

ЭТИ ЗАГАДОЧНЫЕ ИГНИМБРИТЫ: ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ

О.С. Березнер, К.А. Скрипко¹

В статье анализируется история более чем 80-летнего изучения игнимбридов, одной из интереснейших разновидностей вулканогенно-обломочных образований кислого состава, иногда по-прежнему называемых спекшимися вулканическими туфами. Они обладают флюидално-обломочной текстурой, характерной как для вулканических туфов, так и для кластолав, и микроструктурой, сложный рисунок которой вызывает противоречивые толкования генезиса этих пород. Несмотря на то, что игнимбриды достаточно широко распространены в земной коре, за исторический период не удалось наблюдать извержения, их порождающие. В связи с этим вопрос о происхождении игнимбридов по-прежнему остаётся предметом дискуссий. В последнее время к двум ранее обсуждавшимся гипотезам – пирокластической и ликвационной – добавилась флюидогенная гипотеза, отдающая главную роль в образовании игнимбридов механизму перемещения (течения) смесей твёрдых частиц и диспергированного расплава в струе сжатого газа. В статье предложены петрографические признаки, которые позволяют однозначно отличать игнимбриды от схожих с ними кластолав и пепловых туфов, что даёт возможность чётко ограничить предмет обсуждения в дискуссиях о генезисе.

Ключевые слова: игнимбрид, фьямме, пепловый туф, кластолава, флюидолит.

MYSTERIOUS IGNIMBRITES: THEIR ORIGIN AND TEXTURE AND STRUCTURAL FEATURES

O.S. Berezner, K.A. Scripko

Lomonosov Moscow State University (Earth Science Museum)

The article analyzes the 80-year history of ignimbrites study. Ignimbrites are one of the most interesting varieties of pyroclastic formations of acid composition, which are sometimes called welded volcanic tuffs. They have a fluidal texture, which is characteristic for both volcanic tuffs and clastolavas, and a microstructure, the complex pattern of which leads to conflicting interpretations of these rocks genesis. Despite the fact that ignimbrites are quite widespread in the Earth's crust, nobody has ever observed volcanic eruptions that would generate ignimbrites throughout recorded time. Consequently, the ignimbrite origin has remained a matter of debate for nearly 80 years. Recently, the fluidogenic hypothesis has been added to the two previously discussed pyroclastic and segregation hypotheses. According to the fluidogenic hypothesis, the main role in the formation of ignimbrites is played by a displacement mechanism of mixtures of solid particles and dispersed molten material in a cold gas jet. The article offers petrographic features that make it possible to surely distinguish ignimbrites from clastolavas and ash tuffs that are similar to them, which, in its turn, makes it possible to clearly limit the subject of discussions about genesis of these rocks.

Keywords: ignimbrite, fiamme, ignispumite, ash tuff, tuffolava, clastolava, fluidolith, incandescent avalanches, nuée ardente, scorching clouds.

¹ Березнер Оксана Сергеевна – научный сотрудник, oksana.berezner@mail.ru; Скрипко Константин Андреевич – научный сотрудник сектора геодинамики Музея землеведения МГУ, kscripko@mail.ru.

Игнимбриты в экспозиции Музея землеведения МГУ. В коллекциях вулканических пород, экспонируемых в Музее землеведения МГУ, достаточно часто встречаются горные породы кислого состава, относящиеся к группе игнимбритов. Например, в витрине ВГ-274 на 24 этаже Музея, в разделе «Северная Америка», экспонируются образцы игнимбритов из Йеллоустонского национального парка, США (сборы О.С. Березнер 2009 г.). Но большая часть таких пород нашла себе место, естественно, в витринах 28 этажа, где вулканические горные породы рассматриваются подробно и с самых разных позиций. В зале 6 «Горные породы», в витрине ВГ-20, посвящённой текстурам вулканических пород, находятся четыре образца игнимбритов, демонстрирующие лентукулярную, эвтакситовую и фьямме-текстуры этих пород. В зале 5 «Тектоника» в витрине ВГ-53, посвящённой горным породам активных окраин континентов андийского типа, семь из 43 образцов магматических пород Охотско-Чукотского вулканогенного пояса являются игнимбритами. Ещё два образца игнимбритов в этом зале характеризуют вулканизм коллизионного этапа в Кавказском секторе конвергентной зоны океана Тетис. Несколько образцов игнимбритов, в том числе два демонстрируемых в открытом доступе, украшают и зал 4 «Магматизм». Один из этих образцов, выставленный в витрине «Кислые вулканы: пемзы и обсидианы», происходит из разреза вулкана Эльбрус (образец из коллекции Н.В. Короновского), ещё пять отобраны из потоков и покровов, обнажающихся у подножья вулкана Арагац (Алагёз) в Армении. Самый крупный штуф в этом зале, подаренный в 1957 г. работниками карьера «Артик-туф» (Армения), назван, в соответствии с представлениями того времени, «игниспумит (туфолава)». Четыре других образца, находящиеся в витрине ВГ-37 «Спекшиесея и сцементированные пирокластиты», привезены в музей Кавказской экспедицией НИИ геологии МГУ в начале 1950-х годов. Примечательно, что эти четыре образца, имеющие характерную для игнимбритов фьямме-текстуру и отобраные в одном районе Армении – у подножья вулкана Арагац, названы по-разному. В сопровождающих их этикетках значатся такие данные им в поле и сохранённые донные названия: обр. ВФ 128, ВФ 129 – игнимбрит (спекшийся «пламенный» туф), ВФ 130 – игниспумит (туфолава), ВФ 135 – пепловый вулканический туф.

Эти разночтения неслучайны и не являются просто результатом недоразумения или недосмотра. Они отражают происходившие в 1950–60-е годы научные споры о такой непростой проблеме в геологии вулканизма, как генезис игнимбритов, то есть являются отголоском активных дискуссий о механизме образования этих пород – пирокластическом или лавовом.

История вопроса. Термин «игнимбрит» (от лат. *ignis* – огонь и *imber* – ливень) был введён в научный оборот в 1932–1935 гг. британским геологом П. Маршаллом, изучавшим вулканические породы Риолитового плато на острове Северный Новой Зеландии. По его мнению, игнимбриты образовались из обломочного материала раскалённых лавин и палящих туч, испытавшего последующее сплавление и спекание. Пирокластическую гипотезу происхождения игнимбритов поддержал А.Н. Заварицкий, её придерживались многие советские исследователи игнимбритов (Е.К. Устиев, И.М. Сперанская, Е.Ф. Малеев и др.), а вслед за ними и большинство советских геологов.

Однако изучение того же петротипа игнимбритов на новозеландском острове Северный породило и другую точку зрения относительно их происхождения. Согласно А. Стейнеру [8], игнимбриты – не пирокластические, а лавовые образования – продукты застывания специфического высокоподвижного расплава, претерпевшего расщепление на две несмешивающиеся жидкости. Среди отечественных геологов лавовой

гипотезы образования игнимбритов (с различными вариациями механизмов процесса) придерживались Д.С. Белянкин, В.И. Влодавец, А.М. Курчавов; не признаёт пирокластическое происхождение игнимбритов и Н.В. Короновский.

С середины прошлого века, времени острых дискуссий о происхождении игнимбритов, прошло более столетия, а окончательная точка в этом вопросе, похоже, так и не поставлена.

Петрографическим кодексом, изданным ВСЕГЕИ в 2008 г., игнимбриты отнесены к пирокластолитам [7]. Как пирокластическую породу – продукт извержения высокотемпературного пеплового потока, или палящей тучи, трактует игнимбрит и посвящённая ему статья в Геологическом словаре [1]. Однако статья «Игнимбрит» в Российской геологической энциклопедии [4] исключает принадлежность игнимбритов к пирокластическим образованиям, поддерживая точку зрения об их лавовой природе.

Игнимбриты образуют обширные покровы с платообразной верхней поверхностью, занимающие значительные площади и достигающие мощности в сотни метров (до 600 м). В их крутых обрывах часто наблюдается столбчатая (призматическая) отдельность (рис. 1 а), внешне похожая на столбчатую отдельность базальтов. Кроме того, игнимбриты слагают и рвущие – экструзивные, жерловые – тела.

Игнимбриты – породы отнюдь не редкие: они достаточно часто встречаются среди продуктов извержений вулканов активных континентальных окраин, зрелых островных дуг, континентальных рифтов и зон плюмового магматизма. По оценкам учёных, «на долю игнимбритов приходится не менее половины объёма вулканитов кислого состава и около 20 % объёма всех вулканических пород вообще» [5, с. 63].

При детальном исследовании продуктов сильнейших извержений вулканов, произошедших за последние два тысячелетия, игнимбриты не были обнаружены ни среди пепловых потоков, затопивших Помпею и Геркуланум в 79 г. н.э., ни среди отложений раскалённых газово-пепловых лавин и палящих туч, извергнутых вулканами Мон-Пеле в 1902 г. и Катмай в 1912 г., ни среди продуктов сотен подобных извержений других вулканов мира [5]. Это не даёт возможности использовать для решения проблемы происхождения игнимбритов принцип актуализма.

Петрографические особенности игнимбритов. Помимо проблемы образования игнимбритов, не всё однозначно и в петрографическом определении этих пород. Имеющиеся определения часто грешат использованием генетических признаков (чаще всего – неременной связи с пирокластическим потоком) вместо чисто петрографических. Между тем и полевым геологам, работающим в районах распространения вулканических пород, и нам, занимающимся популяризацией науки о горных породах, необходимо ясное представление о том, что же такое игнимбрит именно как горная порода. Представляется, что выявление текстурно-структурных особенностей игнимбритов и отличий их от других горных пород сообщества богатых кремнезёмом вулкаников – пепловых туфов, кластолав – в какой-то мере облегчит и задачу выяснения генезиса игнимбритов. Попробуем суммировать свойства игнимбритов, необходимые для их чисто петрографической макро- и микродиагностики.

Игнимбриты – это вулканики кислого и умеренно-кислого состава (от риолитов до андезитацинтов), однако, в отличие от лав того же состава, которым, как известно, не свойственна большая подвижность из-за их высокой вязкости, форма залегания игнимбритов свидетельствует о высокой подвижности материала, их образовавшего.

Игнимбриты обладают флюидално-обломочной текстурой (характерной как для вулкаников explosивно-обломочного происхождения – пепловых вулканических ту-

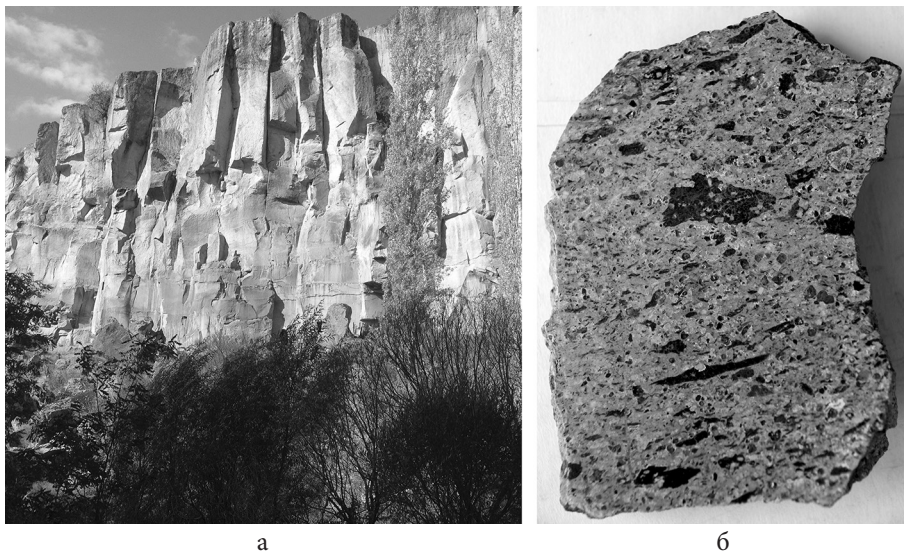


Рис. 1. Макроскопические особенности игнимбритов: а – столбчатая отдельность игнимбритов. Долина Ихлара, Турция, фото О.С. Березнер; б – фьямме в образце игнимбрита (8×5 см). Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, обр.13462 из коллекции Музея землеведения МГУ.

фов, так и для эффузивно-обломочных пород – кластолав). В образцах игнимбритов видно, что это горные породы сложного строения, в которых, как в туфах, в переменном количестве присутствуют обломки кристаллов, горных пород и вулканических стёкол (кристалло-, лито- и витрокласты). В то же время в них наблюдается текстура течения (флюидальная текстура), как в лавах. Прежде всего, флюидальную текстуру подчёркивают так называемые фьямме – макроскопически различимые субпараллельно ориентированные линзы тёмного стекловатого вещества, расщепляющиеся на концах (рис. 1 б), что придаёт им специфическую пламенивидную форму (отсюда и название их от итальянского *fiamma* – огонь, пламя).

Фьямме «дважды флюидальны»: они не только подчёркивают общую флюидальную текстуру игнимбрита, но и сами нередко состоят из тонкофлюидального вулканического стекла (рис. 2 а), что, вероятно, и приводит к образованию у этих линз пламенивидных окончаний. При раскристаллизации линз иногда возникает сферолитовая структура (рис. 2 б), характерная для быстро охлаждённых стёкол.

По мнению А.М.Курчавова, много лет изучавшего игнимбриты разного возраста в различных регионах мира, фьямме возникают в процессе дифференциации магмы в условиях её движения; их образование происходит многократно, в ранние, промежуточные и поздние стадии эволюции расплава, с плавным изменением петрохимических и геохимических характеристик от ранних обособлений к поздним [3, 4].

Окружающий линзы фьямме базис (матрикс) в свою очередь неоднороден, что хорошо видно в шлифах под микроскопом (рис. 2 б, 3 б, в). Неоднородность эта проявляется в специфической структуре базиса, свойственной всем игнимбритам мира. Главное свойство этой структуры, называемой игнимбритовой, состоит в том, что, будучи стекловатой, она всегда двухфазна. Более ранняя фаза присутствует в виде обломочных частиц стекла – так называемых игнимбритовых частиц. Вторая фаза занимает пространство между игнимбритовыми частицами. Игнимбритовые частицы имеют

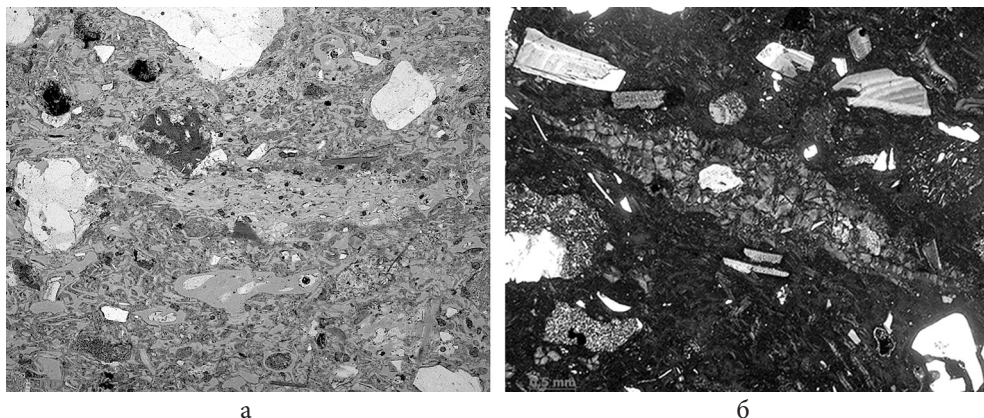


Рис. 2. Фьямме в шлифах игнимбритов: а – с тонкофлюидальной текстурой, без анализатора; б – со сферолитовой структурой, в скрещенных николях. Гёреме, Турция. Шлифы из коллекции Музея землеведения МГУ.

либо полосовидную, либо серповидную, либо многократновогнутую, часто рогульчатую форму. Стекло игнимбритовых частиц обнаруживает тенденцию к очень характерной раскристаллизации: от краев к центру, перпендикулярно стенкам частиц, нарастает полевой шпат – параллельнопластинчатый, на изгибах лучистый, а вдоль оси частиц сохраняется щелеобразная пустота (рис. 3 а), чаще всего заполняемая кварцем. Если раскристаллизации не происходит, что в игнимбритах наблюдается достаточно редко (рис. 3 б, в), игнимбритовые частицы сложены изотропным (не пропускающим свет при скрещенных николях) стеклом.

Именно раскристаллизация с образованием кварцевых «осей» вдоль вытянутых игнимбритовых частиц обуславливает характерную аксиолитовую структуру игнимбритов (от лат. *axis* – ось). Относительно более крупные удлиненные игнимбритовые частицы с плоской вытянутой осью мы называем «аксиолитами», более мелкие, многократновогнутые – «рогульчатыми частицами» (рис. 4 а, б, в).

Рогульчатые частицы – это фрагменты разрушенных оболочек, окружавших некие округлые элементы структуры, представляющие собой либо пустоты от газо-

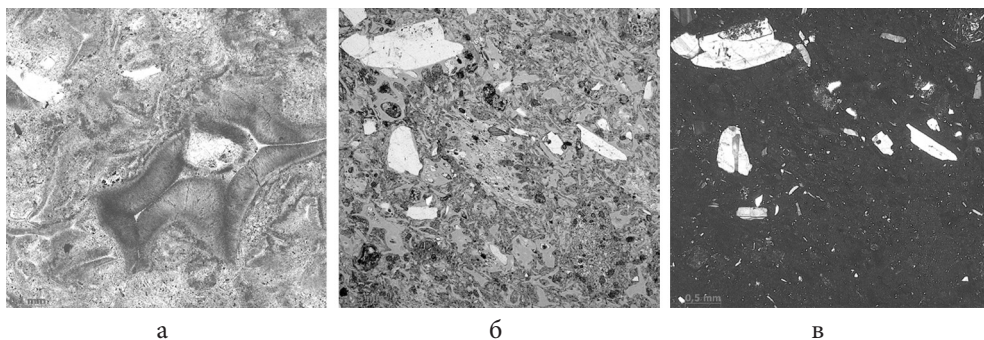


Рис. 3. Стекловатые многократновогнутые частицы в игнимбритах: а – раскристаллизация игнимбритовых частиц, шлиф, без анализатора; б, в – нераскристаллизованные игнимбритовые частицы в шлифе (б – без анализатора, в – в скрещенных николях). Гёреме, Турция. Шлифы из коллекции Музея землеведения МГУ.

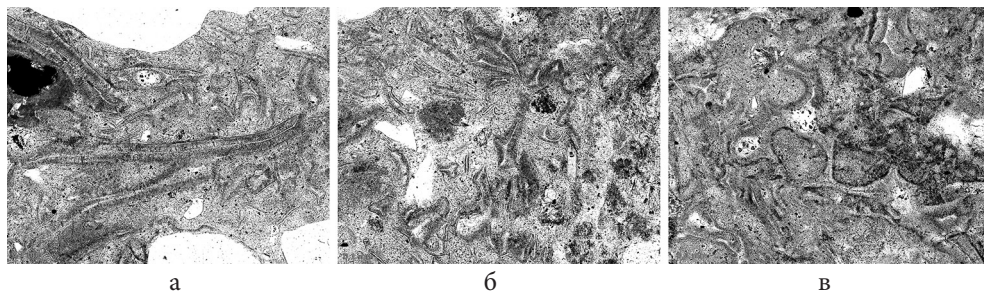


Рис. 4. Форма игнимбритовых частиц в двухфазном матрице игнимбритов: а – аксиолиты; б – рогульчатые частицы; в – многократновогнутые частицы, окружающие капли стекла. Гёреме, Турция. Шлифы из коллекции Музея землеведения МГУ.

вых пузырей, позже занятые стеклом, либо каплевидные частицы стекла размером 0,1–0,3 мм, иногда сферические, иногда неправильной формы, но всегда с выпуклыми контурами. В каком состоянии было вещество внутри этих оболочек – газообразном или жидком (расплавленном) – это, собственно, и есть вопрос вопросов для решения проблемы происхождения игнимбритов. Если это фрагменты стенок газовых пузырьков – расплав прошёл через «вскипание» (возможно, кратковременное), стенки пузырей отвердели, а затем разрушились в динамичной газовой среде. Если это фрагменты стенок, окружавших капельки отделившегося расплава, позже растащенные при движении этой двухфазной жидкости – расплав прошёл через стадию ликвации, и обе фазы отвердели (с остеклованием) одновременно.

Итак, для диагностики игнимбритов необходимо и достаточно присутствие трёх петрографических признаков: линз фьямме, флюидальной текстуры и стекловатых игнимбритовых частиц. Полный набор этих особенностей свойствен только игнимбри-там. Кластолавы и туфы, внешне с ними сходные, имеют лишь по одному из этих признаков: кластолавы – текстуру течения, пепловые туфы – рогульчатые витрокласты (табл.). Присутствие лито- и кристаллокластов, свойственное всем трём названным типам вулканитов, отличительной диагностической особенностью не является.

Таблица. Петрографические признаки игнимбритов и сходных с ними пород

Типы вулканитов	Фьямме	Текстура течения	Рогульчатые витрокласты
Игнимбриты	+	+	+
Кластолавы	-	+	-
Пепловые туфы	-	-	+

Согласно предложенной нами петрографической характеристике игнимбритов все перечисленные в начале статьи музейные образцы горных пород, содержащие линзы фьямме, должны быть отнесены к игнимбри-там. Способ их образования (до настоящего времени гипотетический) в данном случае значения не имеет и к диагностическим признакам не относится. Такой, несколько, может быть, формальный метод диагностики, без привлечения представлений о генезисе, кажется нам более строгим.

Заключение. Что же касается происхождения игнимбритов, о котором можно судить по их формальным петрографическим свойствам, то именно присутствие рогуль-

чатых частиц (стекла первой фазы), действительно очень напоминающих по форме типичные витрокласты пепловых туфов, служит петрографическим доказательством пирокластического процесса их образования, когда предполагается, что стекло первой фазы переносится раскалённым воздухом. Стекло второй фазы, цементирующее игнимбритовые частицы и отличающееся от стекла первой фазы составом (показателем преломления) и иной структурой при раскристаллизации, считается в этом случае результатом вторичного плавления.

Но эти же петрографические свойства игнимбритов могут быть объяснены и с точки зрения их лавового происхождения. Неоднородность состава и структуры стекла в этом случае считается связанной с распадом магматического расплава на две несмешивающиеся жидкости. Стекловатые рогульчатые частицы трактуются в этом случае как обломки дезинтегрированного стекла первой фазы (разрушенные стенки пузырей газа или капель расплава), которые цементирует стекло второй фазы расплава.

В последнее время в проблеме происхождения игнимбритов наметился новый поворот. Собственно говоря, новая гипотеза не совсем нова и основана на высказанной ещё в пятидесятые годы идее о возможности существования таких геологических процессов, как передвижение вещества в особом жидкоподобном агрегатном состоянии, схожим с состоянием, известным в процессах промышленной технологии как флюидизация [9]. В последнее время процессы флюидизации (псевдооживления), обеспечивающие жидкоподобное течение твёрдо-газовых суспензий и капельных расплавно-газовых эмульсий, привлекаются к объяснению механизмов образования горных пород не только группы так называемых туффизитов (интрузивных пирокластолитов, псевдоконгломератов, эксплозивных брекчий, в том числе кимберлитовых), но и игнимбритов [2, 6].

Для горных пород, образованных твёрдо-газовыми или флюидно-расплавными смесями, газонасыщенность которых обеспечивает исключительно быстрое их перемещение (течение) и извержение, предлагаются такие обобщающие названия, как флюидолиты, флюидизаты, литофлюидиты. Первая попытка «законодательно» признать «флюидогенные породы» (флюидолиты) новым типом эндогенных горных пород предпринята в Петрографическом кодексе 2008 г. [7]. Дискуссия продолжается...

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологический словарь / Под ред. О.В. Петрова. Т. 1. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. 432 с.
2. Голубева И.И. Магматогенные флюидизатно-эксплозивные образования севера Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 140 с.
3. Курчавов А.М. Проблемы формирования полосчатости кремнекислых вулканитов // Литосфера. 2010. № 3. С. 128–134.
4. Курчавов А.М. Игнимбрит // Российская геологическая энциклопедия. В 3 т. Т. 1. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. С. 603–604.
5. Махлаев Л.В., Голубева И.И. Флюидизаты требуют внимания // Природа. 2001. № 9. С. 59–68.
6. Махлаев Л.В., Голубева И.И. Псевдооживление (флюидизация) как особый геологический процесс и его роль в пороодообразовании и металлогении // XI Всероссийское петрографическое совещание «Магматизм и метаморфизм в истории Земли». Тез. докл. Т. 2. Екатеринбург, 2010. С. 58–59.

7. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. 2-е. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.

8. Стейнер А. Происхождение игнимбритов острова Северный, Новая Зеландия. Петрографическая концепция // Сб.: Проблемы палеовулканизма. М.: Изд-во ИЛ. 1963. С. 490–532.

9. Reynolds D.L. Fluidization as a geological process and its bearing on the problem of intrusive granites // American Journal of Science. 1954. Vol. 252, No 10, P. 577–614.

REFERENCES

1. *Geological Vocabulary*. Ed. by O.V. Petrov. **1**. 432 p. (St. Petersburg: Publishing house VSEGEI, 2010) (in Russian).

2. Golubeva I.I. *Magmatogenic fluidizate-explosive formations of the north Urals*. 140 p. (Ekaterinburg: Urals Branch of RAS, 2003) (in Russian).

3. Kurchavov A.M. Problems of banding of silicic volcanics. *Litosfera*. **3**, 128–134 (2010) (in Russian).

4. Kurchavov A.M. Ignimbrite. *Russian Geological Encyclopedia*. **1**, 603–604 (St. Petersburg: Izdatel'stvo VSEGEI, 2010) (in Russian).

5. Makhlaev L.V., Golubeva I.I. Fluidizates require attention. *Priroda*. **9**, 59–68 (2001) (in Russian).

6. Makhlaev L.V., Golubeva I.I. Pseudoozhizhenie (fluidization) as a special geological process and its role in rock formation and metallogeny. *XI All-Russian petrographic conference "Magmatism and metamorphism in the history of the Earth" (abstr.)*. **2**, 58–59 (Ekaterinburg, 2010) (in Russian).

7. *Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact rock-assemblages*. 200 p. (St. Petersburg: Izdatel'stvo VSEGEI, 2008) (in Russian).

8. Steiner A. Origin of ignimbrites of North Island, New Zealand: a new petrogenetic concept. *New Zealand Geological Survey Bulletin*. **68**. 42 p. (1960).

9. Reynolds D.L. Fluidization as a geological process and its bearing on the problem of intrusive granites. *Amer. J. of Science*. **252** (10), 577–614 (1954).