, проходящего в виде изогнутой линии через область состава трахитов на диаграммах $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$, промежуточные породы сложной дайки имеют немного пониженную щелочность, и их составы сконцентрированы вдоль прямой линии, соединяющей поля составов трахибазальтов и риолитов. Следует отметить, что прямолинейная зависимость на бинарных диаграммах характерна для любых пар петрогенных компонентов и рассеянных элементов.

На рис. 4, Б отображено изменение химического состава пород сложной дайки вкост ее простираения. Здесь наиболее отчетливо наблюдается слабая асимметричность дайки: с правой стороны зона трахиандезитов в два раза уже, а зона трахириодацитов более широкая, чем в левой половине дайки. Вариации концентраций элементов от трахибазальтов через промежуточные породы к центральной трахириолитовой части дайки закономерны: понижаются concentra-

ции оснований, Sr, V, Cr, Zr и других элементов, которых больше в мафической части, чем в салической; возрастает содержание SiO_2 , K_2O и Rb. Трахибазальты, трахириолиты, а также промежуточные породы имеют близкое содержание Na_2O (см. таблицу и рис. 4, А) по всей мощности дайки. В трахиандезибазальной, трахиандезитовой и трахидацитовой промежуточных зонах отмечается относительно резкое падение концентраций FeO, MgO, V, Cr, а также Co и Ni, не отображенных на графике, в несколько раз. В то же время понижение содержаний Ca ясно выражено только в трахиандезитовой и трахидацитовой зонах. Трахириодациты практически по всем компонентам приближены к составу трахириолита, и здесь вариации составов незначительны.

На графике распределения редкоземельных элементов (рис. 5) наблюдается постепенное снижение содержаний редкоземельных элементов от трахибазальтов через трахиандезибазальты, трахиандезиты, трахидациты и трахириодациты к трахириолитам.

В целом петрогеохимические характеристики пород дайки согласуются со строением дайки и минералого-петрографическим составом пород, слагающих ее. Промежуточный геохимический состав пород переходной зоны не противоречит возможности образования трахиандезибазальтов, трахиандезитов, трахидацитов и трахириодацитов при смешении трахибазальной и трахириолитовой магм.

Происхождение промежуточных типов пород. Строение и микроструктуры дайки, порфировое сложение пород, наличие отчетливо выраженной закалочной зоны в трахибазальте в непосредственном контакте с вмещающими породами (известняками и монцодиоритами) однозначно свидетельствуют о ее магматическом происхождении. Дайка имеет практически симметричное строение с постепенным переходом от трахибазальтовых краевых зон к трахириолитовой центральной части. В составе пород переходной зоны в совместной ассоциации обнаружены минералы, характерные как для трахибазальтов, так и для трахириолитов. Признаки неравновесного сосуществования этих минералов свидетельствуют об их кристаллизации в первичных магмах еще до смешения. Наличие в трахиандезибазальтах пироксенов, по химическому составу отличающихся от пироксенов из трахибазальтов, а также образование таких минералов как амфибол (трахиандезиты) и тройной полевой шпат (трахиандезибазальты), отсутствующих в трахибазальтах и трахириолитах, предполагает их кристаллизацию уже из гибридных расплавов, которые формировались при смешении контрастных магм во время становления дайки (in situ).

Отметим так же, что хотя по геологическим и минералого-петрографическим данным гибридная природа промежуточных пород изученной комбинированной дайки представляется очевидной, тем не менее, зональные вкрапленники и минералы с реакци-

Средний химический состав пород Билютинской дайки

Компо- ненты	Трахи- базальты	Трахиандези- базальты	Трахиандезиты	Трахидациты	Трахирио- дациты	Трахи- риолиты
	<i>n</i> 14	<i>n</i> 10	<i>n</i> 6	<i>n</i> 13	<i>n</i> 14	<i>n</i> 4
SiO ₂	50,11	53,41	58,92	66,81	71,49	73,05
TiO ₂	1,58	1,34	0,98	0,57	0,34	0,29
Al ₂ O ₃	15,84	15,27	14,52	13,80	13,69	13,55
Fe ₂ O ₃	3,61	3,44	2,36	1,57	1,21	1,24
FeO	5,46	4,29	3,04	1,68	0,88	0,42
MnO	0,15	0,13	0,12	0,08	0,04	0,04
MgO	4,58	3,53	2,75	1,26	0,60	0,43
CaO	6,77	6,03	4,77	2,97	1,43	1,09
Na ₂ O	3,51	3,66	3,57	3,48	3,71	3,76
K ₂ O	3,49	3,36	3,47	4,25	4,66	4,82
P ₂ O ₅	0,87	0,70	0,48	0,23	0,09	0,05
П.П.П.	3,96	4,98	4,77	3,07	1,41	0,92
Сумма	99,67	100,14	99,65	99,51	99,54	99,64
f	65,35	67,68	65,28	70,80	76,43	78,19
Ba	1425	974	1354	1393	1207	1244
Rb	64	68	75	89	82	83
Sr	727	591	411	338	251	197
Nb	18	15	15	12	9	8,8
Zr	262	258	230	180	166	170
Y	30	26	25	17	14	13
Cr	93	69	23	19	10	4
Ni	43	15	12	12	7	2
Co	26	35	12	6	2	1
V	169	168	74	52	31	24
La	71,80	60,33	40,50	43,00	40,32	22,00
Ce	140,16	119,67	101,86	80,0	67,15	39,0
Pr	15,68	13,43	8,28	8,45	7,04	4,19
Nd	62,20	52,33	41,87	31,0	23,57	16,0
Sm	9,84	8,63	7,03	5,07	3,93	2,57
Eu	2,55	2,13	1,71	1,17	0,67	0,43
Gd	9,27	7,33	6,00	4,19	3,66	2,18
Tb	1,30	0,96	0,82	0,55	0,47	0,32
Dy	6,54	5,27	4,30	3,30	2,43	1,75
Ho	1,27	1,08	0,91	0,69	0,60	0,44
Er	3,33	2,81	2,38	1,87	1,71	1,25
Tm	0,47	0,42	0,36	0,30	0,28	0,21
Yb	2,59	2,61	2,25	1,92	2,03	1,52
Lu	0,44	0,39	0,36	0,32	0,31	0,28

Примечание. Петрогенные компоненты приведены в массовых долях %; элементы-примеси — в г/т; *n* — число анализов; *f* — (FeO+Fe₂O₃)/(FeO+Fe₂O₃+MgO) 100.

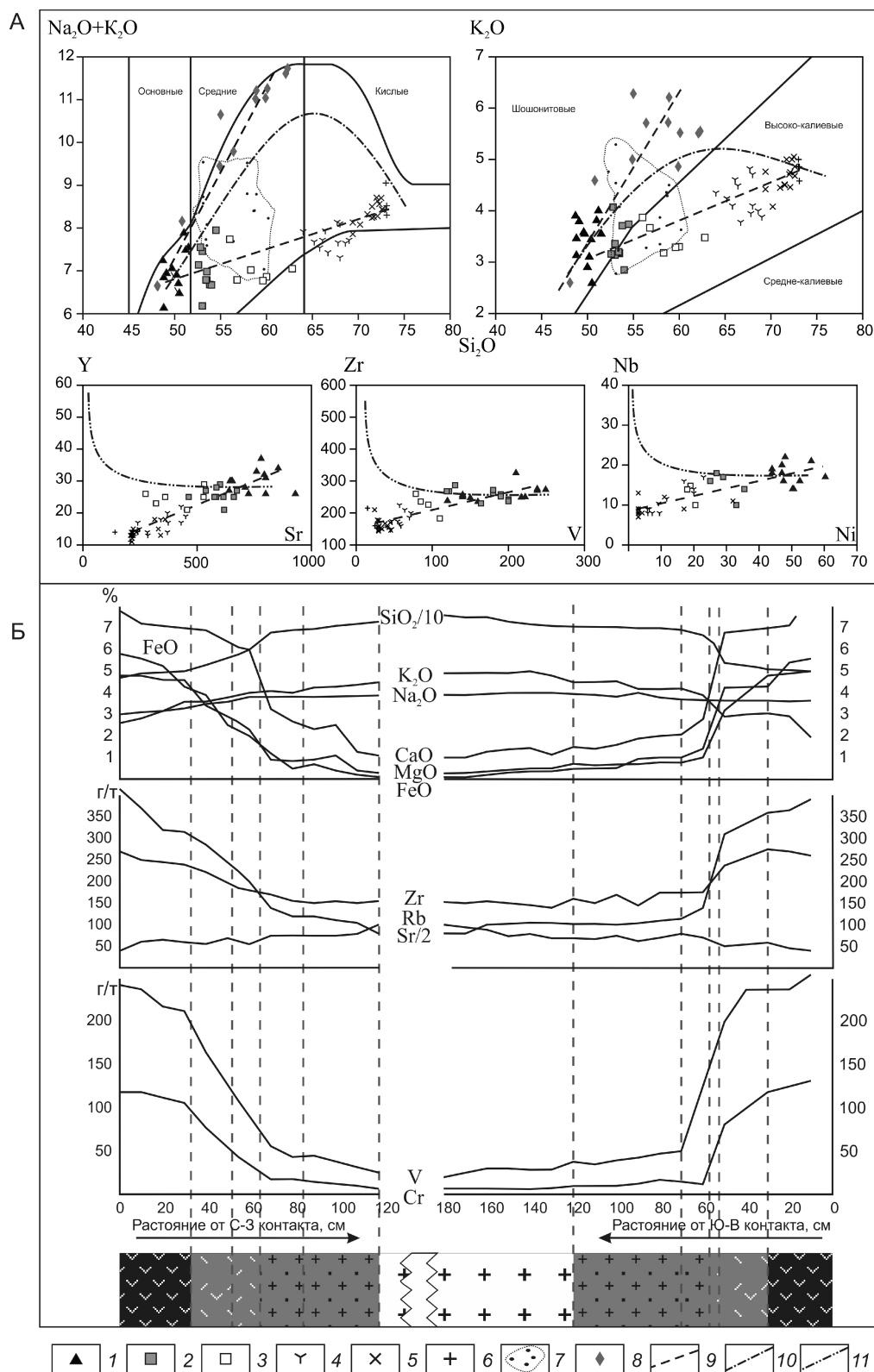


Рис. 4. Петрогеохимическая характеристика пород сложной дайки второго типа (Билютинский карьер):

А — положение фигуративных точек состава пород дайки на бинарных диаграммах SiO₂-Na₂O+K₂O, SiO₂-K₂O, Sr-Y, V-Zr и Ni-Nb; 1 — трахибазальт; промежуточные породы: 2 — трахиандезитбазальт, 3 — трахиандезит, 4 — трахидацит, 5 — трахириодацит; 6 — трахириолит; 7 — область состава простых трахиандезитовых даек позднепалеозойского дайкового пояса; 8 — точки состава сложной дайки позднепалеозойского дайкового пояса; тренды: 9 — смешения, 10 — вариаций состава простых даек позднепалеозойского дайкового пояса, 11 — теоретические фракционной кристаллизации трахибазальтовой магмы по работам 3, 14 ; Б — химический профиль вкрест простираения дайки; см. услов. обозн. к рис. 1

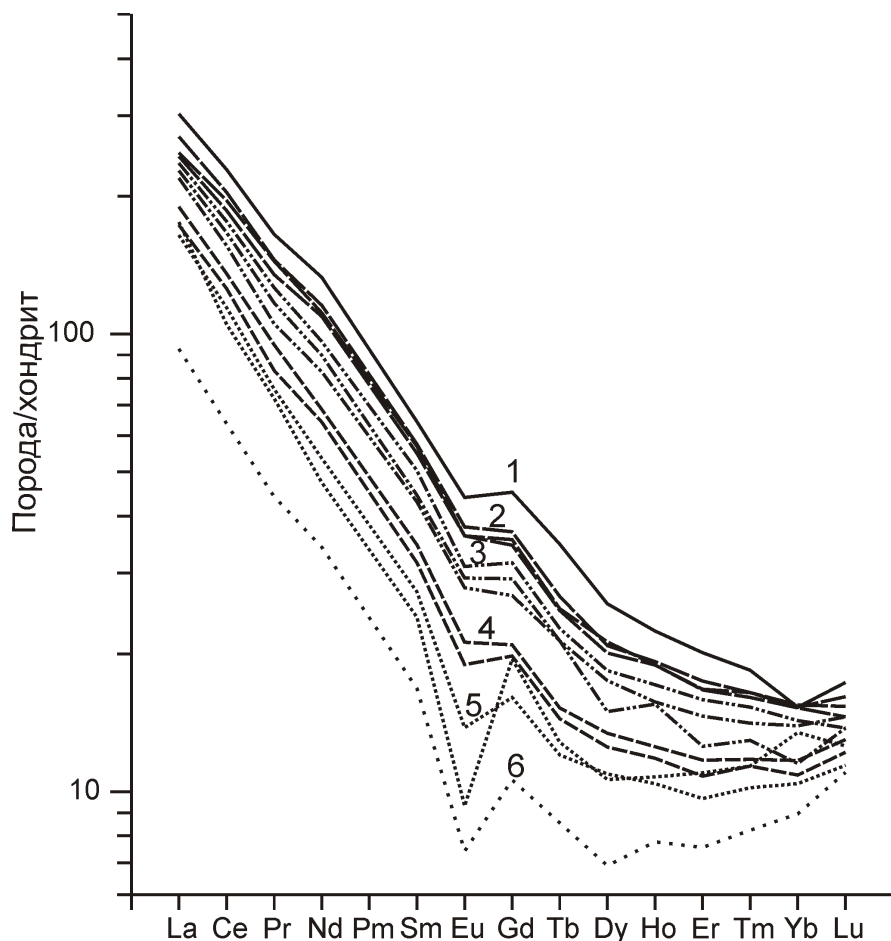


Рис. 5. Распределение содержаний редкоземельных элементов в породах сложной дайки, нормированных к среднему составу хондрита. По работе 17 :

1 — трахибазальт; промежуточные породы: 2 — трахиандезибазальт, 3 — трахиандезит, 4 — трахидацит, 5 — трахириодацит; 6 — трахириолит

онными оторочками, присутствующие в этих промежуточных породах, могут возникнуть при кристаллизационном фракционировании в стратифицированных магматических камерах [13]. Соответственно не исключено, что сложная дайка представляет собой результат последовательного, но близко одновременного внедрения магм или еще почти не дифференцированных или дифференцированных в разной степени в одну расширяющуюся полость из такой магматической камеры. При этом происходит смешение родственных магм в пределах дайки. Однако при кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы должно происходить обогащение ее производных расплавов такими элементами как Zr, Nb, Y, LREE, Rb, K, Na. В описываемой дайке наблюдается противоположная картина: от трахибазальтов к предполагаемым ее производным (трахиандезиты и трахидациты) фиксируется закономерное понижение концентраций Zr, Nb, Y, направленное на выравнива-

ние геохимического состава промежуточных пород с составом трахириолитов. О маловероятности происхождения пород среднего состава в результате дифференциации также свидетельствует расположение фигуративных точек составов пород дайки на бинарных диаграммах «совместимый—несовместимый элемент» (диаграммы Sr-Y, V-Zr и Ni-Nb (см. рис. 4, А). При фракционной кристаллизации базальтовой магмы соотношение этих пар элементов должно изменяться по гиперболическому тренду, а не по прямой линии (см. рис. 4, А) [13, 15].

Более вероятно, что вышеописанные геохимические особенности промежуточных пород изученной дайки обусловлены взаимодействием трахибазальтовой и трахириолитовой магм. Именно прямолинейная зависимость концентраций различных элементов в породах дайки на бинарных диаграммах и закономерное последовательное изменение химического состава от трахибазальтов через трахиандезибазальты, трахиандезиты, трахидациты и трахириодациты к трахириолитам показывают, что эти породы переходной зоны соответствуют производным, образованным при смешении контрастных магм.

Согласно работам [12, 18] образование сложных даек подобного типа происходит при внедрении салической магмы в полностью закристаллизованную центральную часть базальтовой дайки. При этом из-за близости субсолидусных температур мафических магм и субликвидусных температур салических расплавов, между контрастными магмами в области контакта происходит химическое смешение — mixing, с образованием пород промежуточного состава.

Следует отметить, что в пределах позднепалеозойского бимодального дайкового пояса такая дайка не единична, и подобные сложные симметричные дайки встречаются на других участках. В качестве примера на диаграммах $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (см. рис. 4, А) ромбиками отмечены фигуративные точки состава одной из сложных даек, краевые зоны которой представлены трахибазальтом, а центральная часть — трахитом. Кроме того, в пределах пояса имеются самостоятельные трахиандезитовые дайки. В них присутствуют ксенокристы кварца, щелочного полевого шпата и плагиоклаза с сетчатой каймой рас-

творения. По химическому составу они близки к трахиандезитам сложных даек (см. рис. 4, А, поле трахиандезитовых даек на диаграммах SiO_2 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) и SiO_2 K_2O). Данные особенности указывают на то, что смешение магм играло важную роль в образовании ряда средних пород бимодальной дайковой серии, и могло иметь место не только в пределах сложных даек, но и в более глубоких условиях, например, в промежуточных магматических камерах.

Из материалов статьи можно сделать следующие выводы:

1. Позднепалеозойский бимодальный дайковый пояс в центральной части Западного Забайкалья образовался при внедрении мафических (трахибазальтовых) и салических (трахит-трахириолитовых магм) в условиях тектонического растяжения земной коры. Наличие сложных даек свидетельствует о сосуществовании мафических и салических магм.

2. Сложные дайки второго типа [18] представляют собой симметричные тела вкрест своего простира-ния: с мафическими краями, салическим центром и переходной зоной между ними. Совокупность данных о геологическом строении и вещественном составе таких даек указывает на образование пород переходной зоны, трахиандезитов и трахидацитов, в результате *in situ* смешения трахибазальтовой и трахириолитовой магм.

3. Присутствие в составе дайкового пояса простых трахиандезитовых даек с минералого-петрографическими признаками гибридной природы может свидетельствовать о том, что процессы смешения контр-растных магм происходили не только в сложных дайках, но и на более глубоких горизонтах.

Работа выполнена при поддержке партнерского интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 17 (№ гос. рег. 01201253409).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.Ю. Мафические гомеогенные включения в вулканитах Курильской островной дуги и проблема смешения магм // Тихоокеанская геология. 1993. № 3. С 20—32.
2. Анфилов В.Н. Происхождение андезитов и риолитов комплементарных магматических серий // Литосфера. 2010. № 1. С. 37—46.
3. Богатиков О.А., Гоньшакова В.И., Ефремова С.В. и др. Классификация и номенклатура магматических горных пород. —М.: Недра, 1981.
4. Завиличев А.Н., Литвиновский Б.А., Андреев Г.В. Монголо-Забайкальская щелочногранитоидная провинция. —М.: Наука, 1985.
5. Плечов П.Ю., Цай А.Е., Щербаков В.Д., Дирксен О.В. Роговые обманки в андезитах извержения 30 марта 1956 г. вулкана Безымянный и условия их опацификации // Петрология. 2008. Т. 16. № 1. С. 19—35.
6. Попов В.С. Смешение магм — важный петрогенетический процесс // Зап. ВМО. 1983. С. 229—240.
7. Скляр Е.В., Федоровский В.С. Тектонические и геодинамические аспекты механического смешения магм (магматического минглинга) // Геотектоника. 2006. № 2. С. 47—64.
8. Хубанов В.Б. Бимодальный дайковый пояс центральной части Западного Забайкалья: геологическое строение, возраст, состав и петрогенезис // Автореф. дисс. ...канд. геол.-минер. наук. —Улан-Удэ, 2009.
9. Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И. Источники внутримантийного магматизма Западного Забайкалья в позднем мезозое—кайнозое (на основе геохимических и изотопно-геохимических данных) // Петрология. 1998. Т. 6. № 2. С. 115—138.
10. DePaolo D.J. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fraction crystallization // Earth and Planetary Letters. 1981. Vol. 53. Pp. 189—202.
11. Duchesne J.C., Berza T., Liegeois J.P., Auwera J.V. Shoshonitic liquid line of descent from diorite to granite: the Late Precambrian post-collisional Tismana pluton (South Carpathians, Romania) // Lithos. 1998. Vol. 45. Pp. 281—303.
12. Katzir Y., Litvinovsky B.A., Jahn B.M., et. al. Interrelations between coeval mafic and A-type silicic magmas from composite dykes in a bimodal suite of southern Israel, northernmost Arabian-Nubian shield: Geochemical and isotope constraints // Lithos. 2007. Vol. 97. Pp. 336—364.
13. Myron G.Best. Igneous and metamorphic petrology. —New York. John Wiley and Sons.— 2 nd ed. 2003.
14. Peccherillo A., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1976. Vol. 58. Pp. 63 — 81.
15. Peccherillo A., Donati C., Santo A.P., et. al. Petrogenesis of silicic peralkaline rocks in the Ethiopian rift: Geochemical evidence and volcanological implications // Journal of African Earth Sciences. 2007. Vol. 48. Pp. 161—173.
16. Schiano P., Monzier M., Eissen J.P., et. al. Simple mixing as the major control of the evolution of volcanic suites in the Ecuadorian Andes // Contrib. Mineral. Petrol. 2010. Vol. 160. Pp. 297—312.
17. Sun S.S. and McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: A.D.Saunders and M.J.Norry, Editors, Magmatism in the Ocean Basins. Vol. 42. Geological Society of London. 1989. Pp. 313—345.
18. Weibe R.A., Ulrich R. Origin of composite dikes in the Gouldsboro granite, coastal Maine // Lithos. 1997. Vol. 40. Pp. 157—178.