

УДК 552.321

В.А. Яковлев, И.Ф. Чайка, М.С. Здрокова

Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

**СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН
МАГМАТИЧЕСКОГО МИНГЛИНГА: РЕЗУЛЬТАТЫ
МИКРОРЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И 3D X-RAY
ТОМОГРАФИИ**

Опираясь на данные петрографического изучения, рентгеновской компьютерной томографии (3D X-Ray томографии) и микрорентгеноспектрального анализа, установлен генезис пород, формирующихся на контакте габброидов и гранитоидов в минглинге плутонического и жильного типов. Объектами исследования являются магматические тела, расположенные на территории Западного Сангилена (ЮВ Тува). Показано, что появление промежуточных зон в магматическом минглинге плутонической группы является результатом возникновения гибридного расплава при взаимодействии контрастных по составу магм. Появление переходных зон в группе комбинированных даек связано с процессами диспергирования, т.е. активного механического взаимодействия в обстановках быстрой консолидации расплавов.

Библ. 5.

Ключевые слова: магматизм, минглинг, миксинг, Сангилен, Тува

Сосуществование и взаимодействие контрастных по составу магм, как возможность прямого изучения свидетельств мантийно-корового взаимодействия, вызывает особый интерес у петрологов уже на протяжении более 150 лет (см. обзор в [3,4]).

Морфология магматических тел, условия, факторы и механизмы магматического минглинга могут быть принципиально различными для инъекций основных магм в гранитоидные камеры (плутонический тип минглинга) и при взаимодействии контрастных магм в условиях дайкообразования – жильный тип комбинированных даек.

Группа плутонического минглинга объединяет в себе синплутонические дайки, мафические микрогранулярные включения в гранитных плутонах, MASLI (mafic-silica layered intrusion). К данной группе при условии присутствия свидетельств смешения магм относятся также габбро-гранитные полифазные массивы и вулканические камеры.

К объектам жильного типа следует относить комбинированные дайки - слепые магматические тела, несущие признаки магматического смешения, с четко различимыми контактами с вмещающими породами. Геологические обстановки смешения контрастных магм при

формировании комбинированных даек отличаются от таковых для объектов плутонической группы [2].

Процесс смешения контрастных по составу магм включает в себя два типа взаимодействия. С одной стороны, это механическое смешение магм (mingling), результатом которого являются композитные магматические тела, состоящие из различимыми по цвету и текстуре пород. Другой элемент данного процесса – химическая гомогенизация расплавов (mixing), результатом которого являются гибридные породы. Наряду с ассимиляцией и фракционной кристаллизацией, смешение магм является одним из факторов, обеспечивающих наблюдаемое разнообразие горных пород в земной коре.

Взаимодействие контрастных магм редко протекает по сценарию только механического смешения или исключительно гибридизации. Как правило, продуктами смешения являются породы, несущие признаки в разных соотношениях как минглинга, так и миксинга.

Опираясь на данные рентгеновской компьютерной томографии (3D X-Ray томографии) и микрорентгеноспектрального анализа, в данной работе предпринята попытка установить генезис пород, формирующихся на контакте габброидов и гранитоидов в минглинге плутонического и жильного типов.

Участок Стрелка (плутонический тип) расположен в междуречье рек Эрзин и Нарын (Западный Сангилен, Юго-Восточная Тува). Вмещающими породами являются гранитоиды Нижнеэрзинского массива, по видимой протяженности шлейфы и рои мафических пород достигают сотен метров; мощность варьирует от 15 см до 3,5 м. Контакты с вмещающими породами имеют неясный характер, что выражается в невозможности диагностировать расположение контактовой зоны: нередко отдельные мелкие нодулы базитов проникают во вмещающие гранитоиды. В то же время, отдельные крупные базитовые тела часто рассечены системой гранитоидных «жил». Контактные зоны имеют преимущественно пламенеvidный и лопастевидный облик, и насыщены породами с промежуточным индексом мафичности.

Участок Сайзырал (жильный тип) расположен в осевой части Эрзинской сдвиговой зоны на правом берегу низовья р. Эрзин в южной экзоконтактовой зоне Матутского гранитного массива. Вмещающими породами являются мигматиты и параавтохтонные граниты эрзинского метаморфического комплекса. Контакты дайки с вмещающими породами четкие, криволинейные, зоны закалки отсутствуют. Пегматоидные обособления гранитоидов дайки формируют во вмещающих породах апофизы, ориентированные параллельно плоскостям скалывания в мигматитах. Особенности внутреннего строения комбинированной дайки свидетельствует об активном смешении контрастных магм, сопровождавшемся формированием на их контакте пород с промежуточным индексом мафичности.

В данной работе основной акцент сделан на анализе пространственного распределения и состава минеральных фаз на контакте контрастных по составу пород. Данные по вещественному составу пород магматического минглинга представлены в работе [5] в настоящем сборнике.

Микрорентгеноспектральный анализ

Анализ проводился методом площадного картирования составов амфиболов и биотитов мафических и салических пород, а также пород переходных зон магматического минглинга двух типов. Химические анализы минералов выполнены на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8320 с электронным зондом “Camebax-micro” в Аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева. Все анализы проводились при 20 кВ и токе зонда 40 нА. Природные материалы использовались в качестве стандартов во время съемки и анализировались через каждые 30-50 измерений. Шлифы изготавливались из цилиндрических заготовок для анализа методом рентгеновской томографии (см. ниже). Непокрытые шлифы предварительно напылялись углеродной пленкой толщиной 25 мкм.

Для магматического минглинга плутонического типа (участок Стрелка) характерен ступенчатый характер изменения состава амфибола по основным петрогенным элементам в последовательности «базит – переходная зона – гранит». Составы биотитов из переходных зон минглинга дайкового типа (участок Сайзырал) не отличаются от составов биотитов из гранитоидов дайки.

3D X-Ray томография

Дистанционная 3D – визуализация с использованием рентгеновской компьютерной томографии получила широкое распространение в исследованиях в области наук о Земле начиная с 1990-х годов. Метод обычно применяется с использованием стандартного источника рентгеновского излучения, но возможно использование альтернативных источников, таких как синхротронное излучение, гамма-лучи и электроны [1].

В рентгеновской томографии минералы различаются на основе значений коэффициентов линейного ослабления μ . Этот параметр зависит от электронной плотности минерала, эффективного атомного номера среды (минерала) и энергии входящего рентгеновского пучка. С помощью данного метода невозможно сепарировать соприкасающиеся кристаллы одного минерала, так как μ не зависит от направления. Современные инструменты микро-рентгеновской томографии обладают разрешением в диапазоне 1-30 мкм с размером образца до 7x3 см [1].

Для анализа использовались те же образцы с переходными зонами «базит-гранит», что и для микрорентгеноспектрального анализа. В образцах были пробурены цилиндры диаметром 2 см и высотой 1 см (по 3 цилиндра из пород каждого участка).

Съемка цилиндров проводилась в РЦ СПбГУ «Геомодель» на рентгеновском томографе с высоким разрешением (3 мкм) Bruker SkyScan

1172. Пакетная обработка снимков (около 2000 снимков для каждого цилиндра) производилась в программе Bruker CTvox в стандартных режимах: объемном, ослабления и проекций максимальной интенсивности [1].

Пространственное распределение пород с различными коэффициентами μ на участке Стрелка указывает на возникновение в зоне контакта мелкокристаллической области промежуточной плотности. Зоны контакта контрастных пород комбинированной дайки участка Сайзырал характеризуются кластерным распределением пород с пограничными значениями коэффициента μ . Зоны с промежуточной плотностью отсутствуют.

Таким образом, появление промежуточных зон в магматическом минглинге плутонической группы можно интерпретировать как результат возникновения гибридного расплава при взаимодействии контрастных по составу магм. Появление переходных зон в группе комбинированных даек связано с процессами диспергирования, т.е. активного механического взаимодействия в обстановках быстрой консолидации расплавов.

Исследование выполнено по государственному заказу ИГМ СО РАН при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-35-00467).

Библиографический список

1. Jerram D.A., Higgins M.D. 3D Analysis of Rock Textures: Quantifying Igneous Microstructures // *Elem.* 2007. V. 3 Iss. 4. P. 239–245.
2. Vladimirov V.G., Yakovlev V.A., Karmysheva I.V. Mechanisms of magmatic mingling in composite dykes: models of dispersion and shear dilatation // *Geodyn. & Tectonophys.* 2019. V. 10. P. 325–345.
3. Wiebe R. Mafic replenishments into floored silicic magma chambers // *Am. Miner.* 2016. V. 101. P. 297–310.
4. Wilcox R.E. The idea of magma mixing: history of a struggle for acceptance // *J. Geol.* 1999. V. 107. P. 421–432.
5. Yakovlev V.A., Zdrokova M.S., Chayka I.F. Magmatic mingling of West Sangilen (SE Tuva): composition and isotopic age // *this issue.*

THE STRUCTURE AND COMPOSITION OF TRANSITION ZONES OF MAGMATIC MINGLING: THE RESULTS OF EMPA ANALYSIS AND 3D X-RAY TOMOGRAPHY

V.A. Yakovlev, I.F. Chayka, M.S. Zdrokova

yakovlevva@igm.nsc.ru

Based on the data of petrographic studies, 3D X-Ray tomography, and EMPA analysis, an attempt was made to establish the genesis of rocks formed at the contact of mafic and salic rocks in plutonic and vein-type mingling. It is shown that the appearance of intermediate zones in the magmatic mingling of the plutonic group is the result of the appearance of a hybrid melt during the interaction of magmas with contrasting compositions. The appearance of transition zones in the group of combined dikes is associated with dispersion processes, i.e. active mechanical interaction in conditions of rapid consolidation of melts.

Keywords: magmatism, mingling, mixing, Sangilen, Tuva