

УДК 552.11: 470.62/67  
DOI: 10.7868/S25000640200104

## ПРИЗНАКИ МАГМАТИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ БОНИНИТОВ КАК КРИТЕРИЙ КОЛЧЕДАНОНОСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПАЛЕООСТРОВОДУЖНОГО КОМПЛЕКСА ЗОНЫ ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© 2020 г. В.С. Исаев<sup>1</sup>, А.Б. Кафтанатий<sup>1</sup>, Е.Б. Кафтанатий<sup>1</sup>

**Аннотация.** Рассмотрены процессы дифференциации магматических расплавов, приводящие к появлению контрастных по составу ассоциаций магматических пород. С этими процессами связывается образование флюидно-силикатных систем с концентрацией в них рудного вещества. Данные о ликвационном генезисе пироксенит-плагиогранитной серии пород субвулканической и гипабиссальной фаций получены при изучении комплекса палеозойских магматитов зоны Передового хребта Северного Кавказа. Вулканиты бонинит-марианитовой серии, входящие в состав продуктивной колчеданосной кизилкольской свиты палеозоя, характеризуются разномасштабными проявлениями ликвации.

По результатам петрографических и петрохимических исследований обоснована высокая склонность бонинитов к ликвации, обусловленная особенностями их химического состава и высоким содержанием флюидов. Анализ состава вариолей и продуктов их слияния в зональных шаровых блоках бонинитов показывает, что расслоение бонинитового расплава на несмешивающиеся жидкости начинается с обособления в нем участков, обогащенных каркасными структурными компонентами. В кислых дериватах расплава концентрируются преимущественно плагиоклаз и кварц, а в основных – цепочечные силикаты (пироксен). Это обусловлено докристаллизационной полимеризацией расплава с образованием высокополимеризованных структурных единиц (полевошпатовые компоненты), которые и выступают в роли кислой фазы. Последняя в связи с особенностями состава концентрирует и подавляющую часть летучих компонентов.

Примеры магматического расслоения бонинитов свидетельствуют о том, что при их ликвации могут возникать высокофлюидные силикатно-рудные системы, способные приводить к формированию рудоносных кислых дифференциатов. Последние несут признаки магматического расслоения бонинитов и являются критерием колчеданосности вулканитов.

**Ключевые слова:** магматическое расслоение, ликвация, бониниты, вариолиты, рудоносные дифференциаты.

## SIGNS OF MAGMATIC SEPARATION OF BONINITES AS A CRITERION OF SULFIDE CONTENT FOR EXAMPLE PALEO ARC ISLAND COMPLEX AREAS OF FORWARD RIDGE OF THE NORTH CAUCASUS

V.S. Isayev<sup>1</sup>, A.B. Kaftanatiy<sup>1</sup>, E.B. Kaftanatiy<sup>1</sup>

**Abstract.** The article discusses the processes of differentiation of magmatic melts, leading to the appearance of associations of igneous rocks that are contrasting in composition. The formation of silicat-fluid systems with the concentration of ore substance in them is associated with these processes. Data on the segregation genesis of the pyroxenite-plagiogranite series of rocks of the subvolcanic and hypabyssal facies were obtained in the study of the Paleozoic magmatite complex of the North Caucasus Advanced Range zone. Volcanites of boninite-marianite series, which are part of the productive pyritiferous Kizilkolsky Formation of the Paleozoic, are characterized by diverse manifestations of segregation.

<sup>1</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова (Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation), Российская Федерация, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: kaftanatiy\_ab@mail.ru

Based on the results of petrography and petrochemical studies, the high tendency of boninites to segregation is substantiated, due to the peculiarities of their chemical composition and high fluid content. An analysis of the composition of varioles and the products of their fusion in the zonal spherical blocks of boninites shows that the separation of the boninite melt into immiscible liquids begins with the isolation of sections enriched with frame structural components. Plagioclase and quartz are concentrated mainly in acidic derivatives of the melt, and chain silicates (pyroxene) are concentrated in the main ones. This is due to pre-crystallization polymerization of the melt with the formation of highly polymerized structural units (feldspar components), which act as the acid phase. The latter, in connection with the characteristics of the composition, concentrates also the vast majority of volatile components.

Examples of magmatic stratification of boninites indicate that when they segregate, highly ore-silicate fluid systems can occur that can lead to the formation of ore-bearing acid differentiates. The latter bear signs of magmatic stratification of boninites and are a criterion for pyrite bearing of volcanics.

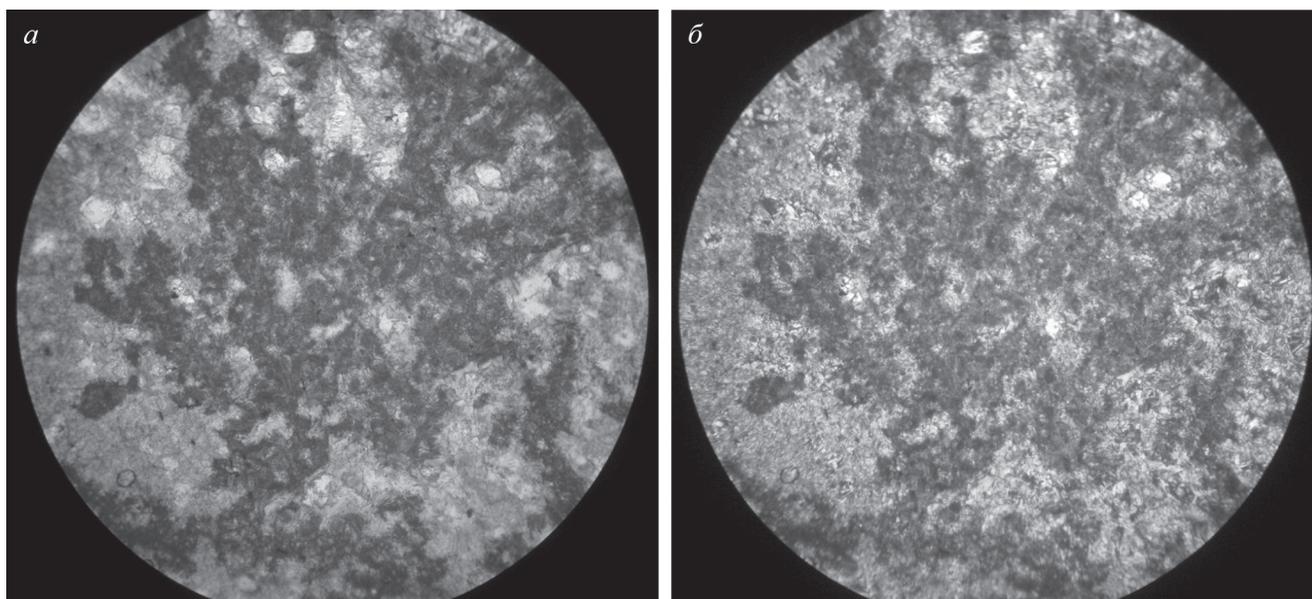
**Keywords:** magmatic stratification, segregation, boninites, variolites, ore-bearing differentiates.

Ликвации как одному из процессов дифференциации магматических расплавов, способному привести к появлению контрастных по составу ассоциаций магматических пород, многие исследователи придают большое значение [1–5]. Одним из аргументов в пользу ликвационного генезиса ассоциаций магматических горных пород является несоответствие тренда их дифференциации с трендом фракционной кристаллизации, а также наблюдаемые в них текстурные признаки магматического расслоения.

Наиболее убедительным признаком магматического расслоения является вариолитовая структура пород, состоящих, как правило, из контрастных по составу образований, среди которых выделяют-

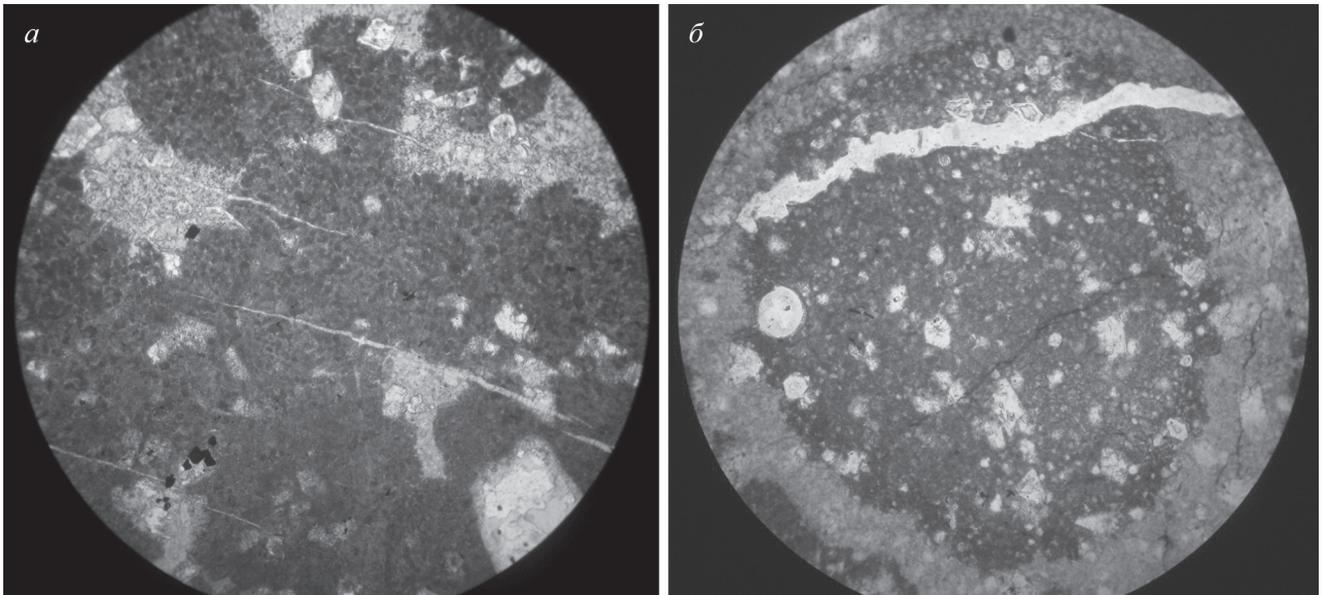
ся матрица и вариоли. Однако несмотря на то, что экспериментальным путем доказана ликвационная природа вариолитов [6], их происхождение продолжает оставаться предметом дискуссии [7]. Еще более спорным вопросом является ликвационная природа различных по масштабам массивов горных пород контрастного состава. Поэтому новые данные, свидетельствующие о ликвационном генезисе ассоциаций магматических горных пород, являются, на наш взгляд, актуальными.

Веские аргументы, свидетельствующие о ликвационном генезисе пироксенит-плагиогранитной серии пород субвулканической и гипабиссальной фаций, получены при изучении комплекса палеозойских магматитов зоны Передового хребта Се-



**Рис. 1.** Сетчатый ксеноморфный криптокристаллический агрегат, формирующий вариоли: *а* – проходящий свет (николи параллельны), диаметр поля зрения 3,6 мм; *б* – поляризованный свет (николи скрещены), диаметр поля зрения 3,6 мм.

**Fig. 1.** Mesh xenomorphic cryptocrystalline aggregate forming varioles: *a* – transmitted light (nicoles are parallel), field of view diameter 3.6 mm; *b* – polarized light (nicoles are crossed), the diameter of the field of view is 3.6 mm.



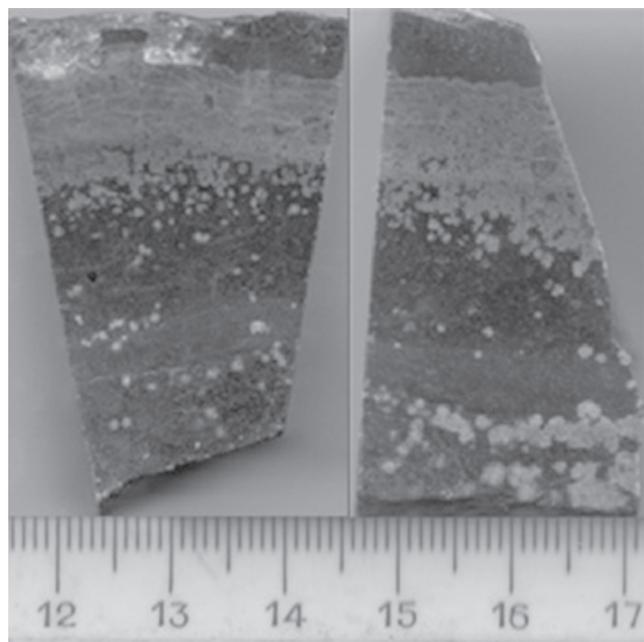
**Рис. 2.** Трансформации криптокристаллического агрегата: *a* – уплотнение криптокристаллического агрегата вариолей (николи параллельны), диаметр поля зрения 3,6 мм; *б* – сворачивание криптокристаллического агрегата в сферическую вариолу (николи скрещены), диаметр поля зрения 3,6 мм.

**Fig. 2.** Transformation of a crypto crystalline aggregate: *a* – seal of the cryptocrystalline aggregate of varioles (nicols are parallel), the diameter of the field of view of 3.6 mm; *b* – folding the cryptocrystalline aggregate into a spherical variol (nicols are crossed), the diameter of the field of view is 3.6 mm.

верного Кавказа [8]. С этими образованиями, как известно, ассоциируют два крупных медноколчеданных объекта (Урупское и Худесское месторождения), а также ряд более мелких. Все они локализованы в полосе развития девонского вулканогенно-осадочного комплекса, которая рассматривается как фрагмент сложной палеоостроводужной системы с тектонически совмещенными в разрезе различными структурными элементами [9]. Ее островодужный элемент, получивший название Кизилкольского, характеризуется латеральной неоднородностью и включает четыре парагенеза вулканических комплексов. Два из них – Урупский риолит-базальтовый контрастно дифференцированный и Кардджуртский базальт-андезит-риолитовый последовательно дифференцированный – вмещают рудные тела соответствующих месторождений.

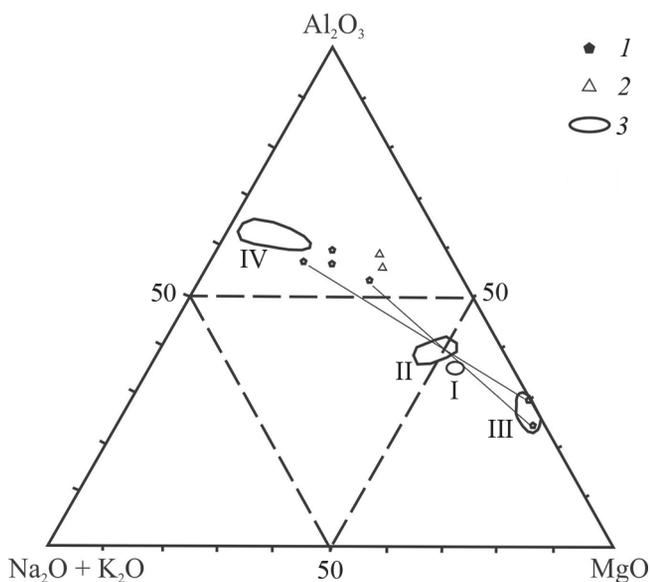
По мнению Н.С. Скрипченко и А.С. Тамбиева [10], Г.В. Рябова и И.А. Богуша [11], геотектонические обстановки формирования рассматриваемых месторождений принципиально различны: Худесское месторождение ассоциирует с базальт-офиолитовым комплексом океанического рифта, а Урупское – с базальт-риолитовым островодужным комплексом. Основанием для такого разделения послужило принципиальное различие в составе как вмещающих пород, так и

руд рассматриваемых объектов. Руды Урупского месторождения – медно-цинково-колчеданные золотоносные с соотношением меди к цинку от 3 : 1 до 4 : 1, а Худесского – медно-цинково-колчеданные кобальтоносные с соотношением меди к цинку 6 : 1. Таким образом, в трактовке условий формирования Урупского месторождения различными авторами расхождений нет, а в вопросе геотектонической обстановки формирования Худесского месторождения обнаруживаются существенные расхождения. Ранее [8] было показано, что в разрезах зоны Передового хребта и, в частности, Худесского месторождения принимают участие вулканы марианит-бонинитовой серии с разномасштабными проявлениями ликвационной дифференциации. Однако следует подчеркнуть, что близкие к ним породы – марианиты, но отнесенные к спилитам, – ранее были охарактеризованы в пределах Худесского рудного поля Н.С. Скрипченко [12]. В дальнейшем Н.С. Скрипченко и А.С. Тамбиев [10] стали рассматривать их как пикритобазальты. Однако проведенные нами дополнительные исследования Худесского и Чучкурского рудных полей показали, что рудовмещающие вулканы Худесского месторождения представлены не пикритобазальтами, а марианитами и бонинитами. Таким образом, становится актуальным решение вопроса о формацион-



**Рис. 3.** Зарождение и всплывание вариолей с образованием зонк кислого и основного ликватов под верхней закаленной оболочкой «подушки». Полированные штуфы.

**Fig. 3.** The origin and emergence of varioles with the formation of zones of acidic and basic segregates under the upper hardened casing of the “pillow”. Polished Ore.



**Рис. 4.** Диаграмма  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  для ликватов из шаровых блоков бонинитов и расслоенного горизонта: 1 – основные и кислые ликваты; 2 – дайки бонинитов с вариолитовыми зонами; 3 – поля составов: I – исходный расплав бонинитов (вариолитов), II – кислых ликватов из шаровых блоков бонинитов, III – основных ликватов, IV – плагиогранит-порфиоров. Линиями соединены сопряженные ликваты.

**Fig. 4.** Diagram of  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  for segregates from spherical blocks of boninites and a layered horizon: 1 – basic and acid segregates; 2 – boninite dykes with variolitic zones; 3 – composition fields: I – initial melt of boninites (variolites), II – acid segregates from spherical blocks of boninites III – main segregates IV – plagiogranite-porphry. The lines are connected by conjugated segregates.

ной принадлежности руд Худесского месторождения, их связи с марианит-бонинитовым комплексом как одним из начальных этапов энзиматического островодужного вулканизма.

Породы, относимые к бонинитам, при сохранении присущих им минералогических и петрохимических особенностей характеризуются достаточно широкими вариациями минерального и химического состава [13]. Содержание  $\text{MgO}$  в их некумулятивных разностях может колебаться от 10 до 22 %, а  $\text{SiO}_2$  – от 56 до 62 %. В то же время, несмотря на высокую кремнекислотность, одной из первых кристаллических фаз в них является оливин. Стекла из базиса кайнотипных бонинитов могут отвечать по составу низкокалиевым дацитам, что считается обусловленным фракционированием оливина и низкокальциевого пироксена [13]. Бонинитовые магмы являются высоководными и могут содержать до 5 %  $\text{H}_2\text{O}$  [13–15]. Они характеризуются большим температурным интервалом кристаллизации (300–400 °С), и при накоплении воды в остаточных расплавах у них возникают большие возможности для дифференциации в направлении плагиогранитных магм [14]. Они постоянно ассоциируют с породами кислого состава плагиогранитного ряда [13].

Бониниты, установленные нами в пределах Северного участка Тырныаузского рудного поля, характеризуются разномасштабными проявлениями ликвационных текстур и структур. Они представлены вариолитами с вариолями различного состава и размера, продуктами их слияния – вариолевыми жилками и зонками ликватов контрастного состава в подушечных блоках и более значительными по размерам телами кислых и основных пород, ликвационная природа которых не вызывает сомнения [16]. Таким образом, можно утверждать, что ликвационное расслоение бонинитовой магмы проявляется в достаточно широком диапазоне температур, давлений и колебаний флюидного режима, что обусловило вариации состава и структуры вариолей и более значительных по масштабу тел ликватов.

Анализ состава вариолей и продуктов их слияния, которые наблюдаются в шаровых блоках бонинитов, имеющих зональное строение, показывает, что расслоение бонинитового расплава на несмешивающиеся жидкости начинается с обособления в нем участков, обогащенных каркасными структурными компонентами расплава, представленными в данном случае кислым плагиоклазом. Такого рода

**Таблица 1.** Химические анализы вариолитов бонинитов и их ликватов [11]  
**Table 1.** Chemical analyses of varinolites of boninites and their segregates [11]

| Компоненты<br>Components       | Исходный состав бонинита (вариолит), обнажение 1<br>The initial composition of boninite (variolite), rock outcrop 1 |   |        | Исходный состав бонинита (вариолит), обнажение 2<br>The initial composition of boninite (variolite), rock outcrop 2 |   |       | Ликваты из расслоенного горизонта<br>Layered horizon segregates |       |       |                   |        |        |
|--------------------------------|---|---|--------|---|---|-------|---|-------|-------|-------------------|--------|--------|
|                                | Кислые<br>Acidic  | Сопряженные ликваты,<br>обнажение 1 /<br>Conjugated segregates,<br>rock outcrop 1 |        | Кислые<br>Acidic  | Сопряженные ликваты,<br>обнажение 2<br>Conjugated segregates,<br>rock outcrop 2 |       | Кислые<br>Acidic  |       |       | Основные<br>Basic |        |        |
| SiO <sub>2</sub>               | 54,79   | 53,67   | 49,53  | 54,80   | 56,30   | 49,80 | 55,25   | 56,97 | 60,95 | 62,70             | 47,71  | 45,24  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,32  | 0,28  | 0,33   | 0,29  | 0,29  | 0,21  | 0,51  | 0,38  | 0,36  | 0,45              | 0,36   | 0,40   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,03  | 9,26  | 7,76   | 9,50  | 10,30   | 7,90  | 15,03   | 13,43 | 14,12 | 14,35             | 8,84   | 8,34   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,60  | 3,82  | 4,64   | 3,18  | 3,75  | 2,77  | 3,50  | 2,49  | 2,54  | 4,72              | 4,87   | 2,00   |
| FeO                            | 4,78  | 4,31  | 5,36   | 5,40  | 3,63  | 6,15  | 5,17  | 4,70  | 3,47  | 2,03              | 6,56   | 6,77   |
| MnO                            | 0,17  | 0,14  | 0,15   | 0,20  | 0,12  | 0,20  | 0,14  | 0,10  | 0,12  | 0,09              | 0,22   | 0,25   |
| MgO                            | 12,76   | 11,25   | 16,45  | 13,20   | 11,80   | 18,90 | 5,90  | 8,86  | 5,76  | 4,58              | 19,52  | 22,27  |
| CaO                            | 8,60  | 7,11  | 7,56   | 8,12  | 6,64  | 7,84  | 5,49  | 3,81  | 4,51  | 3,49              | 5,78   | 6,82   |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,05  | 1,90  | 0,19   | 2,15  | 3,05  | 0,84  | 4,68  | 3,63  | 4,63  | 5,70              | 0,05   | 0,36   |
| K <sub>2</sub> O               | 0,21  | 0,09  | 0,05   | 0,22  | 0,11  | 0,01  | 0,40  | 0,38  | 0,39  | 0,09              | 0,05   | 0,04   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,02  | 0,02  | 0,07   | <0,03   | 0,02  | 0,02  | 0,02  | 0,03  | 0,01  | 0,04              | 0,06   | 0,10   |
| П.п.п.*                        | 2,94  | 7,77  | 8,31   | 3,03  | 3,63  | 4,99  | 3,47  | 4,77  | 2,76  | 2,17              | 6,57   | 7,74   |
| Σ                              | 99,74   | 99,62   | 100,37 | 100,09  | 99,64   | 99,62 | 99,56   | 99,55 | 99,62 | 100,41            | 100,59 | 100,33 |

Примечание. \* – потери при прокаливании.

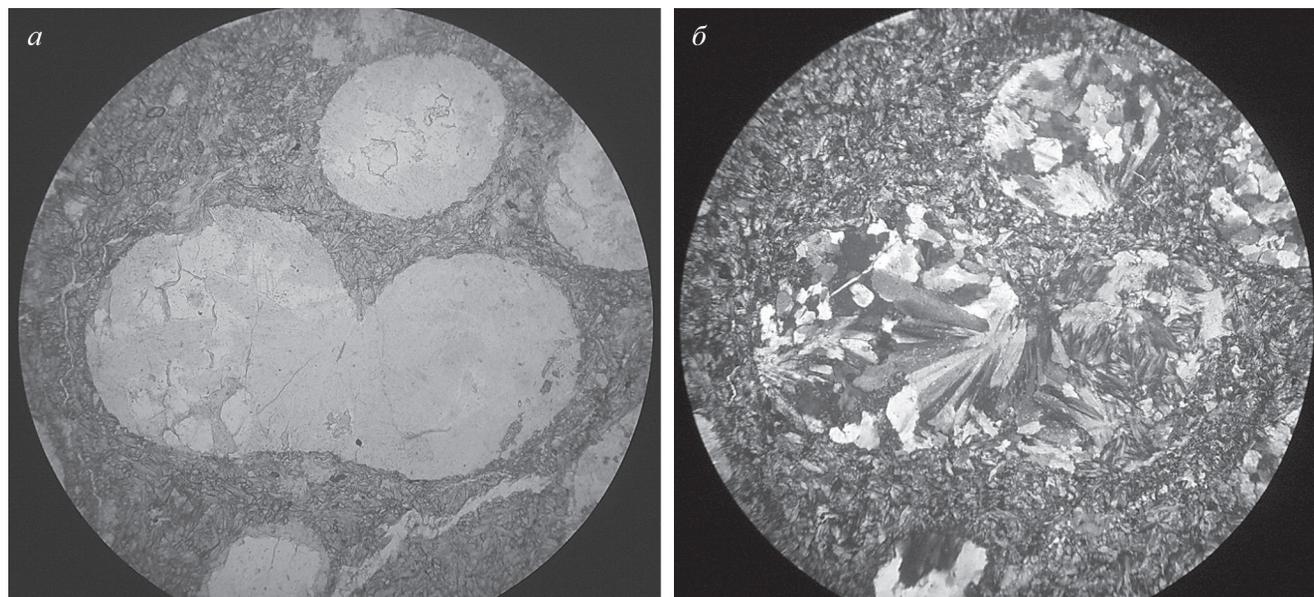
Note. \* – loss on ignition.

участки обнаруживают криптокристаллическую структуру, неправильную форму и размеры в сотые доли миллиметра. Они практически не реагируют на поляризованный свет, имеют темно-бурую окраску, но местами в них отчетливо «просвечивает» лучисто-дендритовое строение. Объединяясь, данные образования формируют агрегаты с сетчатой структурой, ячейки в которых сложены преимущественно пироксеном (рис. 1). При достижении определенного объема происходит их сворачивание в сферические вариолы (рис. 2).

Такого рода расслаивание бонинитовой магмы наблюдается в «подушках» и отмечается обычно в их краевой зоне под закаленной внешней оболоч-

кой. Всплывая и сливаясь, вариолы образуют достаточно однородные зонки кислого ликвата и подстилающего основного ликвата (рис. 3).

Химические анализы образцов бонинитов и их ликватов, собранные в процессе геологического картирования Тырныаузского рудного поля, приведены в таблице 1 и вынесены на стандартную треугольную диаграмму AFM (рис. 4). Характеристические точки и поля составов указывают, что вариолы и кислые ликваты, образуемые при их слиянии, обогащены SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O, а сопровождающие их основные ликваты, наоборот, концентрируют MgO, FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и в меньшей степени CaO.



**Рис. 5.** Кристаллические вариоли сферической и гантелеобразной формы кварц-альбитового состава: *a* – (николи параллельны), диаметр поля зрения 3,6 мм; *б* – (николи скрещены), диаметр поля зрения 3,6 мм.

**Fig. 5.** Crystal varioles spherical and dumbbell-shaped quartz-albite composition: *a* – (nicoles are parallel) II, the diameter of the field of view of 3.6 mm; *б* – (nicoles are crossed), field of view diameter 3.6 mm.

Отмеченные тенденции к накоплению каркасных структурных элементов в кислых расплавах отчетливо проявились в кристаллических вариолях контрастного состава (рис. 5). Последние установлены во внешних зонах крупных (от 1 м и более в поперечном сечении) «подушек» и в сравнительно небольших (до 0,3 м в сечении). В крупных «подушках» вариоли этого типа образуют сравнительно редкие выделения диаметром до 5 мм, расположенные концентрическими слоями. В «подушках» небольшого размера они наблюдаются в значительно большем количестве, и в некоторых из них они занимают до 30–35 % площади сечения. Вариоли этого типа более крупные, отдельные из них достигают в диаметре 10–15 мм, а слившиеся экземпляры достигают 20–25 мм по удлинению. Сложены они либо исключительно альбитом, либо альбитом с кварцем и иногда содержат в небольших количествах хлорит и эпидот. Матрица при этом состоит практически из одного амфиболизированного клинопироксена.

Приведенные данные показывают, что ликвация в природных силикатных системах вполне реальна и может привести к образованию геологически значимых объемов горных пород. В то же время причины, обусловившие разделение силикатного расплава на несмешивающиеся жидкости, являются не определенными. Подавляющее большинство исследователей данного явления прежде всего отдает

предпочтение такому фактору, как состав расплава. Однако, как показывает анализ имеющихся примеров расслаивания природных силикатных систем, данный процесс, если судить по распространению вариолитов, реализуется не часто. Это же в полной мере относится и к рассматриваемому примеру. Таким образом, если судить о масштабах проявления ликвации в бонинитах по распространению вариолитов, то она в целом незначительна и проявлена локально. Следовательно, для реализации данного процесса только одних особенностей состава расплава явно недостаточно.

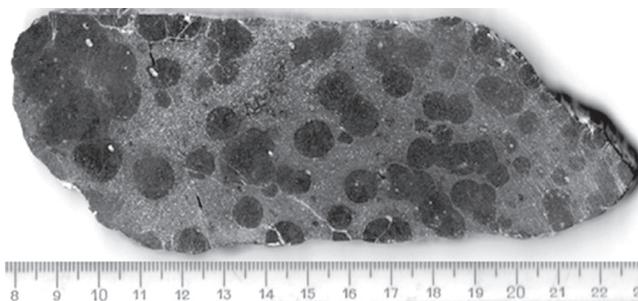
Если рассмотреть распространение ликвационных текстур в бонинитах, то очевидна их приуроченность к шаровым или подушечным блокам. Таким образом, шаровая текстура вулканитов выступает в роли дополнительного фактора, способствующего реализации ликвационного процесса. При этом следует подчеркнуть, что ликвационная зональность, наблюдаемая в вулканитах подушечной текстуры, распространена достаточно широко и описана многими исследователями [12; 17 и др.].

Известно, что после отпочкования шаровые блоки представляют собой изолированные системы, каждая из которых развивается по своему особому сценарию. А это, прежде всего, скорость остывания изолированного расплава и перемещение внутри него летучих компонентов. Анализ ликвационной зональности в «подушках» [16] показывает, что ча-

сто расслаивание изолированного в них расплава проявляется лишь в сравнительно узкой зоне под их внешней оболочкой, и не по всему периметру, а лишь в пределах некоторого сектора. В других случаях расслоение охватывает и более широкие зоны и реже проявляется во всем объеме «подушек». Расслаивание расплава под закаленной оболочкой «подушек» можно объяснить двумя причинами: режимом остывания и повышением концентрации летучих компонентов, существенную роль которых в ликвации подчеркивают многие исследователи. Так, Н.С. Скрипченко [12] при описании вариолитов Худеса отмечает избирательную концентрацию миндалин в вариолях и подчеркивает существенную роль летучих компонентов в ликвации. Ярким примером их избирательной концентрации в вариолях является вариолит, обнаруженный в бассейне р. Чучкур в непосредственной близости от рудного поля медноколчеданного месторождения Худесс (рис. 6). Особенностью представленного образования является то, что вариоли в нем имеют вишнево-красную окраску, а матрица – темно-зеленую. Это указывает на то, что вариоли уже на этой стадии представляют собой закрытую автономную систему, характеризующуюся своими значениями  $E_h$  и  $P_h$ , чем и обусловлено интенсивное окисление железа. Последнее, как известно, возможно при повышенной концентрации в расплаве щелочных металлов и летучих компонентов, которые являются неотъемлемой частью рудогенеза [18].

Возвращаясь к рассмотрению ликвации в бонинитах, следует подчеркнуть, что кислая фаза расплава, как это следует из петрографических наблюдений, сложена криптокристаллическим агрегатом темнокветных минералов, пронизанных метельчатыми выделениями кислого плагиоклаза. В шлифах под микроскопом ей соответствуют ксеноморфные криптокристаллические неправильной формы выделения (рис. 1) либо криптокристаллические сферические вариоли (рис. 2б), которые слагают соответствующие по структуре и составу вариоли и зонки в шаровых блоках (рис. 3).

От исходного бонинитового расплава и возникающих при этом зонк ультраосновного ликвата данные образования по химическому составу (табл. 1) в целом отличаются не очень контрастно, но по содержанию таких компонентов, как  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  и  $Na_2O$ , различия довольно существенны. Особенно контрастны эти различия между кислыми и основными ликватами из расслоенного горизонта (табл. 1, рис. 4).



**Рис. 6.** Вариолит с вишнево-красными вариолями. Бассейн р. Чучкур, Худесское рудное поле. Полированный штуф.

**Fig. 6.** Variolite with cherry red varioles. River basin Chuchkur, Hudes ore field. Polished ore.

По мнению авторов работы [19], считается, что ликвация обусловлена структурной перестройкой расплава, которая представляет собой процесс преобразования изначально гомогенного расплава в контрастные по составу участки, отделенные друг от друга фазовыми границами. В зависимости от содержания в расплаве  $SiO_2$  в процессе его полимеризации в нем образуются различные структурные единицы: без мостиковых атомов кислорода ( $Q_0$ ), с одним ( $Q_1$ ), двумя ( $Q_2$ ), тремя ( $Q_3$ ) и четырьмя ( $Q_4$ ) мостиковыми атомами кислорода. Последние ( $Q_4$ ), поскольку не совместимы ни с первыми, ни со вторыми, ни с третьими, как раз и являются теми структурными элементами, которые образуют одну из фаз расплава. Отсюда следует, что полученные результаты вполне согласуются с рассмотренными выше [19] представлениями о причинах ликвации. На этом основании можно полагать, что важнейшей причиной расслоения бонинитового расплава является прежде всего его химический состав и относительно высокое содержание в нем летучих компонентов.

Рассмотренные примеры магматического расслоения бонинитов свидетельствуют о том, что при их ликвации могут образовываться высокофлюидные рудно-силикатные системы, способные приводить к образованию месторождений полезных ископаемых. Подтверждением этого является Худесское медноколчеданное месторождение, продуктивную толщу которого слагают вулканытны марианит-бонинитовой серии с признаками ликвации [8; 10]. Большое значение рудогенерирующей роли ликвации придают авторы работ [20–22]: на примере Уральских месторождений показана их непосредственная связь с процессами магматического расслоения вулкаников, вмещающих колчеданные руды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маракушев А.А., Иванов И.П., Римкевич В.С. 1979. Значение ликвации в генезисе магматических горных пород. *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. 1: 3–22.
2. Маракушев А.А. 1983. К проблеме генезиса вулканических серий горных пород. *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. 5: 3–19.
3. Хитаров Н.И., Пугин В.А. 1978. Ликвация в природных силикатных системах. *Геохимия*. 4: 496–511.
4. Делицын Л.М. 2010. *Ликвационные явления в магматических системах*. М., ГЕОС: 222 с.
5. Авдонин В.В. 1987. *Ликвация и формирование рудоносных вулканогенных комплексов*. М., изд-во МГУ: 239 с.
6. Пугин В.А., Хитаров Н.И. 1980. Вариолиты как пример ликвации магм. *Геохимия*. 4: 952–955.
7. Попов В.С. 1982. Ликвация в магмах – иллюзии и реальность (обзор иностранной литературы). *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 111(5): 614–621.
8. Снежко Е.А., Исаев В.С. 1988. Марианит-бониниты рудоносной формации палеозоя Северного Кавказа. *Доклады Академии наук СССР*. 302(6): 1448–1450.
9. Баранов Г.И., Греков И.И., Пруцкий Н.И. 1997. Палеогеодинамические обстановки формирования колчеданного оруденения на Северном Кавказе и некоторые общие вопросы металлогении. В кн.: *Новые направления в изучении колчеданных месторождений*. Новочеркасск, НГТУ: 7–23.
10. Скрипченко Н.С., Тамбиев А.С. 2000. Вулканиты и рудоносность девонского базальтового пояса Северного Кавказа. В кн.: *Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа: материалы IX Международной конференции*. Ессентуки, Офсет: 613–628.
11. Рябов Г.В., Богуш И.А. 2012. Типизация колчеданных месторождений Северного Кавказа. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 5: 88–91.
12. Скрипченко Н.С. 1965. Особенности кристаллизации и автометаморфизма спилитов нижнекарбоневой вулканогенной формации Северного Кавказа. *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 94(3): 288–297.
13. Попов В.С. 1988. Бониниты, их происхождение и соотношение с другими типами магматических пород. *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 117(5): 730–745.
14. Добрецов Н.Л., Шараськин А.Я., Лаврентьев Ю.Г., Соболев А.В., Соболев Н.В., Коматсу М., Тазаки К., Дитрих Ф., Оберхансли Р. 1980. Вулканические породы серии марианит-бонинит. В кн.: *Геология дна Филиппинского моря*. М., Наука: 149–179.
15. Соболев А.В., Данюшевский Л.В. 1986. Доказательство магматической природы H<sub>2</sub>O и определение ее содержания в остаточном бонинитовом расплаве. *Доклады Академии наук СССР*. 288(4): 962–965.
16. Исаев В.С. 2004. Бониниты палеозоя зоны Передового хребта Северного Кавказа, геотектонические и петрологические следствия. В кн.: *Материалы IV международной научной конференции «Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа»*. Т. 1: Актуальные проблемы геологического изучения южного региона (Новочеркасск, 4–6 февраля 2004 г.). Новочеркасск, Темп: 233–243.
17. Гилярова М.А. 1959. Шаровые лавы Суисарского района Южной Карелии и проблема генезиса шаровых лав. *Ученые записки Ленинградского государственного университета. Серия геологических наук*. 286(10): 3–69.
18. Парада С.Г. 2018. Закономерности размещения цветных и благородных металлов в пределах Малкинского ультрабазитового массива (Кабардино-Балкарская Республика). *Геология и геофизика Юга России*. 1: 69–78. doi: 10.23671/VNC.2018.1.11249
19. Анфилогов В.Н., Быков В.Н., Осипов А.А. 2005. *Силикатные расплавы*. М., Наука: 357 с.
20. Маракушев А.А., Граменицкий Е.Н., Коротаев М.Ю. 1983. Петрологическая модель эндогенного рудообразования. *Геология рудных месторождений*. 1: 3–19.
21. Костина Р.И. 1988. Роль ликвации в генезисе вулканогенных колчеданосных формаций Урала. *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. 4(6): 56–65.
22. Костина Р.И. 1991. Генетическая связь вулканизма и колчеданобразования (на примере Урала). *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 66(6): 100–103.

## REFERENCES

1. Marakushev A.A., Ivanov I.P., Rimkevich V.S. 1979. [The role of liquation in the genesis of igneous rocks]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*. 1: 3–22. (In Russian).
2. Marakushev A.A. 1983. [On the problem of genesis of volcanic series of rocks]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*. 5: 3–19. (In Russian).
3. Khitarov N.I., Pugin V.A. 1978. [Liquation in natural silicate system]. *Geokhimiya*. 4: 496–511. (In Russian).
4. Delitsyn L.M. 2010. *Likvatsionnye yavleniya v magmaticheskikh sistemakh*. [Liquation phenomena in magmatic systems]. Moscow, GEOS: 222 p. (In Russian).
5. Avdonin V.V. 1987. *Likvatsiya i formirovanie rudonosnykh vulkanogennykh kompleksov*. [Liquation and formation of ore-bearing volcanogenic complexes]. Moscow, Moscow State University: 239 p. (In Russian).
6. Pugin V.A., Khitarov N.I. 1980. [Variolites as an example of the segregation of magmas]. *Geokhimiya*. 4: 952–955. (In Russian).
7. Popov V.S. 1982. [Liquation in magmas – illusions and reality (review of foreign literature)]. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 111(5): 614–621. (In Russian).
8. Snezhko E.A., Isaev V.S. 1988. [Marianite-boninites of the ore-bearing formation of the Paleozoic of the North Caucasus]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 302(6): 1448–1450. (In Russian).
9. Baranov G.I., Grekov I.I., Prutsky N.I. 1997. [Paleogeodynamic conditions of formation of pyrite mineralization in the North Caucasus and some general issues of metallogeny]. In: *Novye napravleniya v izuchenii kolchedannykh mestorozhdeniy*. [New directions in the study of pyrite deposits]. Novocherkassk, Novocherkassk State Technical University: 7–23. (In Russian).
10. Skripchenko N.S., Tambiev A.S. 2000. [Volcanites and ore

- content of the Devonian basalt belt of the North Caucasus]. In: *Geologiya i mineral'no-syr'evaya baza Severnogo Kavkaza: materialy IX Mezhdunarodnoy konferentsii*. [Geology and mineral resources of the North Caucasus: Materials of the IX International Conference]. Essentuki, Ofset: 613–628. (In Russian).
11. Ryabov G.V., Bogush I.A. 2012. [Typification of pyrite deposits in the North Caucasus]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 5: 88–91. (In Russian).
  12. Skripchenko N.S. 1965. [Features of crystallization and autometamorphism of spilites of the lower Carboniferous volcanogenic formation of the North Caucasus]. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 94(3): 288–297. (In Russian).
  13. Popov V.S. 1988. [Boninites, their origin and correlation with other types of igneous rocks]. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 117(5): 730–745. (In Russian).
  14. Dobretsov N.L., Sharas'kin A.Ya., Lavrent'ev Yu.G., Sobolev A.V., Sobolev N.V., Komatsu M., Tazaki K., Ditrikh F., Oberkhansli R. 1980. [Volcanic rocks of the marianite-boninite series]. In: *Geologiya dna Filippinskogo morya*. [Geology of the bottom of the Philippine Sea]. Moscow, Nauka: 149–179. (In Russian).
  15. Sobolev A.V., Danyushevsky L.V. 1986. [Proof of the magmatic nature of H<sub>2</sub>O and determination of its content in the residual boninite melt]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 288(4): 962–965. (In Russian).
  16. Isaev V.S. 2004. [Boninites of the Paleozoic zone of the Front ridge of the North Caucasus, geotectonic and petrological consequences]. In: *Materialy IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy geologii, poleznykh iskopayemykh i ekologii Yuga Rossii i Kavkaza"*. T. 1: Aktual'nye problemy geologicheskogo izucheniya yuzhnogo regiona. [Materials of the IV International scientific conference "Problems of geology, minerals and ecology of the South of Russia and the Caucasus". Vol. 1: Actual problems of geological study of the southern region (Novocherkassk, Russia, 4–6 February 2004)]. Novocherkassk, Temp: 233–243. (In Russian).
  17. Gilyarova M.A. 1959. [Pillow lavas of the Suisar district of South Karelia and the problem of the genesis of pillow lavas]. *Uchenyye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya geologicheskikh nauk*. 286(10): 3–69. (In Russian).
  18. Parada S.G. 2018. [Density regularities of colored and noble metals in the borders of the Malkin ultrabasic massive (Kabardino-Balkar Republic)]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 1: 69–78. (In Russian). doi: 10.23671/VNC.2018.1.11249
  19. Anfilogov V.N., Bykov V.N., Osipov A.A. 2005. *Silikatnye rasplavy*. [Silicate melts]. Moscow, Nauka: 357 p. (In Russian).
  20. Marakushev A.A., Gramenitsky E.N., Korotaev M.Yu. 1983. [Petrological model of endogenous ore formation]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 1: 3–19. (In Russian).
  21. Kostina R.I. 1988. [The role of segregation in the genesis of the volcanic pyritiferous formations of the Urals]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*. 4(6): 56–65. (In Russian).
  22. Kostina R.I. 1991. [The genetic relationship of volcanism and pyrite formation (on the example of the Urals)]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskoy*. 66(6): 100–103. (In Russian).

Поступила 31.12.2019